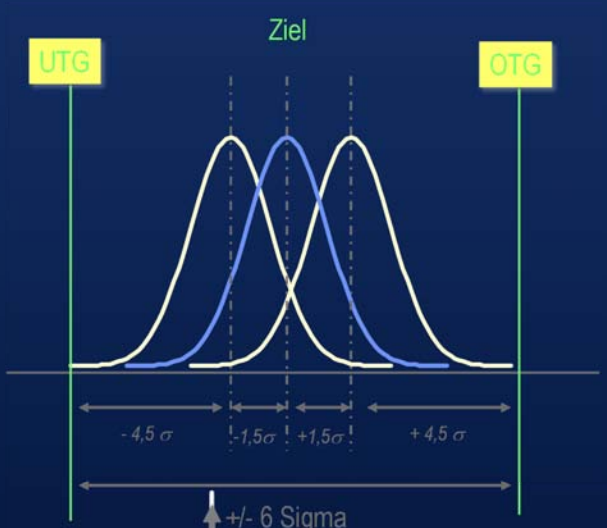
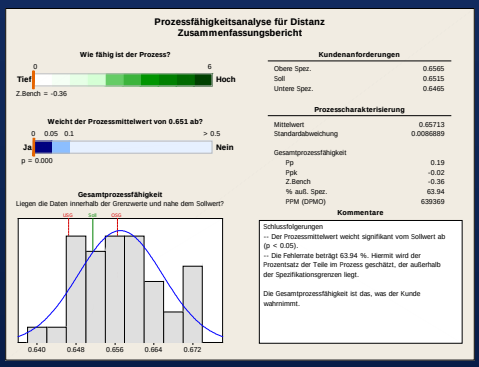
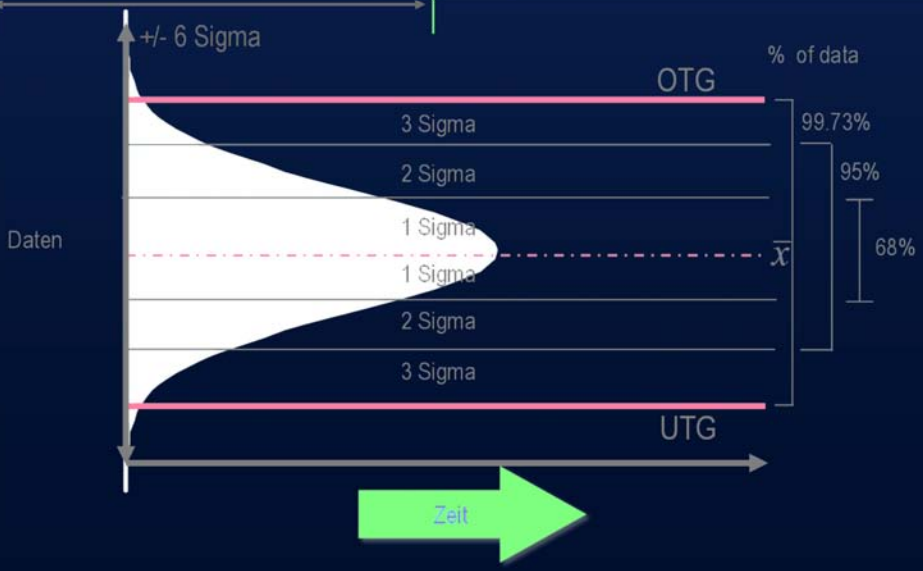
Six Sigma Yellow Belt

Prozessfähigkeit

Kilian Eisenegger

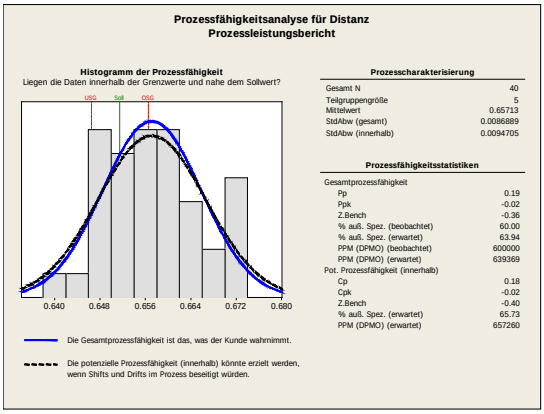






Yellow Belt Prozessfähigkeit

Kilian Eisenegger



Copyright© 2011 Kilian Eisenegger, 1. Auflage, www.sixsigma.ch
Verlag und Druck epubli in München, www.epubli.de
Kein Teil dieses Buches darf ohne Erlaubnis des Autors kopiert oder vervielfältigt werden.
Printed in Germany

1 Inhalt

1 INHALT 4
2 PRODUKT ENTWICKLUNG 6
3 GESCHICHTE 7
3.1 SIX SIGMA ENTWICKLUNG 7
3.2 MOTOROLA UND SIX SIGMA HEUTE 8
3.3 SAMSUNG UND SIX SIGMA 9
4 NET BENEFIT BEISPIEL FORD 2003 9
5 ISO UND SIX SIGMA 10
6 WIE GUT IST SIX SIGMA 10
7 NORMALVERTEILUNG 11
7.1 STANDARDABWEICHUNG 12
7.2 WAHRSCHEINLICHKEITSNETZ 12
8 SCHULBEISPIEL 13
9 ZIEL DER PROZESSFÄHIGKEITSANALYSE 14
10 EINFLUSSFAKTOREN AUF DIE PROZESSFÄHIGKEIT 14
11 KENNZAHLEN DER PROZESSFÄHIGKEIT 15
12 MITTELWERTSTREUUNG 18
13 PROZESSZUSTÄNDE 19
14 SPC 19
14.1 KURZZEIT-FÄHIGKEIT 20
14.2 LANGZEIT-FÄHIGKEIT 21
14.3 PROZESSVARIATION 21
14.4 LANGZEITFÄHIGKEIT VERLAGERUNG 1.5σ 22
15 PROZESSKENNZAHLEN 23
16 FÄHIGKEIT UND LEISTUNG 23
17 VERBESSERUNG DER PROZESSFÄHIGKEIT 23
18 VERBESSERUNG DER PROZESSFÄHIGKEIT R&D 24
19 MASCHINENFÄHIGKEIT 24
20 REGELKARTEN (QS-STAT) 25

20.1 REGELKARTEN SCHWANKUNG 27
20.2 REGELKARTEN VERLAUF 28
20.3 29
20.4 REGELKARTE EINZELWERTE 29
20.5 X-Y PLOT 30
20.6 BOXPLOT 30
20.7 BERICHT (PROZESSANALYSE) 31
20.8 PROZESSFÄHIGKEIT – ZUSAMMENFASSUNG 32
21 BEISPIEL PROZESSFÄHIGKEITSANALYSE 33
21.1.1 Schlussfolgerungen 35
22 MESSEN 35
22.1 TOLERANZEN UND MESSPRÄZISION 35
22.2 GAGE R&R MESSWIEDERHOLUNG 36
23 TOLERANZEN 38
23.1 TOLERANZEN FALSCH SETZEN 38
23.2 TOLERANZEN STATISTISCH SETZEN 38
23.3 EINGRENZUNG AUF DIE WICHTIGEN FAKTOREN 40
24 ERSTMUSTERPRÜFUNG 41
24.1 DEFINITION DER ERSTMUSTERPRÜFUNG 41
24.1.1 PPAP 42
25 ÜBUNGSBEISPIEL 44
25.1 RECHENAUFGABE 44
25.2 TEST FRAGEN 44
25.3 MINITAB AUSWERTUNG 46
25.4 LÖSUNG TESTFRAGEN 47
26 BILDVERZEICHNIS 48
27 INDEX 49
28 VERWEISE 50

2 Produkt Entwicklung

Dieses Handbuch richtet sich an alle R&D Mitarbeiter, welche Produkte entwickeln nach den Regeln von Design for Six Sigma DFSS möchten. Die Anwendung der beschrieben Methoden bedingt Excel®[i] oder eine andere Statistiksoftware. Es werden keine Six Sigma DMAIC Methoden beschrieben, welche für Design for Six Sigma DFSS[ii] nicht benötigt werden.

Folgende Methoden werden behandelt:

- Prozessfähigkeit Kurzzeit Cp und Cpk
- Prozessfähigkeit Langzeit Pp und Ppk
- SPC Statistische Prozess Kontrolle => Regelkarte
- Prozesskomplexität
- Prozessfähigkeit Cm zum Messen
- Gage R&R Messpräzision

Die Beispiele sind mit Minitab[iii], QS-Stat [iv]von Q-DAS oder Excel® berechnet worden.

Die Grundlagen zu den Methoden entsprechen dem GE (General Electrics[v]) Standard für die Six Sigma Yellow Belt Ausbildung.

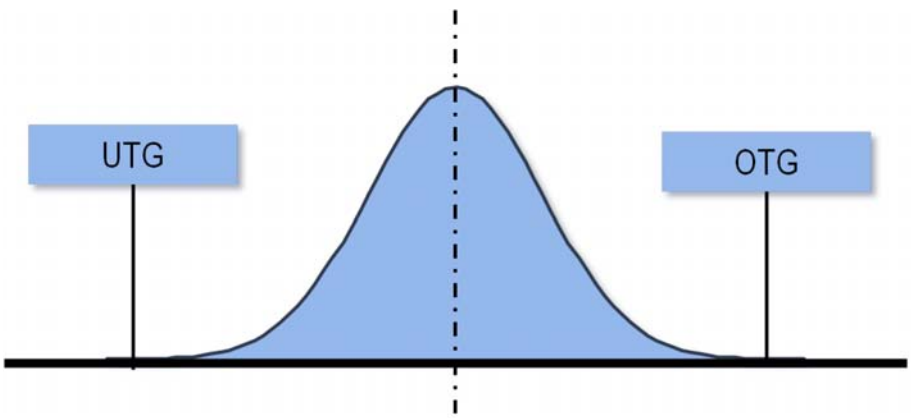


Abbildung 1 Prozessfähigkeit

Aktuelle Daten zu diesem Handbuch können auf meiner Homepage www.sixsigma.ch abgerufen werden.

3 Geschichte

Die Qualitätsentwicklung seit Anfangs 1900 geht vom sortieren über steuern bis zur Qualitätsintegration.

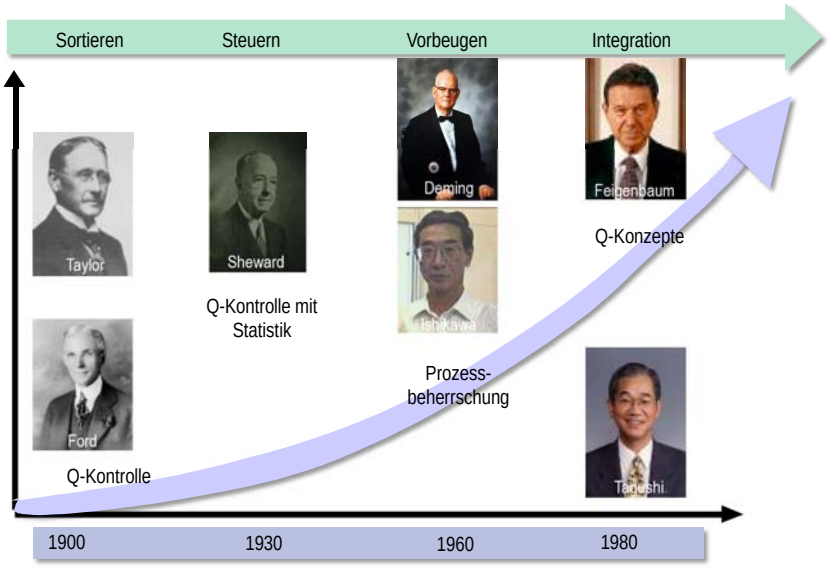


Abbildung 2 Q-Entwicklung

3.1 Six Sigma Entwicklung

Die Fortune-Liste [vi]von Forbes mit den 500 gössten Unternehmen zeigt, dass 1999 14 Firmen unter den ersten 100 mit der Einführung von Six Sigma gestartet haben. IWC hat 2003 angefangen Six Sigma in der Entwicklung erfolgreich umzusetzen. Das erste Produkt, welches mit den DFSS Methoden auf den Markt gekommen ist, ist das Werk des Minutenschleppzeigers.

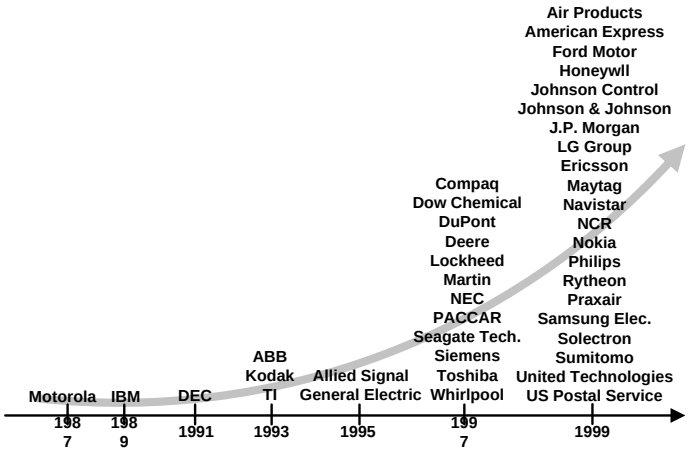


Abbildung 3 Six Sigma Entwicklung

3.2 Motorola und Six Sigma heute

Bei Motorola ist Six Sigma 1987 erfunden worden. Auch heute wird Six Sigma bei Motorola noch erfolgreich eingesetzt. Motorola unterhält eigene Ausbildungsstätten für Six Sigma.

