



Jürgen P. Bläsing

**Workbook
Grundlagen
Statistical Process
Control SPC**

TQU VERLAG

Jürgen P. Bläsing

Workbook
Grundlagen
Statistical Process Control
SPC

TQU VERLAG

Der Autor

Direktor Prof. Dr. Jürgen P. Bläsing hat das Steinbeis-Transferzentrum Qualität im Unternehmen TQU aufgebaut. Er leitet heute den TQU Verlag und das Institut für Business Excellence der Steinbeis-Hochschule Berlin. Als Herausgeber und Autor betreut er die Fachbuchreihe Workbook und die QUALITY APPs im TQU Verlag.



Workbook **Grundlagen Statistical Process Control**

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch bedingten Rechte, insbesondere in der Übersetzung, im Nachdruck, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen oder Tabellen, der Vervielfältigung und der Speicherung bleiben vorbehalten. Wenn in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften, Normen oder andere Richtlinien verwiesen oder daraus zitiert wird, so übernehmen der Verlag und die Autoren keine Garantie für Vollständigkeit, Richtigkeit oder Aktualität. Bitte ziehen Sie bei Ihren eigenen Arbeiten die vollständigen und autorisierten Dokumente in der jeweils gültigen Fassung heran.

Eigenverlag und Eigenvertrieb
Dritte Auflage 2010, überarbeitet 2018

TQU Verlag, Magirus-Deutz-Straße 18, 89077 Ulm, Deutschland
Fon +49 731 14660-200, email verlag@tqu-group.com, Internet www.tqu-group.com