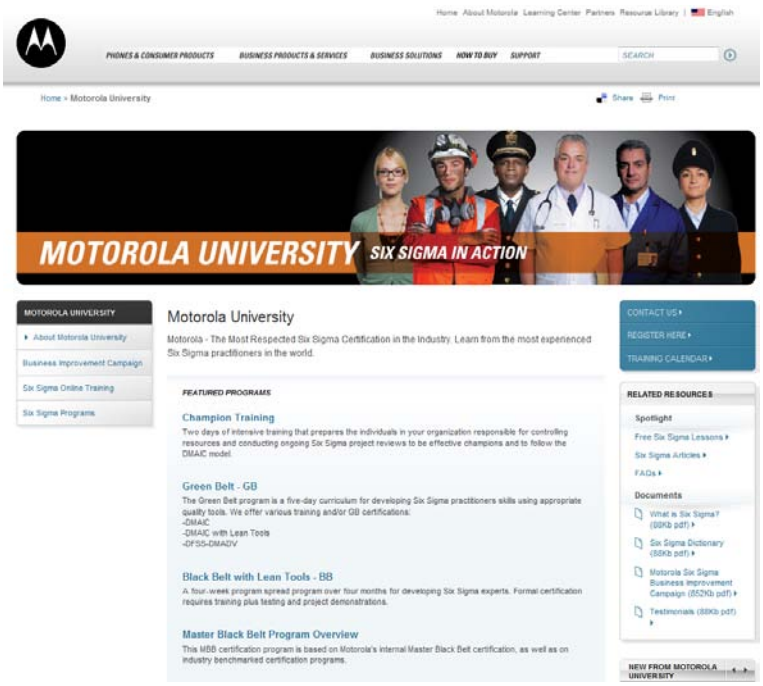


Abbildung 4 Motorola Six Sigma heute

3.3 Samsung und Six Sigma

Auch koreanische Betriebe wie Samsung[vii] setzen Six Sigma seit 2003 erfolgreich ein.

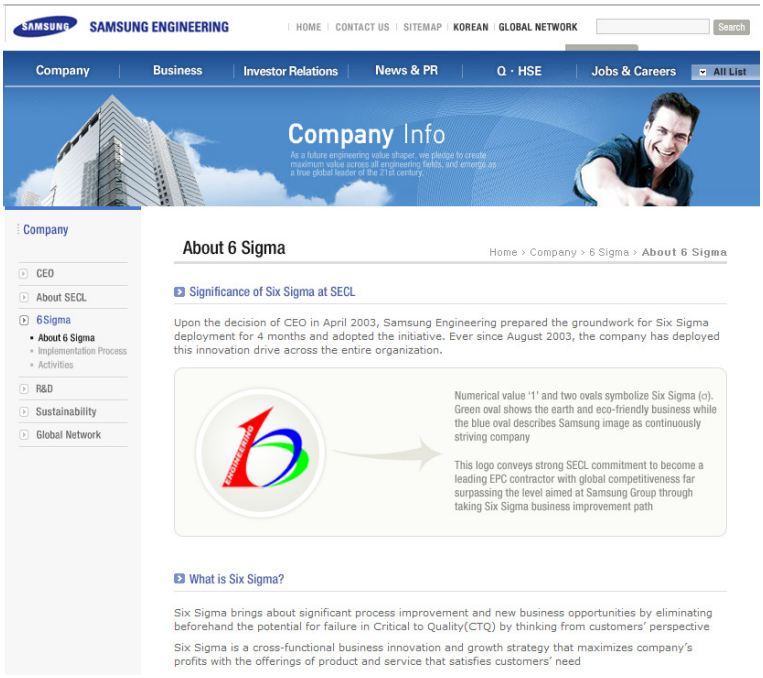


Abbildung 5 Samsung und Six Sigma seit 2003

4 Net benefit Beispiel Ford 2003

Einer der Prozesse, die Ford[viii] erweitern um die Kostensenkung und die Qualitätsverbesserungen voranzutreiben, ist das kundenorientierte 6-Sigma, eine von Daten angetriebene Methode, welche statistische Hilfsmittel benützt, um unnötigen Aufwand und Veränderungen zu reduzieren. Unternehmen wie GE und Motorola haben das 6-Sigma erfolgreich eingeführt und auf ihre Arbeitsabläufe angewendet. Ford ist der erste und einzige Autohersteller, der das 6-Sigma auf all seine Arbeitsgänge anwendet.

Seit der Einführung 2000 hat das 6-Sigma Projekt von Ford weltweit $675 Millionen eingespart. 6-Sigma war ausserdem verantwortlich für den signifikanten Teil der Qualitätsverbesserung.

Der neue 3.5-liter V-6 Motor repräsentiert Ford's erste Nutzung für For Six Sigma (DFSS) Anwendung innerhalb einem grösseren Programm. Bis 2004 hat Ford nur den DMAIC Prozess erfolgreich umgesetzt.

Abbildung 6 Hybrid fähiger 3.5l Motor von Ford

5 ISO und Six Sigma

Mit ISO[ix] werden die Prozesse und die Prozessorganisation erstellt. ISO stellt keine Tools zur systematischen Messung von Prozessen zur Verfügung. Es ist von Vorteil eine Prozesslandschaft gemäss ISO zu definieren, bevor man Six Sigma einführt.

Mit Six Sigma werden die Prozesse gemessen und optimiert. Das Potential zur Prozessoptimierung bleibt über die Jahre konstant, da sich z.B. Produktionsprozesse oder Technologien während dieser Zeit auch weiter entwickeln. Somit können Prozesse dauernd verbessert werden.

ISO International Organization for Standardization

Komplementär

6σ

6 Wie gut ist Six Sigma

In der USA hätte eine Leistung von nur +/- 3 Sigma folgende Fehler zur Folge:

- 2 Crashs bei der Landung eines Flugzeuges pro Tag
- 5 ’000 chirurgische Eingriffe mit “Fehlern” pro Woche
- 200 ’000 falsche medizinische Verordnungen pro Jahr
- 22 ’000 falsche Banküberweisungen pro Stunde
- 7 Stunden pro Monat ohne Elektrizität

- 20 ’000 verlorene Postpakete pro Stunde

Spezifikation	In %	DPMO
+/- 1 Sigma	68.27	317300
+/- 2 Sigma	95.45	45500
+/- 3 Sigma	99.73	2700
+/- 4 Sigma	99.9937	63
+/- 5 Sigma	99.999943	0.87
+/- 6 Sigma	99.9999998	0.002

Wenn wir die mögliche Streuung grafisch darstellen sehen +/- 6 Sigma wie folgt aus:

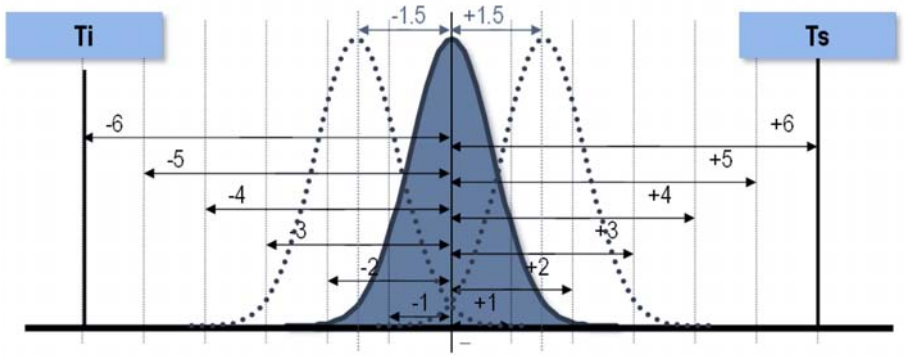


Abbildung 7 Prozessstreuung

7 Normalverteilung

Die Normal- oder Gauss-Verteilung (nach Carl Friedrich Gauss) ist ein wichtiger Typ kontinuierlicher Wahrscheinlichkeitsverteilungen. Sie ist definiert für Werte von $-\infty$ bis $+\infty$. Ihre Wahrscheinlichkeitsdichte wird auch Gauss-Funktion, Gauss-Glocke, Gausssche Glockenkurve oder schlicht Glockenkurve genannt.

Die besondere Bedeutung der Normalverteilung beruht auf dem zentralen Grenzwertsatz, der besagt, dass eine Summe von *n* unabhängigen, identisch verteilten Zufallsvariablen im Grenzwert $n \to \infty$ normalverteilt ist. Das bedeutet, dass man Zufallsvariablen als normalverteilt ansehen kann, wenn sie durch Überlagerung einer grossen Zahl von unabhängigen Einflüssen entstehen, wobei

jede einzelne Einflussgröße einen im Verhältnis zur Gesamtsumme unbedeutenden Beitrag liefert.

7.1 Standardabweichung

Die Standardabweichung σ beschreibt die Breite der Normalverteilung und hängt mit der Halbwertsbreite zusammen. Berücksichtigt man die tabellierten Werte der Verteilungsfunktion, gilt näherungsweise folgende Aussage:

- 68,27 % aller Messwerte haben eine Abweichung von höchstens σ vom Mittelwert,
- 95,45 % aller Messwerte haben eine Abweichung von höchstens 2σ vom Mittelwert,
- 99,73 % aller Messwerte haben eine Abweichung von höchstens 3σ vom Mittelwert.

Somit kann neben dem Mittelwert auch der Standardabweichung eine physikalische Bedeutung zugeordnet werden.

7.2 Wahrscheinlichkeitsnetz

Mit einem Wahrscheinlichkeitsnetz kann man die Daten eines statistischen Merkmals daraufhin untersuchen, ob ihnen eine bestimmte Wahrscheinlichkeitsverteilung zu Grunde liegt. Es ist mit einem Koordinatennetz versehen, in dem auf der Abszisse die Quantile der Verteilung äquidistant, dagegen auf der Ordinate die dazugehörigen Funktionswerte der Verteilung in linearisierter Form abgetragen sind. Beim Eintragen der Wertepaare (Quantil, Verteilung) erhält man so eine Gerade.

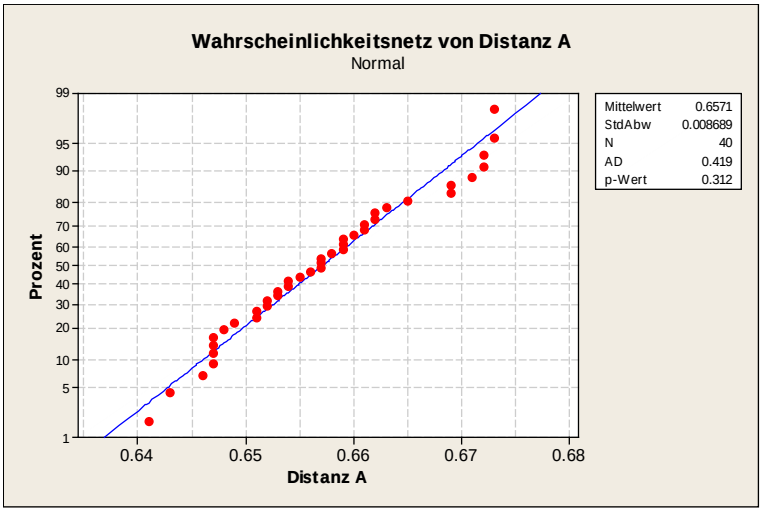


Abbildung 8 Wahrscheinlichkeitsnetz

8 Schulbeispiel

Wie gut muss die Prozessfähigkeit sein?

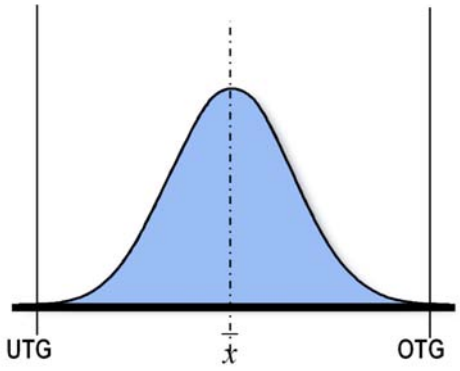


Abbildung 9 Cp 1.33

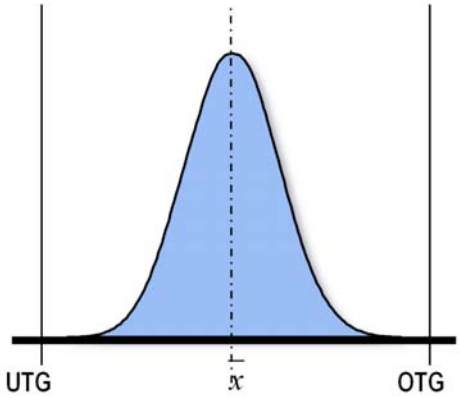


Abbildung 10 Cp 1.66

Ein Prozess muss links und rechts genug Platz innerhalb der Spezifikation haben, damit er streuen kann.

9 Ziel der Prozessfähigkeitsanalyse

Wir wollen folgende Ziele mit der Prozessfähigkeitsanalyse erreichen:

1. Abschätzung der Machbarkeit neuer Teile
2. Abschätzung von zu erwartenden off-spec-Anteilen
3. Abschätzung von Prozessverbesserungspotential
4. Charakterisierung der Fähigkeit eines Prozesses, die vorgegebene Spezifikation einzuhalten

10 Einflussfaktoren auf die Prozessfähigkeit

Was sind die möglichen Einflussfaktoren auf die Prozessfähigkeit?

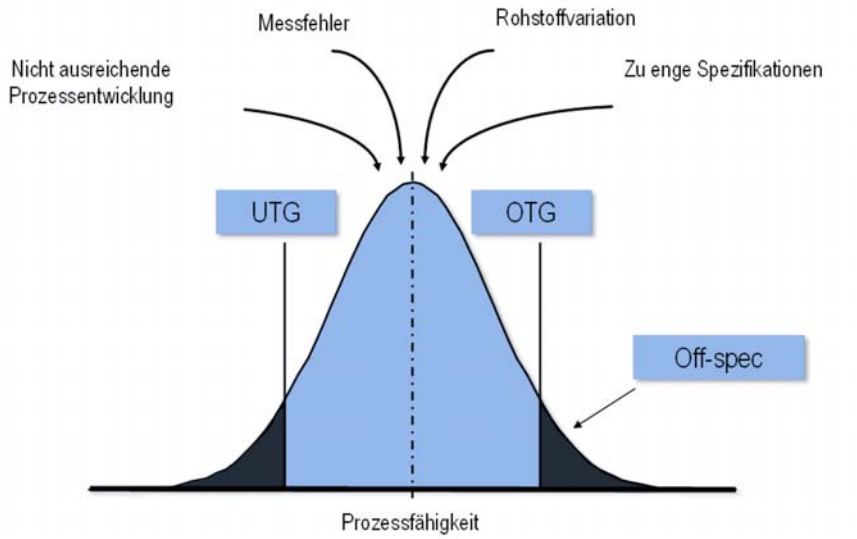


Abbildung 11 Einflussfaktoren

Die Prozessfähigkeit wird von Faktoren beeiflusst die uns nicht immer bewusst sind. Eine Checkliste kann helfen möglichst viele Einflussfaktoren zu berücksichtigen.

11 Kennzahlen der Prozessfähigkeit

Die Prozessfähigkeitsindizes Cp und CpK sind Kennzahlen zur statistischen Bewertung eines Prozesses in der Produktionstechnik. Sie geben an, wie sicher die laut Spezifikation vorgegebenen Ziele erreicht werden.

Der Cp-Wert lässt sich nur dann berechnen, wenn sowohl eine obere als auch untere Spezifikationsgrenze definiert ist

$$Cp = \frac{T}{6s} = \frac{OTG - UTG}{6s}$$

Der folgende Prozess hat einen Cp von 1.33

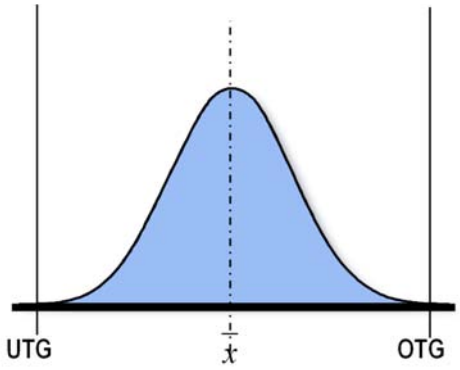


Abbildung 12 Cp 1.33

Der folgende Prozess hat einen Cp von 1.66. Die Automobilindustrie hat einen Cp von mindestens 1.66 ca. 1998 eingeführt.

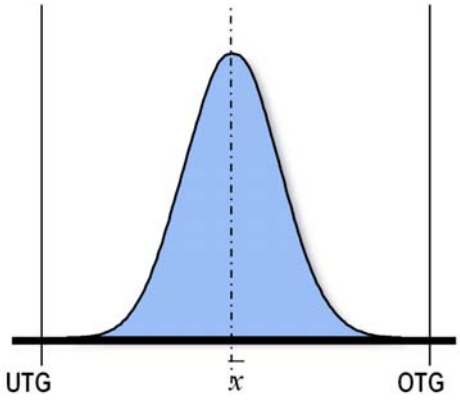


Abbildung 13 Cp 1.66

Der folgende Prozess hat einen Cp von 2.0.

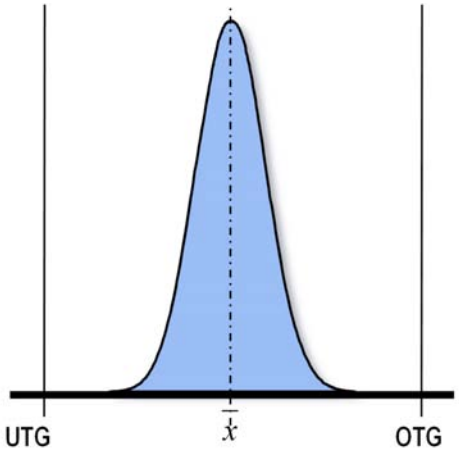


Abbildung 14 Cp 2.0

Früher wurde ein Cpk-Wert von mindestens 1,00 als ausreichend angesehen, später wurde die Forderung auf 1,33 angehoben. Mittlerweile wird vielfach ein Cp-Wert von 2,00 (die Breite des Toleranzbereichs entspricht einer Streubreite von ±6 Standardabweichungen, daher Six Sigma) kombiniert mit einem CpK-Wert von 1,5 (der Abstand der nächstgelegenen Toleranzgrenze vom Prozessmittelwert beträgt mindestens 4,5 Standardabweichungen) als wünschenswertes Ziel definiert. Im Autobau wird meist mit einem Cp-Wert von 2, im Flugzeugbau von 4 oder gar 8 gearbeitet

Anbei ein Toleranzbeispiel mit einem Konzept von 6 Sigma (Cpk = 2.00) aus der Uhrenindustrie (Mikrotechnik)

(Cpk von 1.33 und Cm 1.66) :

Operationen	Spezifikationen	Cpk 1.33	Cm 1.66
Bearbeitung CNC	+/- 0.04 mm	+/- 0.03 mm	+/- 0.02
Stein setzen	+/- 0.07 mm	+/- 0.05 mm	+/- 0.04
Höhenspiel	0.020 mm	0.015 mm	0.010 mm

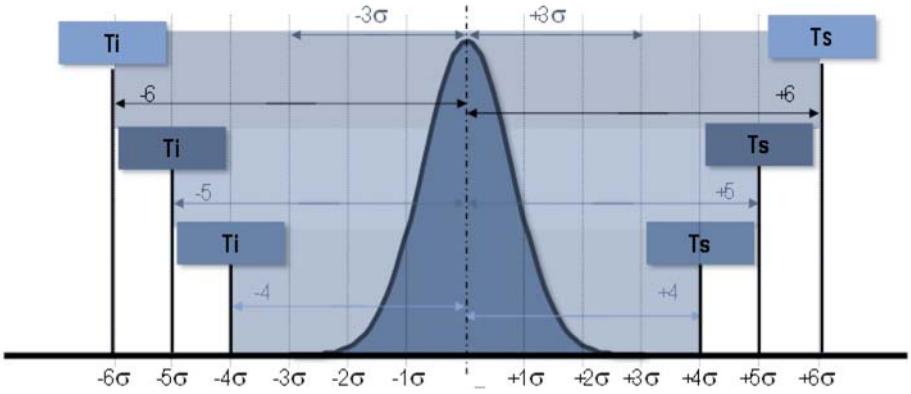


Abbildung 15 Streuungsbreite

12 Mittelwertstreuung

Während der Cp-Wert nur das Verhältnis der vorgegebenen Toleranz zur Prozessstreuung angibt, beinhaltet der Cpk-Wert auch die Lage des Mittelwertes zur vorgegeben Toleranzmitte. Daher ist der Cpk-Wert stets kleiner als der Cp-Wert.

Die Mittelwertstreuung wird wie folgt bewertet:

$$Cpk = \min\left[Cpo; Cpu\right]$$

$$Cpu = \frac{\bar{x} - UTG}{3s}$$

$$Cpo = \frac{OTG - \bar{x}}{3s}$$

Ein Mittelwert streut immer. Wenn die Streuung des Prozesses zu gross ist, gibt es Teile ausserhalb der Spezifikation.

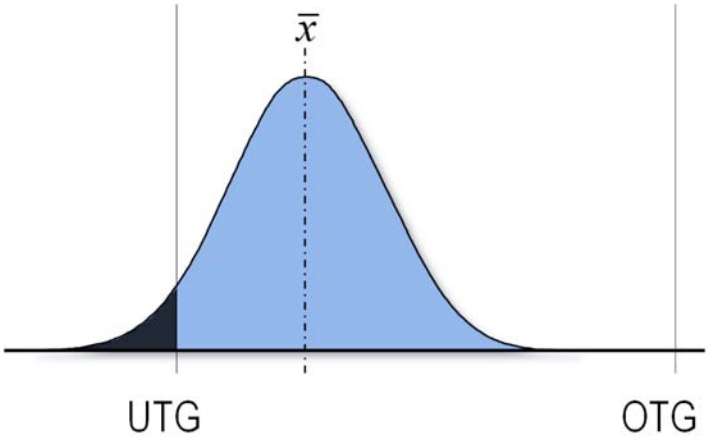


Abbildung 16 Mittelwertschwankung Cpk

13 Prozesszustände

Die Prozesszustände kann man auch mit einem Schussbild veranschaulichen.

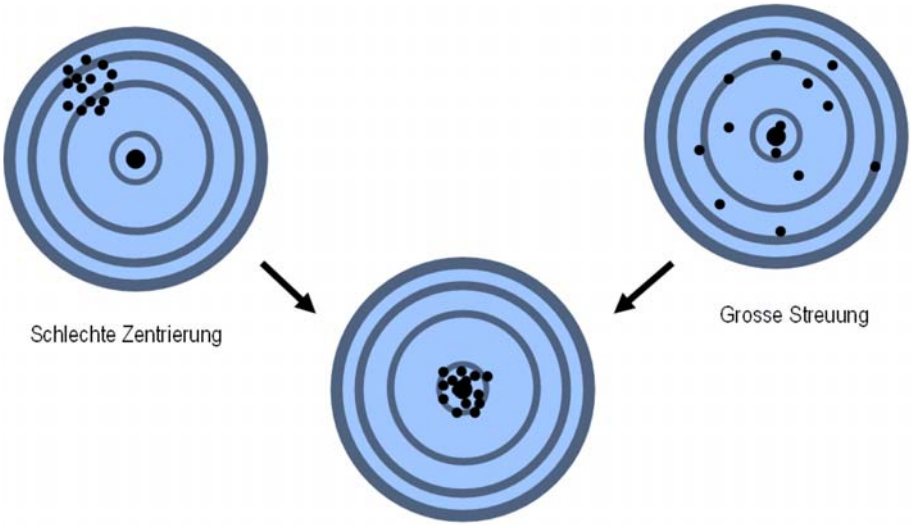


Abbildung 17 Prozesszustände

14 SPC

In der statistischen Prozess Kontrolle SPC kommt der Zeitfaktor hinzu. Die gemessenen Werte werden in einer bestimmten Reigenfolge registriert. Es ist so einfach den Verlauf der Produktion zu überwachen und falls nötig sofort einzugreifen.

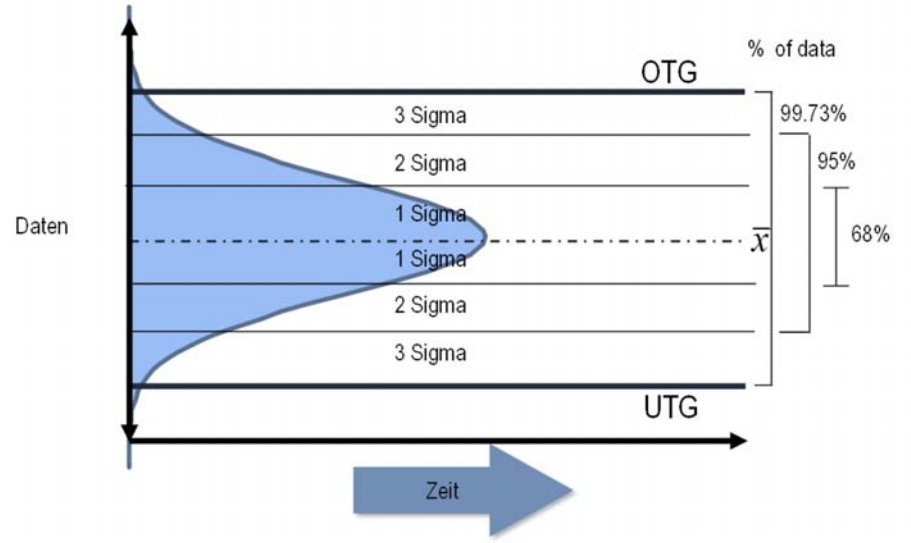


Abbildung 18 SPC Prinzip

14.1 Kurzzeit-Fähigkeit

Eine Kurzzeit-Fähigkeitsstudie umfasst nur eine kurze Zeitperiode (Tage, Wochen) mit ca. 30 bis 50 Daten. Die tatsächliche Anzahl an Daten hängt dabei von der jeweiligen Aufgabenstellung ab.