Inhaltsverzeichnis

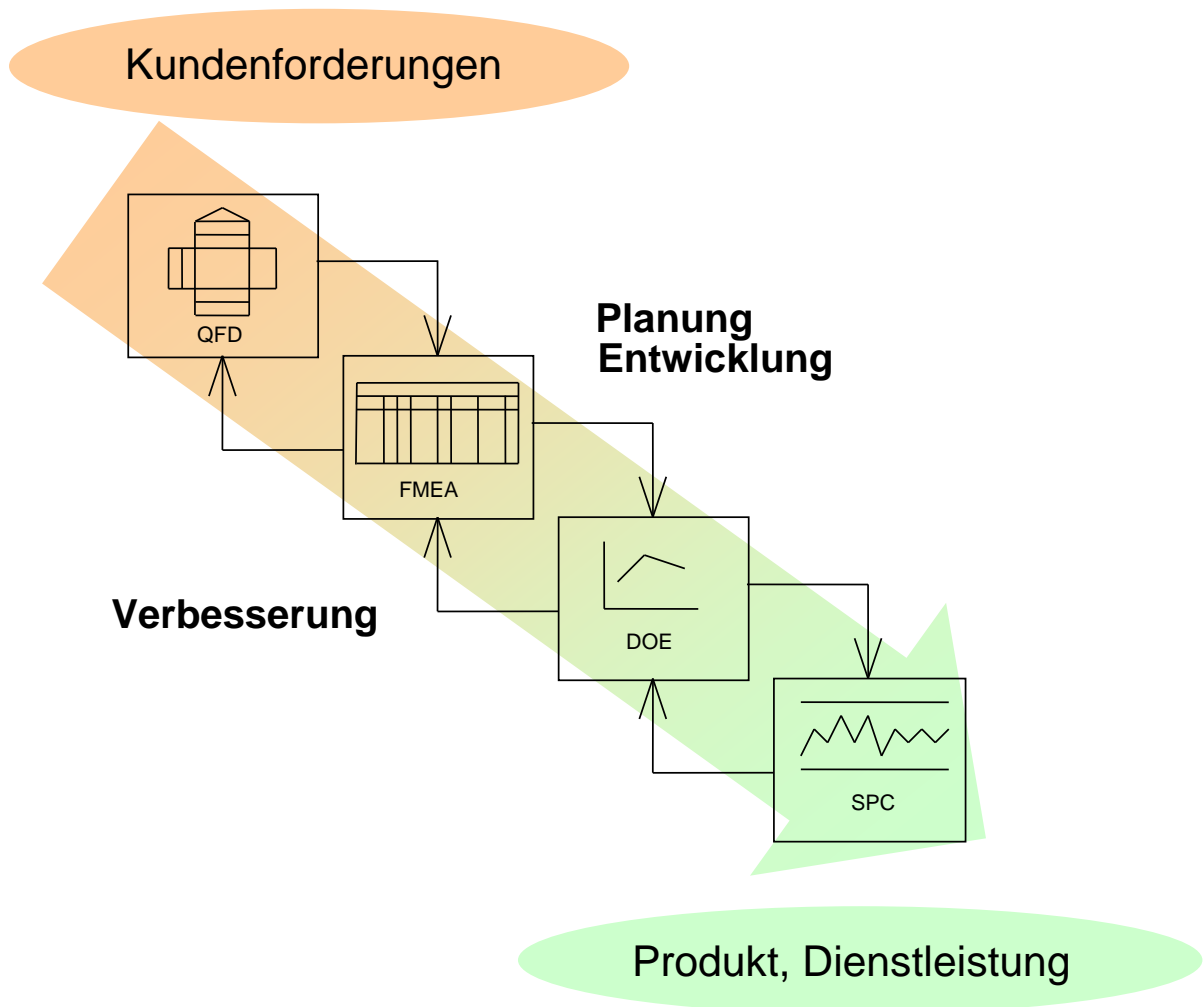
Inhaltsverzeichnis	4
Einleitung	6
SPC im Umfeld von Quality Engineering	7
Begriffsdefinition	8
System zur Prozessregelung mit Rückkopplung	8
Arbeiten mit SPC	9
Phasen der kontinuierlichen Prozessverbesserung	10
Regelkarten	11
Nutzen von Regelkarten	11
Meilensteine bei der Einführung von SPC	12
Erfolgsfaktoren für SPC	12
Vorgehensweise beim Aufbau einer Regelkarte	13
Hilfsmittel zur Prozessanalyse	14
Ursachen-Wirkungs-Diagramm	15
Verlaufdiagramm	19
Paretodiagramm	21
Streudiagramm	27
Arten der Korrelationen	28
Histogramm	29
Messmittelfähigkeit	32
Auswahl geeigneter Messmittel	33
Zufällige und systematische Messabweichungen	34
Bestimmung der Messabweichung	35
Überprüfung der Messmittelfähigkeit mit	36
Korrelationsdiagramm	36
Korrelationsdiagramm von Messwertpaaren aus zwei unabhängigen Messreihen	37
Mögliche systematische Abweichungen	38
Statistische Überprüfung der Messmittelfähigkeit	39
Vorgehen	40
Normenverweis	40
Formular zur Fähigkeit von Messeinrichtungen	41
Statistische Grundlagen	42
Grundlagen der Wahrscheinlichkeitsrechnung	43
Kennzahlen einer Stichprobe	44

Von der beschreibenden Statistik zur schließenden Statistik	45
Modell der Normalverteilung	45
Wahrscheinlichkeitsfunktion der Normalverteilung	46
Von der Häufigkeit zur Wahrscheinlichkeit	47
Prüfung auf Normalverteilung	48
Wahrscheinlichkeiten im Modell der Normalverteilung	49
Wahrscheinlichkeitstabelle der Normalverteilung	50
Regelkarten	51
Übersicht	52
Urwertkarte	53
Shewhart-Regelkarten	54
Sonderfall: Einseitig begrenzte Prozesse	57
Sonderfall: Nicht normalverteilte Prozesse	58
PreControl-Regelkarte	59
Annahmeregularte	61
Attributive Regelkarten	62
Beispiele	63
Berechnung der Eingriffsgrenzen für attributive Regelkarten gemäß Näherung mit der Normalverteilung	64
Analyse von Regelkarten	65
Grundlagen	66
Zufälliger Verlauf	67
Trend	68
Systematischer Wechsel	69
Sprung	70
Gruppen	72
Instabilität	73
Prozessfähigkeit	74
Begriffsbestimmung	75
Prozessfähigkeitsanalyse	77
Prozessfähigkeitsindizes	78
Beispiele für Fähigkeitsindizes	80
Fehleranteil in Abhängigkeit von der Prozessfähigkeit	81
Potenzialanalyse bei Fertigungsprozessen	81
Prozessfähigkeit in Prozessketten	82
Vertrauensbereich von Prozessfähigkeitsindizes	83