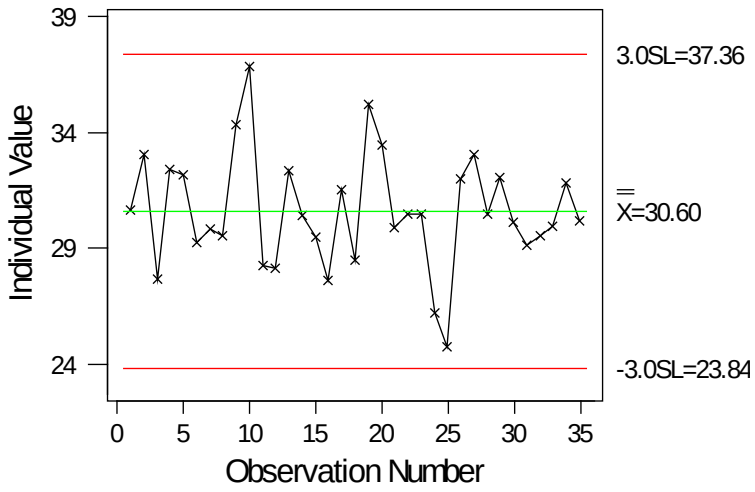


Abbildung 19 Kurzzeitfähigkeit

14.2 Langzeit-Fähigkeit

Bei einer Langzeit-Fähigkeitsstudie wird ein längerer Zeitraum (Wochen/Monate) untersucht. Die Datenzahl kann auf 100 bis 200 ansteigen. Aber auch hier hängt die tatsächliche Datenanzahl von der Aufgabenstellung ab.

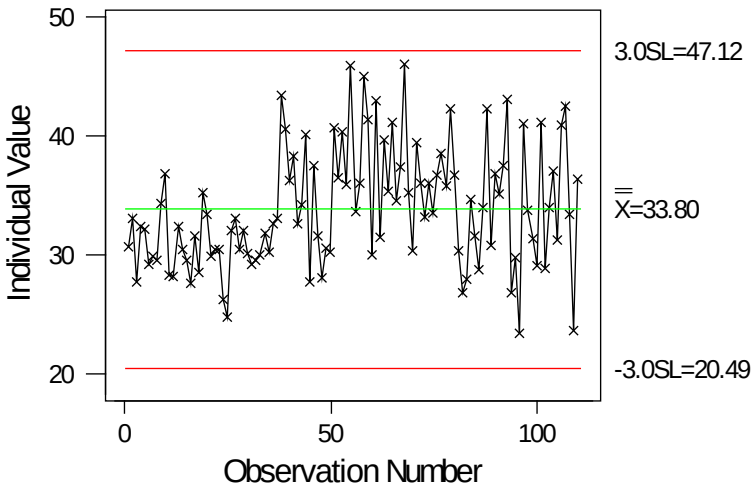


Abbildung 20 Langzeitfähigkeit

14.3 Prozessvariation

Ein Prozess variiert +/- 1.5σ. Diese Prozessschwankung wurde statistisch zum ersten mal 1987 bei Motorola[x] nachgewiesen. Von dieser Prozessschwankung kommt auch die Streuungssicherheit von +/- 6σ.

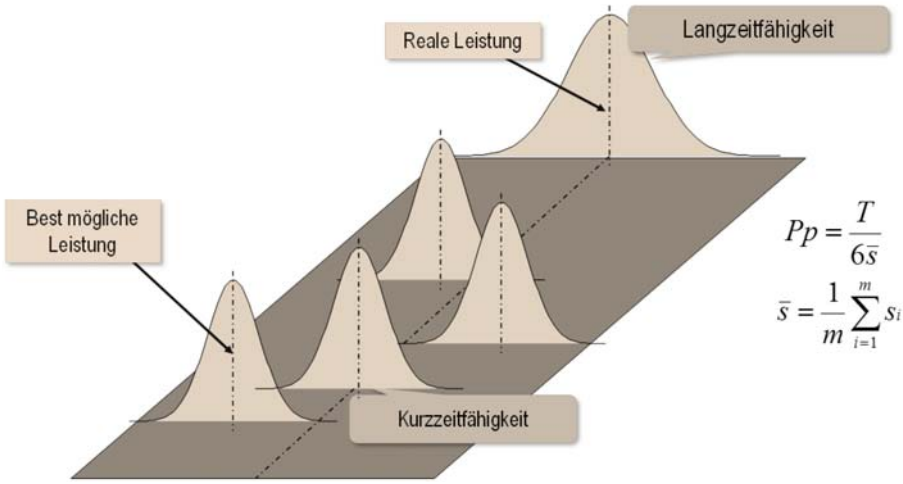


Abbildung 21 Prozessschwankung

14.4 Langzeitfähigkeit Verlagerung 1.5σ

Wenn die Prozessschwankung von +/- 1.5s dargestellt wird, begreifen wir woher der Begriff von Six Sigma stammt.

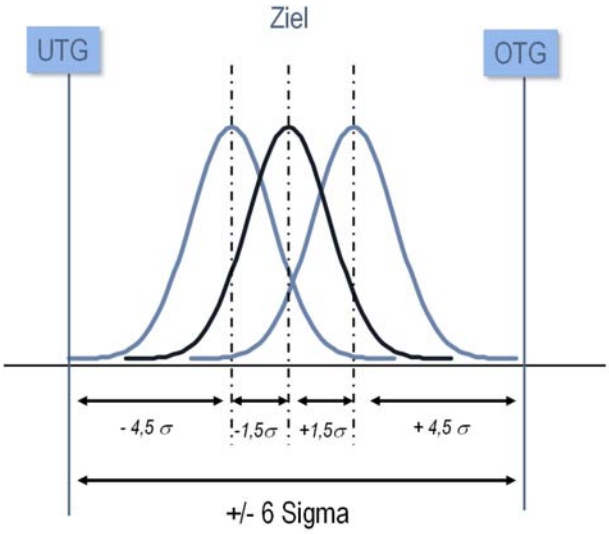


Abbildung 22 6 Sigma

15 Prozesskennzahlen

Wir werden daher eine neue Unterscheidung bei Prozessfähigkeits-kennzahlen einführen:

1. Kennzahlen für die Prozessfähigkeit und
2. Kennzahlen für die Prozessleistung

Die Prozessfähigkeit beschreibt das "Potential" des Prozesses (Cp und Cpk) gedankliche Kurzzeit-Betrachtung

Die Prozessleistung beschreibt die "Reale Leistung" des Prozesses (Pp und Ppk) gedankliche Langzeit-Betrachtung

16 Fähigkeit und Leistung

Prozessfähigkeit: nur zufällige oder Kurzzeitschwankung

(Cp & Cpk)

Prozessleistung: Gesamtvariation, inkl. Verschiebungen und Drift

(Pp & Ppk)

17 Verbesserung der Prozessfähigkeit

Betrachten wir nun die Möglichkeiten, wie wir die Prozessfähigkeit verbessern können.

Kurzfristig: Annähern von Ppk an Pp (Prozesszentrierung)

Mittelfristig: Annähern von Pp an Cpk (Reduzierung von Variation)

Langfristig: Annähern von Cpk an Cp (Wegfall systematischer Einflüsse, nur noch Zufallsschwankung)

Das Ziel eines Six Sigma Prozess lautet:

$$Cp = \frac{T}{6s} = \frac{OTG - UTG}{6s}$$ Cp = 2.00

Der Prozess kann innerhalb +/- 6σ 1.5σ driften.

$$Ppk = \frac{12-3}{6} = 1.5 \text{ oder}$$

$$Ppk = \frac{6-1.5}{3} = 1.5$$

Ein Ppk mit einem Cp von 2.0 ist somit mindestens 1.5

18 Verbesserung der Prozessfähigkeit R&D

In der Entwicklungsabteilung ist das grösste Potential die Prozessfähigkeit zu verbessern. Oft werden ganz einfach Angsttoleranzen eingesetzt oder die Toleranzrechnung wird nicht seriös durchgeführt und man kopiert einfach alte Pläne.

Kurzfristig: Anpassen der Toleranzen auf den Zeichnungen, gemäss Erstmusterprüfung VDA

Mittelfristig: Anpassen der Konstruktion an eine möglichst hohe Prozessfähigkeit

Langfristig: Verwendung von Standardmodulen / Komponenten mit hoher Langzeitprozessfähigkeit

19 Maschinenfähigkeit

Damit man die Maschinenfähigkeit Cmk ermitteln kann, müssen 30 Teile nacheinander gefertigt und ausgemessen werden. Das Toleranzfeld der Maschine ergibt sich bei einem theoretischen Wert Cm=2 => T=2*6σ. Dieses wiederum muss 1.5 mal besser sein als die Plantoleranz.

Wir haben die Maschinenfähigkeit von CNC Fräsmaschinen für die Uhrenindustrie ausgewertet. Die Maschine sollte eine Kurzzeitfähigkeit von +/- 0.004 mm haben. Die Langzeitfähigkeit entspricht demnach +/- 0.006 mm. Dies ist die Toleranz welche von QS-Stat ausgewertet worden ist.

Die folgenden Grafiken sind mit QS-Stat ausgewertet worden.

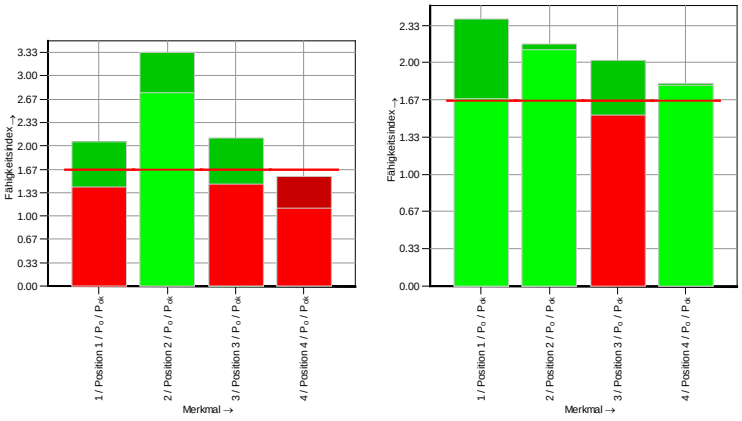


Abbildung 23 Fleury und Almac

20 Regelkarten (Qs-Stat)

Die XbarS-Karte (Mittelwert- und Standardabweichungskarte, x-quer-s-Karte) enthält Stichprobendaten und zwei Spuren oder Schaubilder, in denen zwei Stichprobenkenngrößen dargestellt werden: der arithmetische Stichprobenmittelwert ($\bar{x}$) (im Englischen „X bar“ gelesen, daher der Name; im Deutschen „x quer“) und die Stichprobenstandardabweichung s.

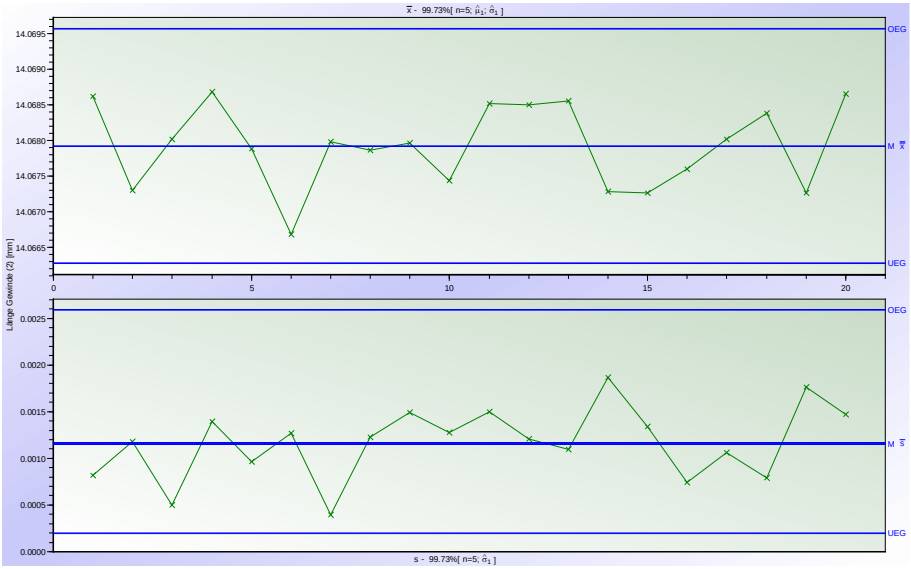


Abbildung 24 Regelkarte

In der Fertigungspraxis besteht eine Stichprobe oft aus 5 Messwerten. Dies können zum Beispiel die Messergebnisse für fünf in direkter Reihenfolge gefertigte Teile sein. Für jede Stichprobe werden dann der Stichprobenmittelwert und die Stichprobenstandardabweichung berechnet und in die jeweiligen Schaubilder eingezeichnet. Die so entstehenden Kurvenverläufe geben dem Werker Aufschluss über die Stabilität seines Prozesses.

Die XbarS-Karte kann aber natürlich auch in anderen Bereichen als der Fertigung eingesetzt werden. Im Zeitalter der manuellen Regelkartenführung war der Einsatz der XbarS-Karte selten, da die manuelle Berechnung der Standardabweichung recht umständlich und fehleranfällig war; stattdessen wurde vorrangig mit der XbarR-Karte gearbeitet, die nur die Berechnung von Spannweitenwerten erfordert. Mit dem Aufkommen von Computerprogrammen zur statistischen Prozesslenkung war dies aber kein nennenswerter Vorteil mehr, und die XbarS-Karte ist wegen ihrer größeren statistischen Effizienz heute das Standardmittel zur Überwachung von messbaren Merkmalen.