Einleitung

SPC im Umfeld von Quality Engineering

Der Einsatz von Methoden entlang des qualitätskritischen Pfades



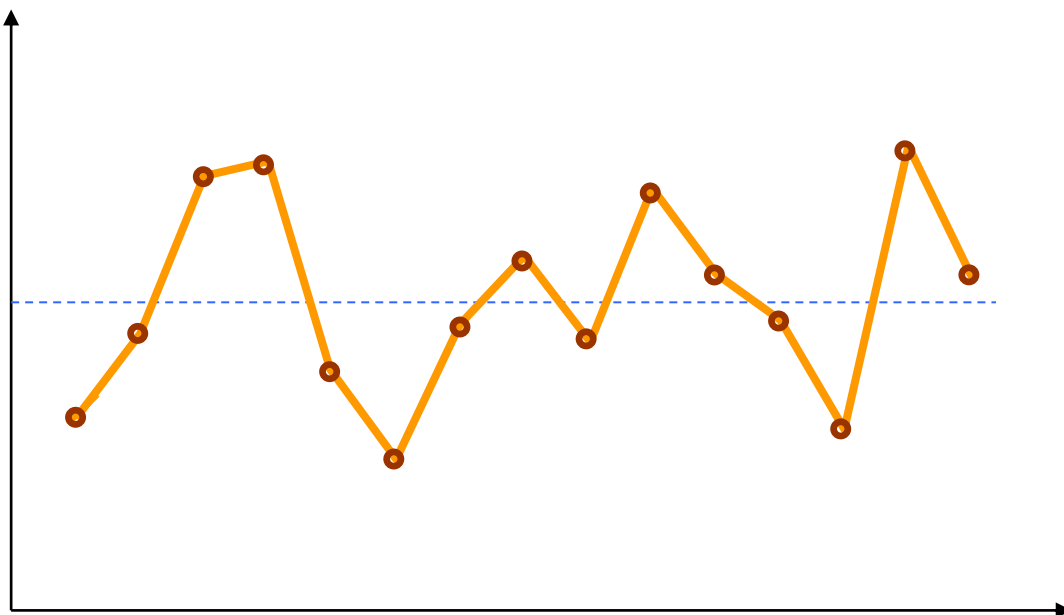
- QFD: Anforderungen der Kunden in ein Produkt oder eine Dienstleistung übersetzen
- FMEA: Risikoanalyse hinsichtlich der Erfüllbarkeit von Anforderungen
- DOE: Produkte und Prozesse systematisch optimieren
- SPC: Prozesse nach statistischen Grundlagen regeln und verbessern

Verlaufsdigramm

Das Verlaufsdigramm ist die einfachste Methode zur Aufzeichnung von Tendenzen über einen bestimmten Zeitraum. Es eignet sich zur Überwachung eines Systems im Hinblick darauf, ob das durchschnittliche Verhalten langfristig konstant bleibt oder ob Verschiebungen, Trends, Muster oder Zyklen zu verzeichnen sind, denen entgegenzuwirken ist.

Vorgehensweise:

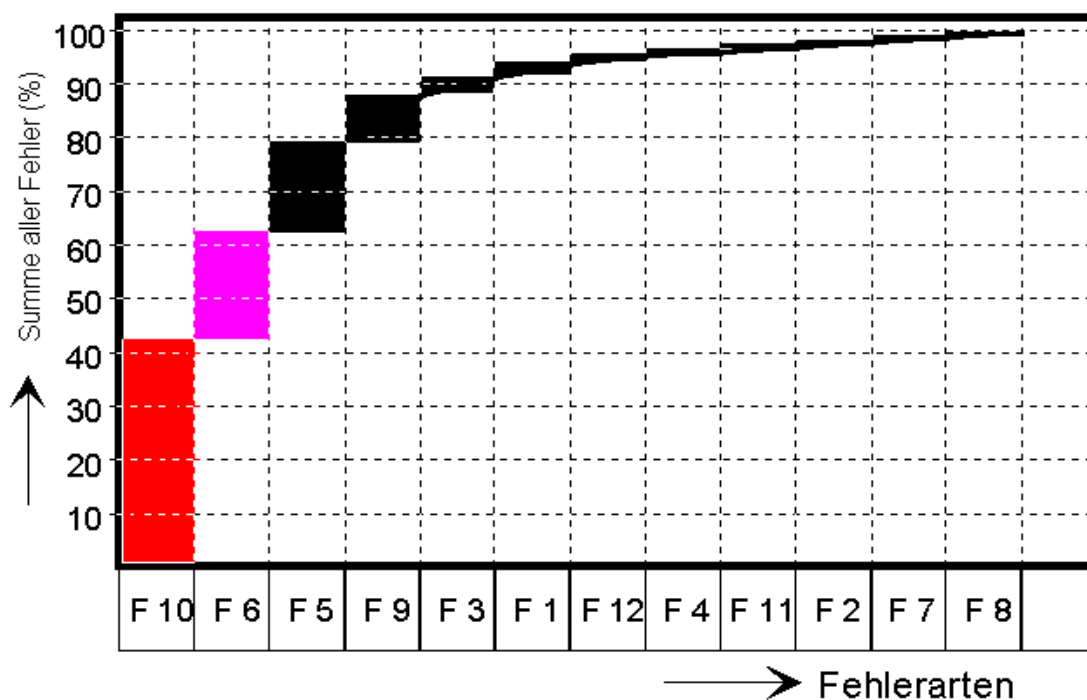
Die Daten werden in der Reihe ihres zeitlichen Auftretens nacheinander im Diagramm eingetragen.



Der Einsatz eines Verlaufsdigramms lenkt die Aufmerksamkeit auf die wesentlichen Veränderungen des Prozesses und ermöglicht beispielsweise den Leistungsvergleich von Prozessen vor und nach der Umsetzung von Verbesserungsmaßnahmen. Das Führen von Verlaufsdigrammen ist nicht zuletzt auch zur Vorhersage von Trends nützlich.

Paretdiagramm

Das Paretdiagramm sortiert Probleme und deren Ursachen nach dem Vorkommen. Ziel ist es, die Hauptursachen eines Problems zu finden, Ansätze für die Problemlösung zu schaffen und den Erfolg zu überwachen.



Indem es die relative Häufigkeit von Fehlern sortiert, hilft das Paretdiagramm dabei, sich auf diejenigen Ursachen zu konzentrieren, welche den größten Einfluss auf das Auftreten eines Problems haben.

Es beruht auf dem erwiesenen Prinzip, dass 20 % der Ursachen für 80 % der Probleme verantwortlich sind. Im Paretdiagramm lassen sich Fortschritte gut visualisieren, was Anreiz zu weiterer Verbesserung schafft.

Auswahl geeigneter Messmittel

Messmittel sind so auszuwählen, dass die Merkmale mit einer vertretbaren Unsicherheit gemessen werden können.

Diese höchstzulässige Messunsicherheit ergibt sich aus Prozess- bzw. Produkt-Spezifikationen, wobei Qualitätsforderung und Prüfanweisung des Kunden zu berücksichtigen sind. Diese Anforderungen sowie die entsprechenden Messmittel werden im Prüfplan festgelegt.

Die Messunsicherheit eines Messsystems setzt sich aus mehreren Einzelkomponenten zusammen. Beispiele sind:

- Einstellunsicherheit
- Kalibrierunsicherheit
- Unsicherheit des Gerätes
- Unsicherheit des Umfeldes
- Bediener-/Teileeinfluss
- Temperatureinfluss
- Auflösung
- Linearität
- Stabilität

Die Messmittelfähigkeit wird prinzipiell durch Wiederholmessungen und durch Messung von Normalen beurteilt. Bei zerstörenden Messungen (d. h. alle Messungen, die Veränderungen am Produkt bewirken) kann die Messmittelfähigkeit nicht abschließend beurteilt werden. In diesen Fällen muss bei Problemen immer auch das Messsystem als mögliche Ursache berücksichtigt werden.