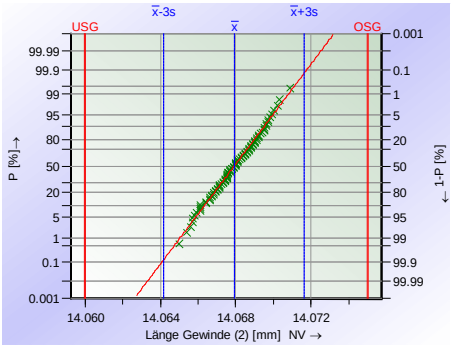


Abbildung 25 Wahrscheinlichkeitsmatrix

In einer Regelkarte wird geprüft, ob und wie die Daten normalverteilt sind. In der Wahrscheinlichkeitsmatrix wird die Qualität der Normalverteilung angezeigt.

20.1 Regelkarten Schwankung

In der Regelkarte können die Schwankungen der Streuung und des Mittelwertes sehr gut abgelesen werden. Im folgenden Beispiel einer Langzeitmessung ist die Streuung gering und der Mittelwert schwankt.

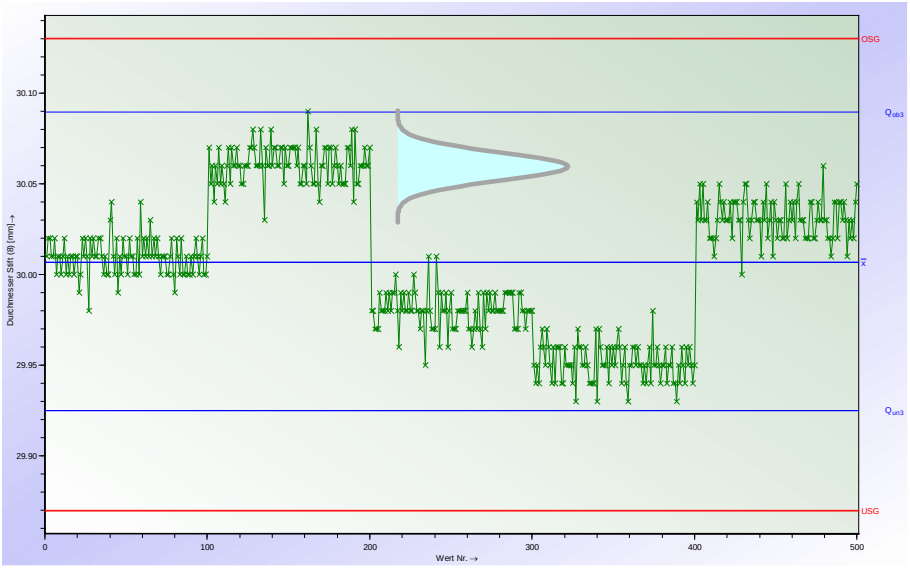


Abbildung 26 Mittelwertschwankung

Die Normalverteilung einer Langzeitmessung überlagert mehrere Messungen.

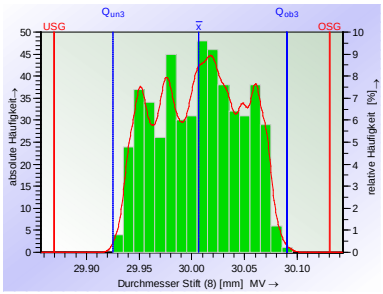


Abbildung 27 Normalverteilung Langeitmessung

20.2 Regelkarten Verlauf

Wenn wir einen Verlauf des Mittelwertes wahrnehmen ohne dass die Streuung schwankt, kann es sein dass die Temperatur der Maschine ändert. Dies kann etwa so aussehen.

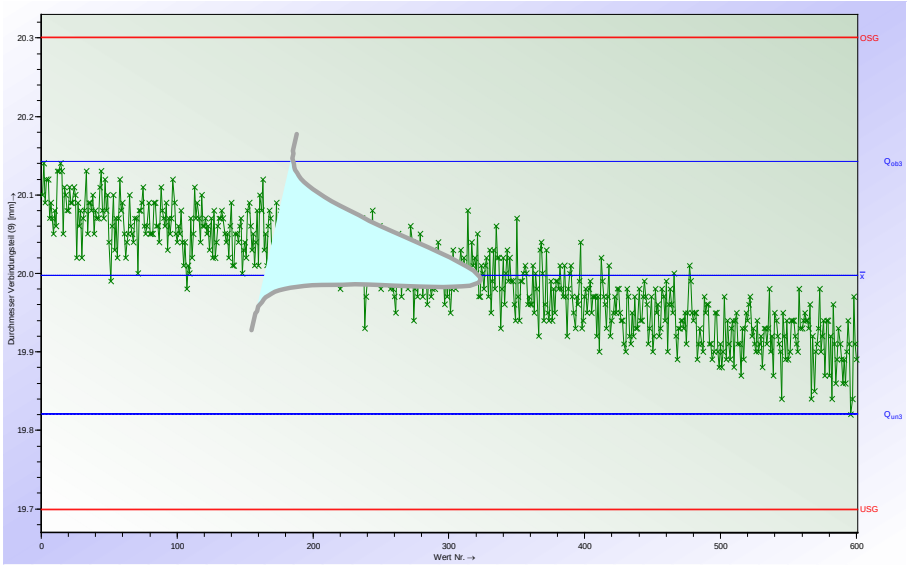
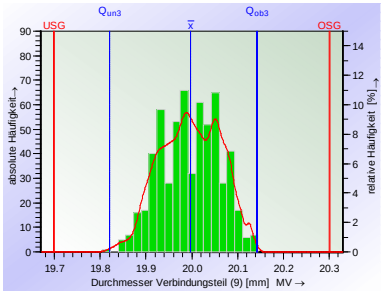


Abbildung 28 Verlauf Mittelwert

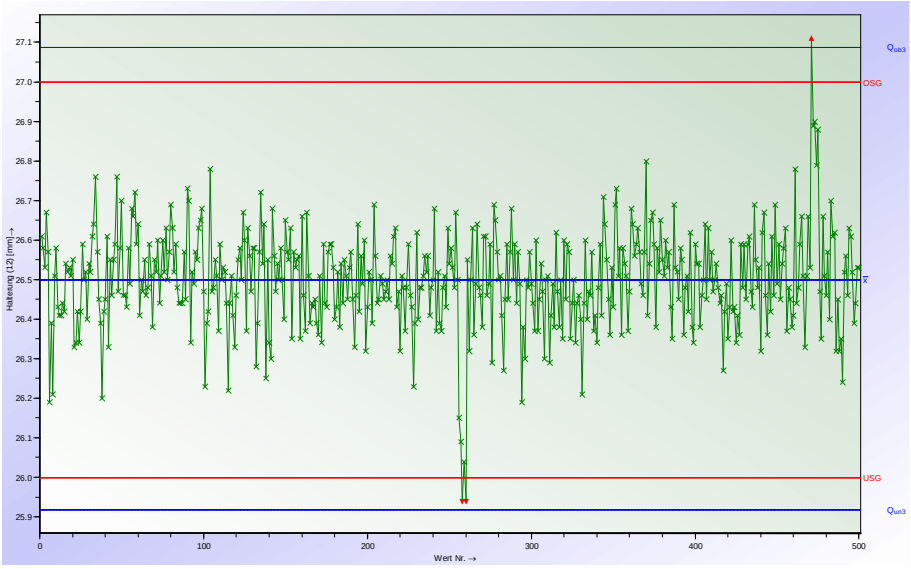
Die Wahrscheinlichkeitsmatrix sieht wie folgt aus:



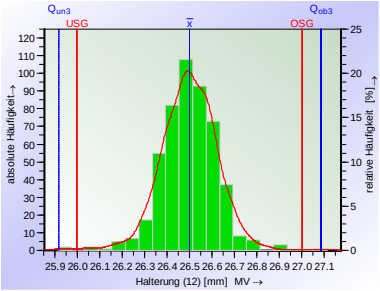
20.3

20.4 Regelkarte Einzelwerte

Wenn einzelne Werte ausserhalb der Spezifikationsgrenzen liegen, ist dies auf Zufallsschwankungen zurück zu führen. Die Ursachen sind oft schwer zu finden. Ein Grund kann ein in einer Bodenerschütterung liegen, welche von einer Nachbarsmaschine stammt.



Die Wahrscheinlichkeitsmatrix sieht wie folgt aus:



20.5 X-Y Plot

Bei einem Koordinatenbohrbild können die Messwerte im x-y Plot dargestellt werden.

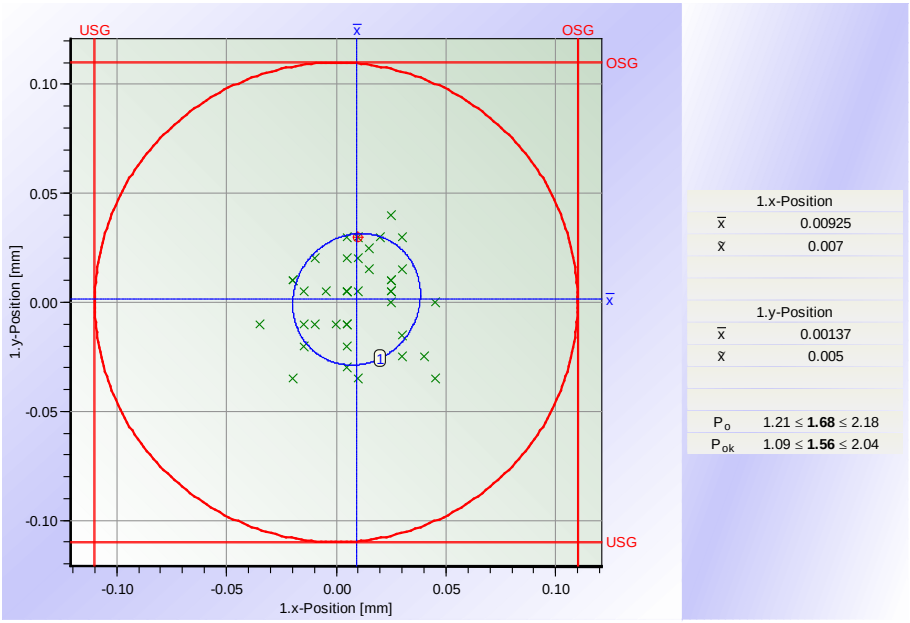


Abbildung 29 x-y Plot

20.6 Boxplot

Der Boxplot gibt eine Übersicht über die Streuung der einzelnen Koordinatenwerte. Er zeigt auf einen Blick die Qualität eines Bauteils.

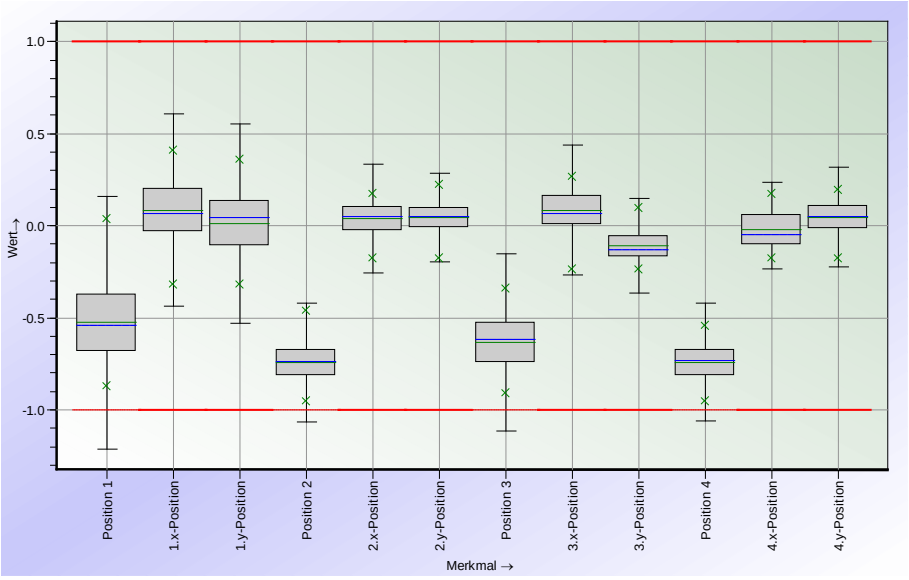


Abbildung 30 Boxplot

20.7 Bericht (Prozessanalyse)

Zusammenfassend kann eine Stichproben oder Prozessanalyse als Datenblatt für den internen oder externen Lieferanten eine Aussage über die Prozessfähigkeit geben.

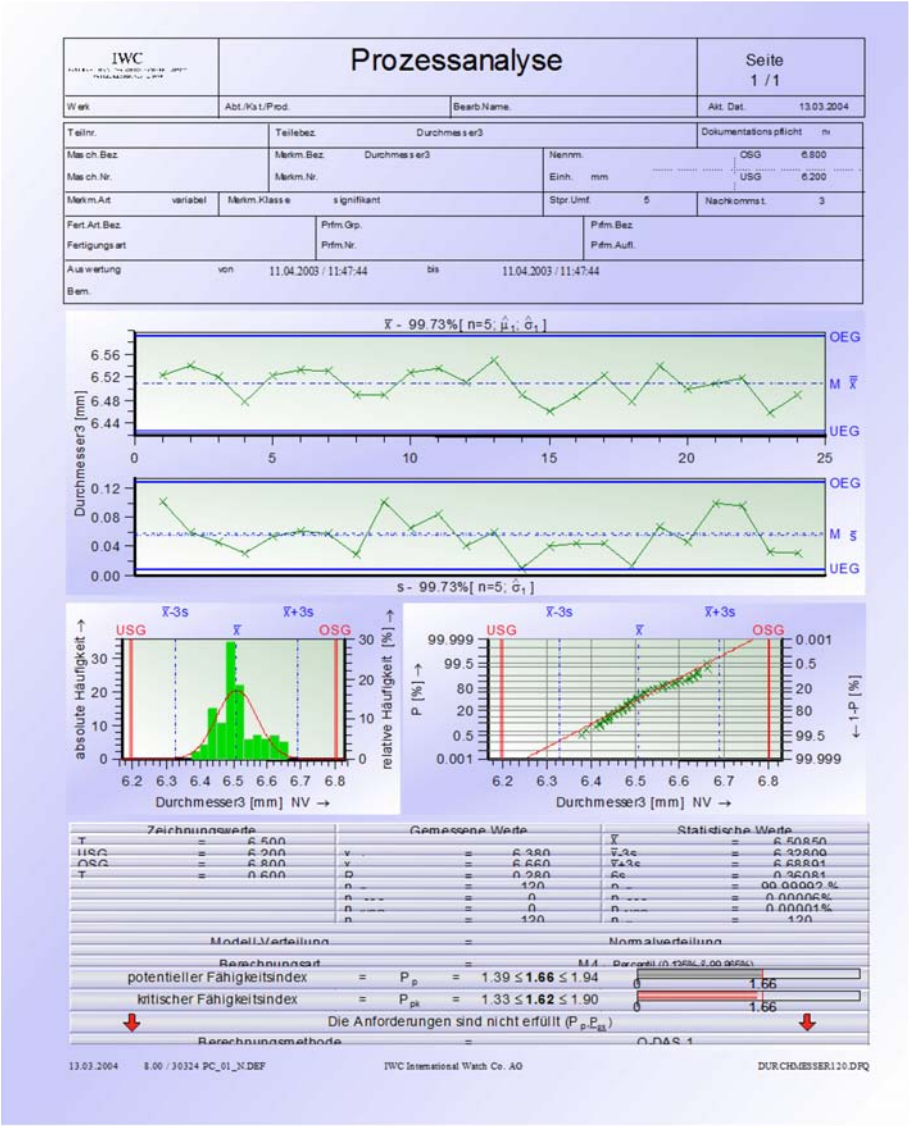


Abbildung 31 Prozessanalyse Datenblatt

20.8 Prozessfähigkeit – Zusammenfassung

Zusammenfassend können wir sagen dass die Prozessfähigkeit folgende Punkte beschreibt.

- Beschreibung der Qualität eines Prozesses
- Abschätzung des Verbesserungspotentials durch Vergleich von Kurzzeit- mit Langzeitfähigkeit

- Anpassen der Konstruktion an die Langzeitfähigkeit bestehender Prozesse.

21 Beispiel Prozessfähigkeitsanalyse

Im folgenden Beispiel erstellen wir eine Prozessfähigkeitsanalyse von Regulierorganen mechanische Uhren.

Das Regulierorgan der mechanischen Uhr wird auf +/- 200 Sekunden klassiert. Das Drehmoment der Spiralfeder wird auf das Trägheitsmoment der Unruh abgestimmt. Die Feinregulierung geschieht anschliessend über ein Rückersystem oder Regulierschrauben.

Die Spezifikation lautete demnach

Oberer Toleranzgrenze +200 Sekunden
Untere Toleranzgrenze -200 Sekunden

Omegametric Werte 1									
-1.12	29.14	-32.10	37.87	63.26	13.39	-58.14	48.60	60.51	88.56
-84.39	31.33	12.62	51.07	-135.79	-99.00	-66.77	54.86	-11.47	-21.39
-2.07	-84.17	77.84	35.62	19.45	74.15	40.14	-20.93	43.43	-37.01
24.83	-7.87	-159.42	46.00	-5.94	84.45	8.12	2.44	-60.25	-30.34
15.78	-65.82	-17.36	-112.56	38.49	-32.01	-19.43	-28.24	91.35	8.22
-10.58	14.74	-14.77	-99.66	19.36	12.11	33.74	-2.95	52.22	89.42
57.07	20.21	78.54	-45.17	-51.73	-38.42	1.29	-39.63	7.19	33.44
43.53	-68.43	-19.46	77.02	1.11	67.86	119.44	-89.94	22.62	5.04
0.02	-24.68	40.26	-3.37	58.51	3.65	41.42	3.08	43.76	-69.17
-58.52	17.15	-28.17	21.27	12.22	10.13	-66.97	56.56	-116.93	28.14

Die Prozessfähigkeitsanalyse wird in diesem Beispiel mit Minitab durchgeführt.

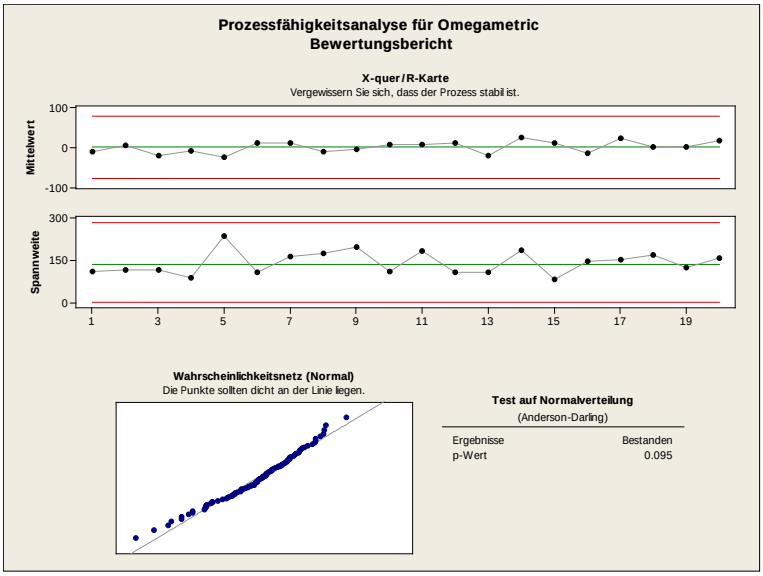


Abbildung 32 Prozessfähigkeitsanalyse

Die Daten sind normalverteilt. Die Regelkarte ist mit 100 Messwerten und einer Untergruppe von 5 Messwerten berechnet worden.

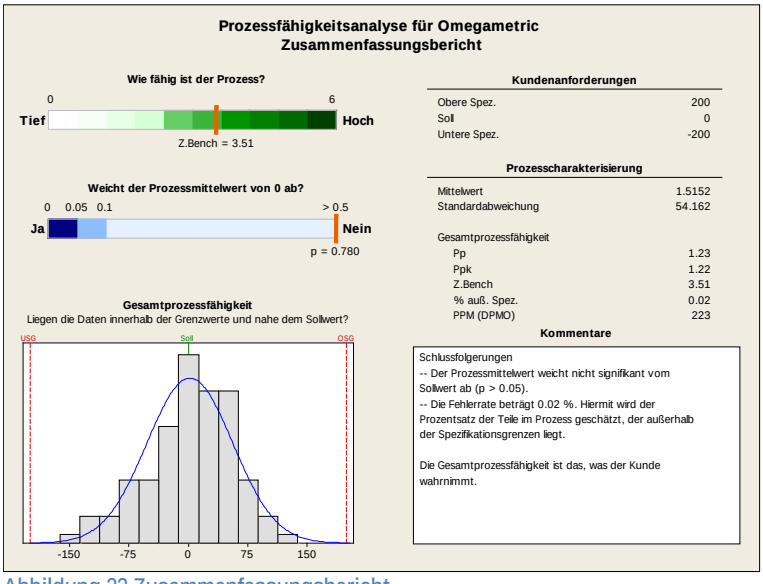


Abbildung 33 Zusammenfassungsbericht

21.1.1 Schlussfolgerungen

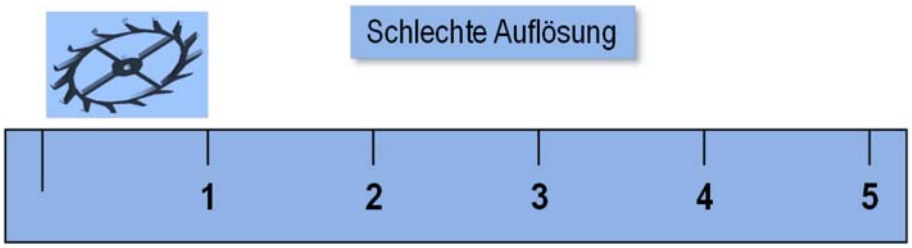
Der Prozessmittelwert weicht nicht signifikant vom Sollwert ab ($p > 0.05$).

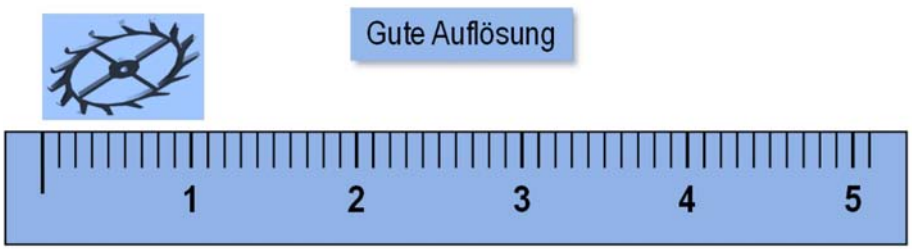
Die Fehlerrate beträgt 0.02 %. Hiermit wird der Prozentsatz der Teile im Prozess geschätzt, der außerhalb der Spezifikationsgrenzen liegt.

Die Gesamtprozessfähigkeit ist das, was der Kunde wahrnimmt.

22 Messen

Die Messmittel werden immer besser. Die Messmittelunfähigkeit welche mit engen Toleranzen kompensiert werden, muss richtig dimensioniert werden





22.1 Toleranzen und Messpräzision

Verhältnis zu Toleranz und Präzision.

Die Wiederholung R (Repeatability) und R Reproduzierbarkeit muss gewährleistet sein. (Gage R&R)

Optimal: 10% Akzeptabel: 30%

T Toleranzbreite [min max]

P Präzision
5.15 entspricht Normalverteilung mit 99%

$$P/T = \frac{5.15 \cdot \sigma_{MS}}{Toleranz}$$

Die Benutzung von 5.15 Standardabweichungen ist ein Industriestandard.

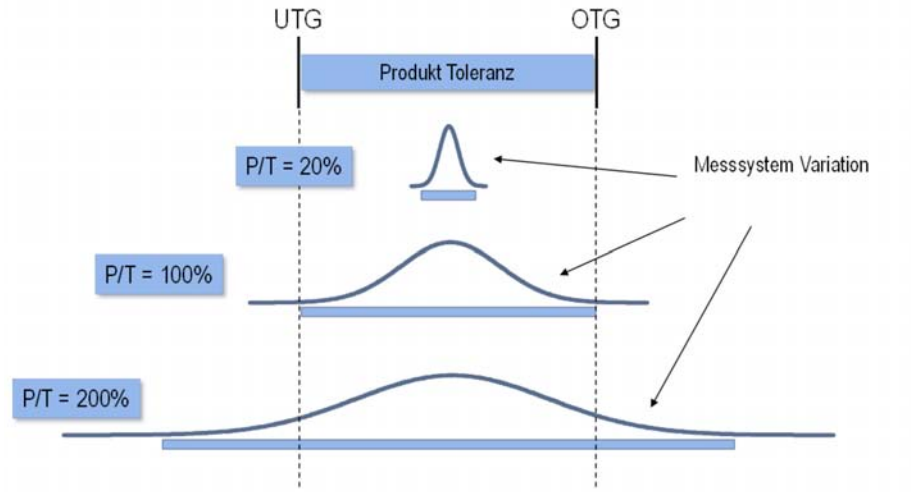


Abbildung 34 Messgenauigkeit

22.2 Gage R&R Messwiederholung

Dieses Verfahren untersucht die Wiederhol- und Vergleichspräzision eines Messmittels (englisch: repeatability and reproducibility, daher R&R, auch Gage R&R) und wird erst dann angewendet, wenn das Messmittel als fähig eingestuft worden ist. Hierbei werden zehn Teile, die möglichst den gesamten Streubereich des gemessenen Merkmals abdecken sollten, zwei- oder dreimal von drei verschiedenen Bedienern gemessen. Keiner der Bediener darf dabei die Ergebnisse der anderen Bediener sehen. Die Teile sollten auch bei jedem Durchgang in randomisierter Reihenfolge gemessen werden, so dass der Bediener sich nie an das Messergebnis im vorigen Durchgang erinnern kann.

- 8-10 Stichproben (Repräsentativ für die ganze Losgrösse)
- 2 – 3 Prüfer (1 Experte)
- Jeder Prüfer misst die Stichprobe je 3 mal
- Die Resultate werden statistisch ausgewertet

	Experte	Prüfer 1		Prüfer 2		
Nr.		1.	2.	1.	2.	1. + 2.
1	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	100%
2	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	100%
3	n.i.O.	n.i.O.	n.i.O.	n.i.O.	n.i.O.	100%
4	n.i.O.	n.i.O.	n.i.O.	n.i.O.	n.i.O.	100%
5	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	100%
6	n.i.O.	n.i.O.	n.i.O.	n.i.O.	n.i.O.	100%
7	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	100%
8	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	100%
9	n.i.O.	n.i.O.	n.i.O.	n.i.O.	n.i.O.	100%
10	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	100%

Eine Auswertung in Minitab kann wie folgt aussehen.

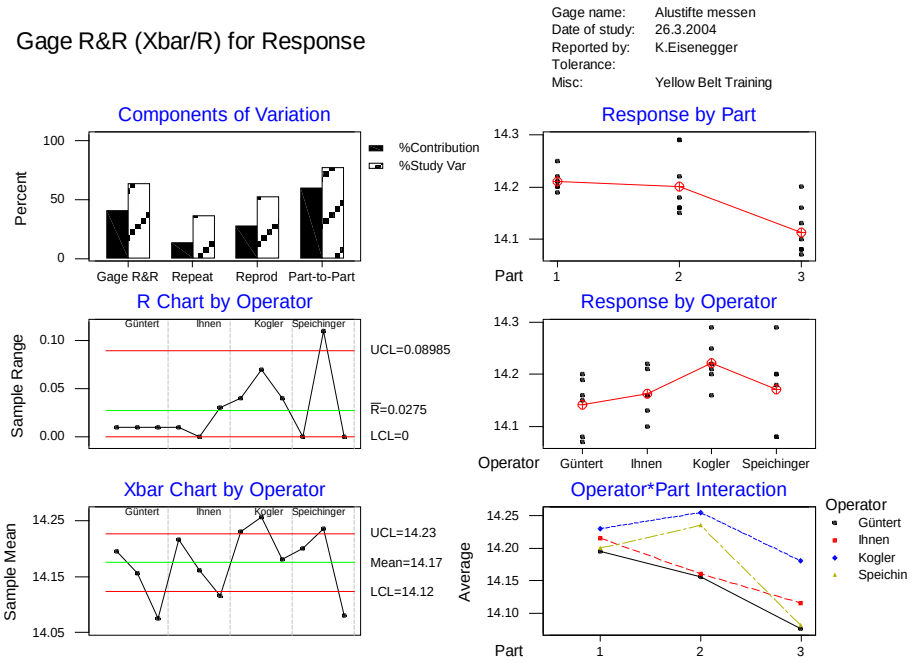


Abbildung 35 Gage R&R

23 Toleranzen

23.1 Toleranzen falsch setzen

Die klassische arithmetische Toleranzrechnung beruht auf dem Ansatz der vollständigen Austauschbarkeit. Sie gewährleistet die Einhaltung der geforderten Toleranz für das Untersuchungsmerkmal für eine beliebige Kombination von Bauteilen. Aus dieser Vorgehensweise resultieren sehr kleine Toleranzen für die Geometrieelemente der Einzelteile und der Parameter des Fertigungsprozesses. Diese kleinen Toleranzen können nur durch den Einsatz von aufwendigen Fertigungsverfahren eingehalten werden. Aufgrund der damit verbundenen hohen Fertigungskosten wird diese Art der Toleranzrechnung für besonders funktionskritische oder sicherheitsrelevante Merkmale eingesetzt.

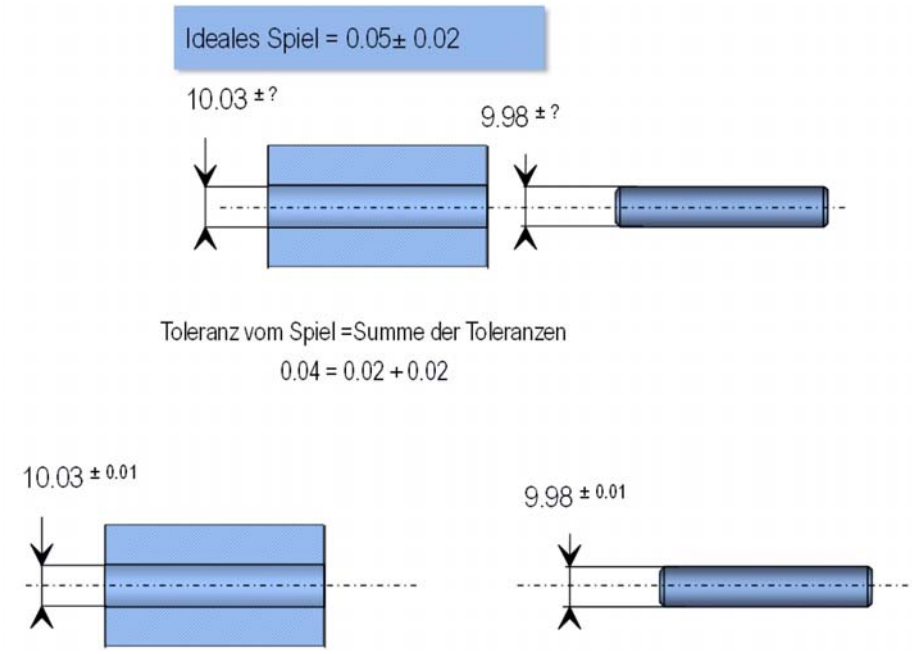


Abbildung 36 arithmetische Toleranz

23.2 Toleranzen statistisch setzen

Die exakte Ausprägung eines gefertigten Werkstücks lässt sich nicht vorhersagen. Das Verhalten einer großen Menge von gefertigten Bauteilen lässt sich jedoch statistisch beschreiben. Die statistische Toleranzrechnung liefert eine Prognose der

Verteilung eines Untersuchungsmerkmals anhand der statistischen Verteilungen der Elemente der Toleranzkette. Durch die Berücksichtigung der Verteilung der Elemente der Toleranzkette bildet die statistische Toleranzrechnung die Realität besser ab, als die arithmetische Toleranzrechnung.

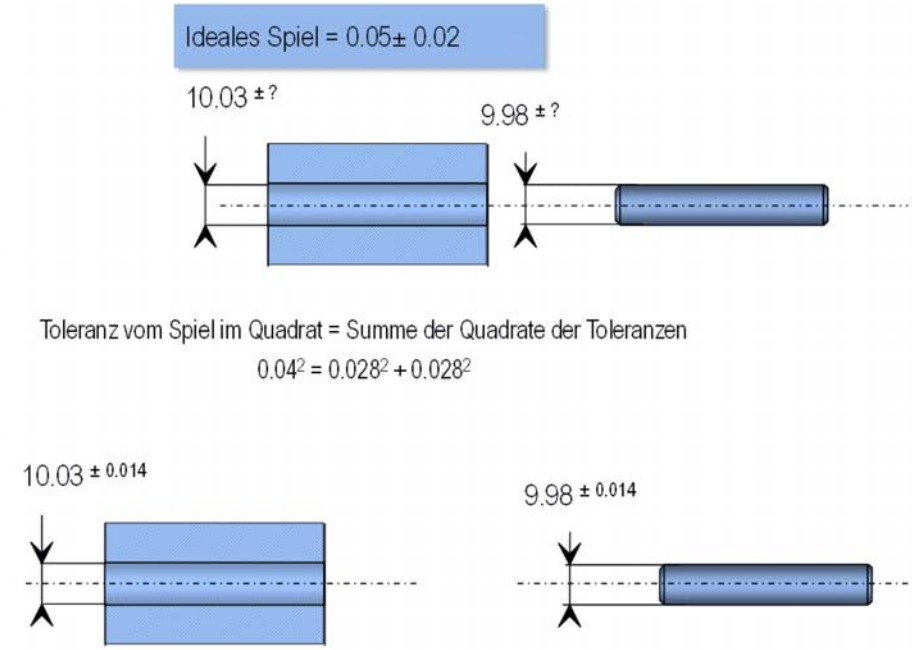


Abbildung 37 statistische Toleranz

Eine robuste Baugruppe erhalten wir mit der Platzierung auf dem Mittelwert.

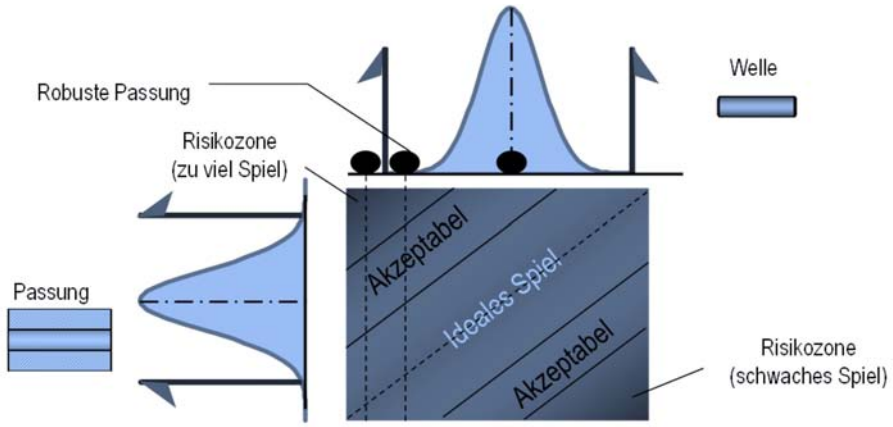


Abbildung 38 Mittelwertplatzierung

23.3 Eingrenzung auf die wichtigen Faktoren

Ein Bauteil hat bestimmte Masse welche genauer sein müssen als die allgemeine Toleranz, damit die korrekte Funktionsweise garantiert ist. Zum bestimmten der kritischen Masse helfen uns die Methoden von Six Sigma.

Über die Ursache Wirkung über die Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse die FMEA können wir eine Versuchsplanung definieren.

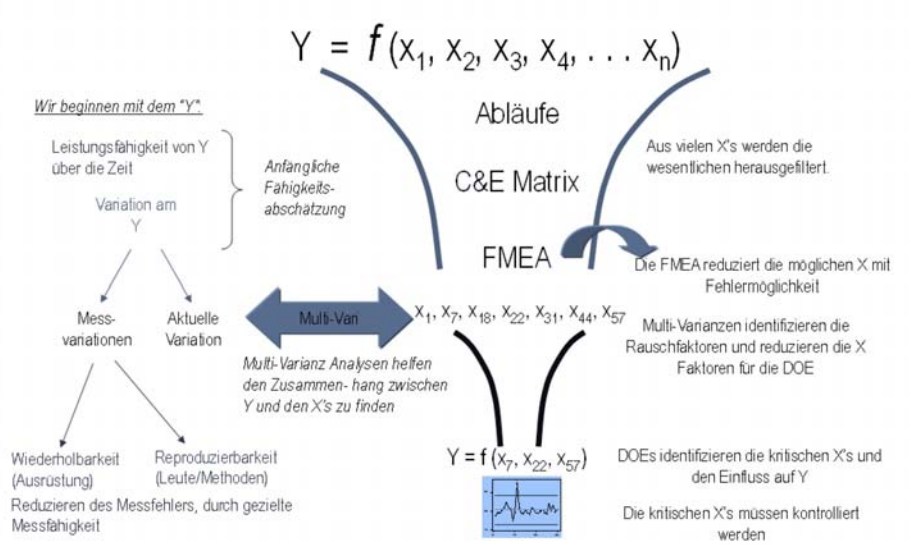


Abbildung 39 Einflussfaktoren

24 Erstmusterprüfung

Bevor die Serienproduktion freigeben wird, müssen wir die ersten Muster besonders gut prüfen. Damit wird indirekt auch die Prozessfähigkeit überprüft.

24.1 Definition der Erstmusterprüfung

Erstmuster sind Produkte, die vollständig mit serienmässigen Betriebsmitteln und unter serienmässigen Bedingungen hergestellt wurden. Eine Bemusterung mit Erstmustern wird Erstmusterprüfung genannt. Die Bemusterung zur Produktionsprozess- und Produktfreigabe muss mit Erstmustern durchgeführt werden. Die kundenseitige positive Bewertung der Erstmuster (inkl. Dokumentation) hat die Freigabe des Serienprozesses zur Folge.

Die Erstbemusterung ist vor allem in der Automobilindustrie üblich und kann nach verschiedenen Standards erfolgen. Durch Regelwerke wie die ISO/TS 16949 und PPF/PPAP wird eine gewisse Vereinheitlichung bei der Abwicklung von Produktbemusterungen in der Automobilindustrie und eine enge Zusammenarbeit zwischen Kunde und Lieferant erreicht und so eine Grundlage für Vereinbarungen geschaffen.

24.1.1 PPAP

Das Produktionsteil-Abnahmeverfahren (englisch: Production Part Approval Process PPAP) ist ein Verfahren aus der QS 9000, bei dem Serienteile bemustert werden. Diese Vorgehensweise stammt aus der Automobilindustrie und wird dort seit Jahren erfolgreich umgesetzt. Dabei geht es vor allem um die Qualität der gelieferten Teile, das bedeutet, dass die Teile aus den Serienwerkzeugen bzw. Serienprozessen den Zeichnungen entsprechen müssen.

Die Bemusterung (englisch: part submission warrant PSW) ist ein zentrales Element für den Bemusterungsprozess.

Grundsätzlich gibt es aber beim Produktionsteil-Abnahmeverfahren einige wesentliche Forderungen, die für alle Unternehmen gelten. Dazu zählt ein repräsentativer Produktionslauf. Dieser Produktionslauf muss eine bis acht Stunden umfassen, mit einer spezifischen Produktionsmenge von mindestens 300 aufeinander folgenden Teilen.

Allen Bemusterungen ist allerdings eines gemein: Die Einteilung nach 5 verschiedenen Ebenen der Bemusterung.

1. Nur die Teilevorlagebestätigung (PSW) wird dem Kunden vorgelegt;
2. Teilevorlagebestätigung (PSW) mit Musterteilen und eingeschränkte unterstützende Daten werden dem Kunden vorgelegt;
3. Teilevorlagebestätigung (PSW) mit Musterteilen und umfassende unterstützende Daten werden dem Kunden vorgelegt;
4. Teilevorlagebestätigung (PSW) und andere Forderungen, wie sie vom Kunden festgelegt wurden;
5. Teilevorlagebestätigung (PSW) mit Musterteilen und vollständige unterstützende Daten stehen am Produktionsstandort des Lieferanten für eine Bewertung zur Verfügung;

Außerdem sind noch weitere 18 Forderungen allgemein beschrieben:

1. Designaufzeichnungen
2. Dokumente über technische Änderungen
3. Technische Freigabe
4. Konstruktions - Fehlermöglichkeits - und - Einflussanalyse Design FMEA
5. Prozessflussdiagramme PAP
6. Prozess - Fehlermöglichkeits- und Einfluss Analyse Prozess-FMEA
7. Steuerungs- (Prüf-) plan
8. Analyse von Messsystemen

9. Messergebnisse
10. Material- und Leistungstests
11. Untersuchungen zur Kurzzeitfähigkeit der Prozesse
12. Dokumentation eines qualifizierten Laboratoriums
13. Bericht zur Freigabe des Aussehens
14. Muster - Serienteile
15. Referenzmuster
16. Spezifische Prüfmittel
17. Kundenspezifische Forderungen
18. Teilevorlagebestätigung

25 Übungsbeispiel

25.1 Rechenaufgabe

Als kleines Übungsbeispiel wollen wir die Prozessfähigkeit von folgenden Teilen aus der Uhrenindustrie berechnen.

Nennmass 0.6515 +/- 0.005
Xmax= 0.6730
Xmin = 0.6470
$\bar{x}$ = 0.657650
6s = 0.051440

Berechne OSG =_____
Berechne USG =_____
Berechne Cp =_____
Berechne Cpk =_____

$$Cp = \frac{T}{6s} = \frac{OSG - USG}{6s}$$

$$Cpo = \frac{OSG - \bar{x}}{3s} \quad Cpu = \frac{\bar{x} - USG}{3s} \quad Cpk = \min\left[Cpo; Cpu\right]$$

25.2 Test Fragen

Können Cp und Cpk den gleichen Wert haben?

1. Ja
2. nein

Kann der Cpk einen negativen Wert annehmen?

1. Ja
2. Nein

Was ist die “einfachste” Methode, den Cp-Wert zu steigern?

1. Toleranz anpassen
2. Neue Maschine kaufen
3. Teil umkonstruieren

Was schliesst man aus einem Cp = 1.5 und einem Cpk = 1.05?

1. Der Prozess ist beherrscht

2. Der Prozess ist stabil Cp grösser als Cpk
3. Der Prozess muss bezüglich seiner Lage korrigiert werden
4. Der Prozess muss bezüglich Lage und Streuverhalten korrigiert werden

Lösung Rechenbeispiel

Nominal	0.6515
Tol +	0.005
Tol -	-0.005
$\overline{x}$	0.657125
sigma	0.00857959
OTG	0.6565
UTG	0.6465
T	0.01
Cp	0.19425946
Cpk	-0.02428243

Histogramm in Excel dargestellt.

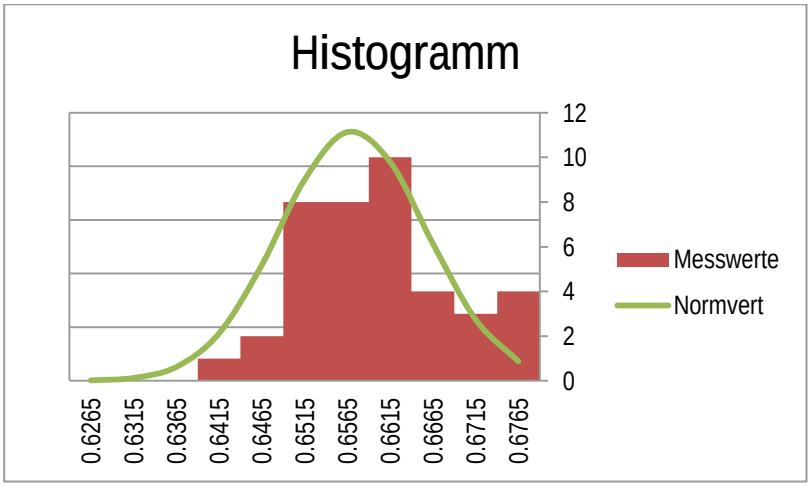


Abbildung 40 Histogramm Excel

Wir sehen bei diesem Beispiel, dass in der Realität die Prozessfähigkeit oft weit weg vom Ideal ist.

25.3 Minitab Auswertung

Anbei noch die Auswertung der Prozessfähigkeit mit Minitab.

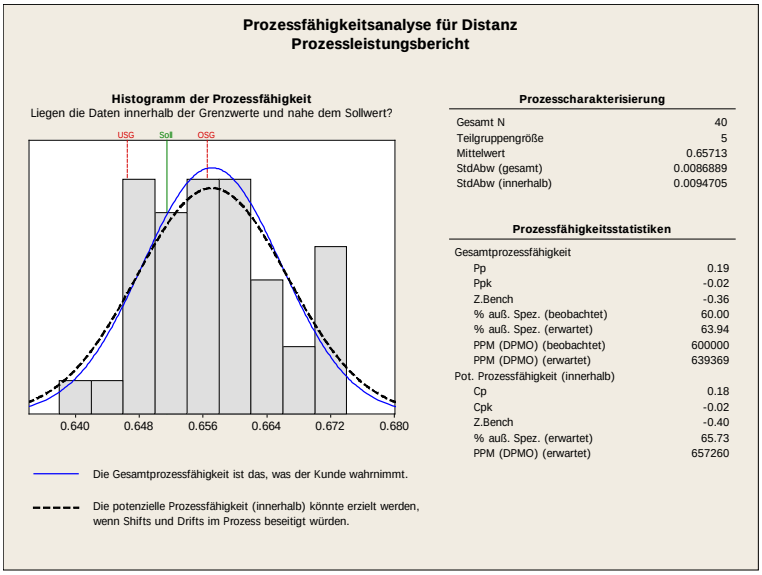


Abbildung 41 Prozessleistungsbericht

Es folgt noch der Zusammenfassungsbericht.

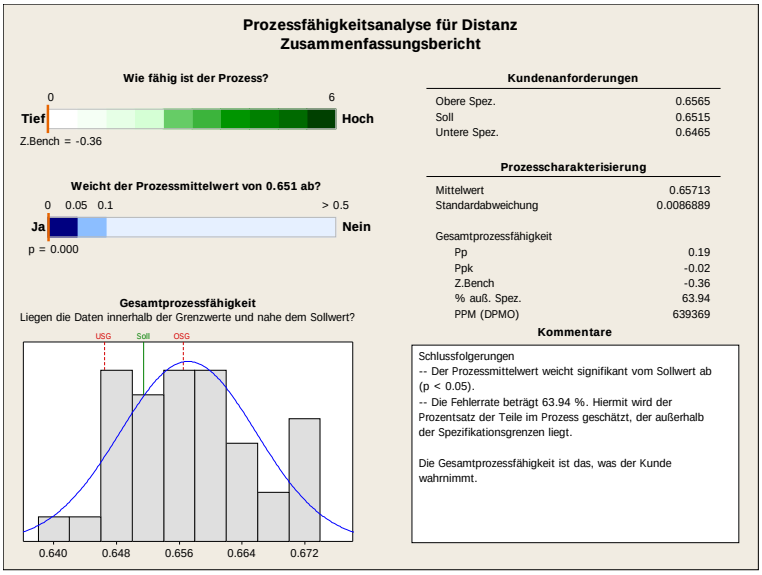


Abbildung 42 Zusammenfassungsbericht

25.4 Lösung Testfragen

Cp und Cpk können im Idealfall den gleichen Wert haben, wenn der effektive Mittelwert exakt mit der Spezifikation übereinstimmt.

Der Cpk kann wie im Rechenbeispiel aufgezeigt einen negativen Wert haben, wenn er ausserhalb der Spezifikationsgrenze liegt.

Die einfachste Methode den Cp zu verbessert ist die Spezifikationsgrenze zu erweitern.

Bei einem Cp von 1.5 und einem Cpk von 1.05 muss der Prozess bezüglich Lage und Streuverhalten korrigiert werden.

26 Bildverzeichnis

Abbildung 1 Prozessfähigkeit 6
Abbildung 2 Q-Entwicklung 7
Abbildung 3 Six Sigma Entwicklung 8
Abbildung 4 Motorola Six Sigma heute 8
Abbildung 5 Samsung und Six Sigma seit 2003 9
Abbildung 6 Hybrid fähiger 3.5l Motor von Ford 10
Abbildung 7 Prozessstreuung 11
Abbildung 8 Wahrscheinlichkeitsnetz 13
Abbildung 9 Cp 1.33 13
Abbildung 10 Cp 1.66 14
Abbildung 11 Einflussfaktoren 15
Abbildung 12 Cp 1.33 16
Abbildung 13 Cp 1.66 16
Abbildung 14 Cp 2.0 17
Abbildung 15 Streuungsbreite 18
Abbildung 16 Mittelwertschwankung Cpk 19
Abbildung 17 Prozesszustände 19
Abbildung 18 SPC Prinzip 20
Abbildung 19 Kurzzeitfähigkeit 20
Abbildung 20 Langzeitfähigkeit 21
Abbildung 21 Prozessschwankung 22
Abbildung 22 6 Sigma 22
Abbildung 23 Fleury und Almac 25
Abbildung 24 Regelkarte 26
Abbildung 25 Wahrscheinlichkeitsmatrix 27
Abbildung 26 Mittelwertschwankung 27
Abbildung 27 Normalverteilung Langeitmessung 28
Abbildung 28 Verlauf Mittelwert 28
Abbildung 29 x-y Plot 30
Abbildung 30 Boxplot 31
Abbildung 31 Prozessanalyse Datenblatt 32
Abbildung 32 Prozessfähigkeitsanalyse 34
Abbildung 33 Zusammenfassungsbericht 34
Abbildung 34 Messgenauigkeit 36
Abbildung 35 Gage R&R 37

Abbildung 36 arithmetische Toleranz 38
Abbildung 37 statistische Toleranz 39
Abbildung 38 Mittelwertplatzierung 40
Abbildung 39 Einflussfaktoren 41
Abbildung 40 Histogramm Excel 45
Abbildung 41 Prozessleistungsbericht 46
Abbildung 42 Zusammenfassungsbericht 47

27 Index

+/- 1.5σ. 21
Angsttoleranzen 24
arithmetische Toleranzrechnung 38
Automobilindustrie 16
Boxplot 30
Checkliste 15
Cmk 24
CNC Fräsmaschinen 24
DFSS 6
DMAIC 6
Einflussfaktoren 14
Faktoren 15
FMEA 40
Ford 9
Fortune-Liste 7
Gage R&R 35
General Electrics 6
ISO 10
ISO/TS 16949 41
Koordinatenbohrbild 30
Kostensenkung 9
Kurzzeit-Fähigkeitsstudie 20
Kurzzeitschwankung 23
Langzeit-Fähigkeitsstudie 21
Machbarkeit 14
Maschinenfähigkeit 24
Messmittel 35
Minitab 6, 37
Motorola 8
Normalverteilung 27
PPAP 42
PPF/PPAP 41
Prozessfähigkeits-kennzahlen 23
Prozessleistung 23
Prozessschwankung 21, 22
Prozessverbesserungspotential 14
Prozesszustände 19
PSW 42
QS-Stat 6, 24
Qualitätsentwicklung 7
R&D 6
Regelkarte 27
Samsung 9
Six Sigma 10
SPC 19
statistische Toleranzrechnung 38
Stichprobe 26
Streuung 11
Toleranzkette 39
Toleranzrechnung 38
Übungsbeispiel 44
Uhrenindustrie 17
USA 10
Versuchsplanung 40
Wahrscheinlichkeitsmatrix 28
XbarR-Karte 26
XbarS-Karte 26
x-y Plot 30

28 Verweise

[i] Microsoft Excel, Tabellenkalkulation, www.microsoft.com
[ii] DFSS Produktentwicklung 2003 K.Eisenegger
[iii] Minitab Statistik Software www.minitab.com, Minitab®, Quality Companion by Minitab®, Quality Trainer by Minitab®, Quality. Analysis. Results® und das Minitab-Logo sind eingetragene Marken von Minitab, Inc., in den Vereinigten Staaten von Amerika und anderen Ländern.
[iv] QS-Stat von Q-DAS www.q-das.de, Q-DAS GmbH & Co. KG, Eisleber Straße 2, D-69469 Weinheim
[v] General Electrics, www.ge.com,
[vi] Forbes Fortune Liste www.forbes.com
[vii] Samsung, www.samsung.com, www.samsungengineering.co.kr, Samsung town, Korea
[viii] Ford Motor Company, www.ford.com
[ix] ISO www.iso.org, International Organization for Standardization (ISO) 1, ch. de la Voie-Creuse, Case postale 56, CH-1211 Geneva 20, Switzerland
[x] Motorola, www.motorola.com, Motorola, Inc., One Motorola Plaza, Holtsville, NY 11742-1300