Zufällige und systematische Messabweichungen

Systematische Abweichungen

Abweichungen, die bei mehreren, unter denselben Bedingungen (z.B. dasselbe Messgerät, dieselbe Messstelle, dieselben Umweltbedingungen) ausgeführten Messungen einer definierten Größe (Normal) in ihrem Wert und Vorzeichen konstant bleiben oder die sich gesetzmäßig verändern, wenn die Rahmenbedingungen variiert werden.

- **Bekannte systematische Abweichungen**

Bekannte systematische Abweichungen, die durch Berechnung oder Messung bestimmbar sind, können zur Berichtigung der Messwerte benutzt werden. Messergebnisse sind unrichtig, wenn erfassbare systematische Abweichungen nicht berücksichtigt werden.

- **Unbekannte systematische Abweichungen**

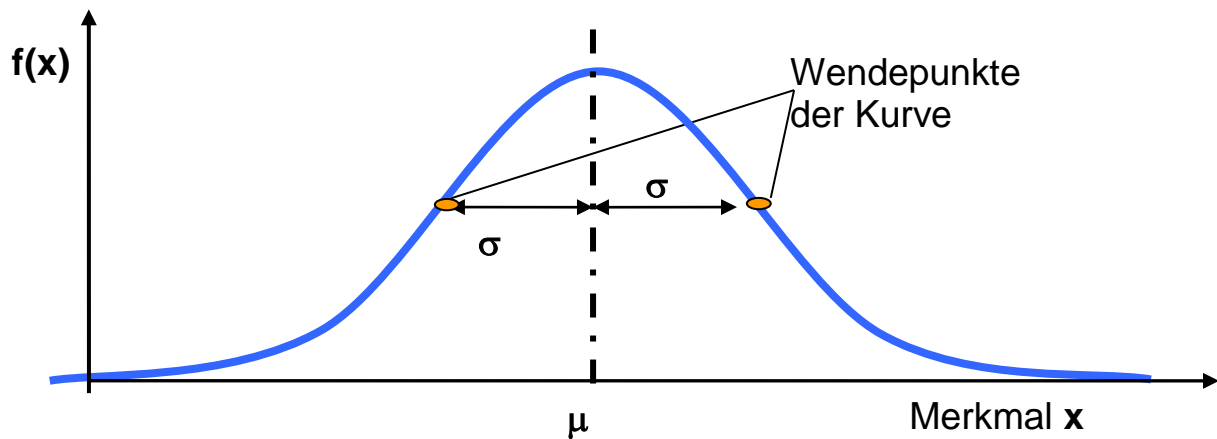
Systematische Abweichungen, die sich nicht auf einfache Weise erfassen lassen, können oft abgeschätzt werden. Deshalb werden die zwar schätzbaren, nicht aber direkt ermittelbaren systematischen Abweichungen wie zufällige Abweichungen behandelt:

Zufällige Abweichung

Zufällige Abweichungen werden von nicht erfassbaren Änderungen der Maßverkörperung der Messgeräte, der Prüfgegenstände, der Umwelt und der Prüfpersonen hervorgerufen.

Derartige Abweichungen variieren auch unter gleichbleibenden äußeren Bedingungen. Sie sind einzeln nicht ermittelbar, machen die Messergebnisse unsicher und werden deshalb wie die unbekannt systematischen Abweichungen in die Messunsicherheit einbezogen.

Wahrscheinlichkeitsfunktion der Normalverteilung



Die Wahrscheinlichkeitsfunktion $f(x)$ wird durch zwei Parameter beschrieben

- für die Lage Mittelwert μ (mü)
- für die Streuung Standardabweichung σ (Sigma)

**Wahrscheinlichkeitsfunktion
der Normalverteilung**

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

Für die praktische Anwendung werden die Werte der Verteilungsfunktion (Integrale) in Tabellen nachgeschlagen oder mit PC berechnet (z.B. in EXCEL).

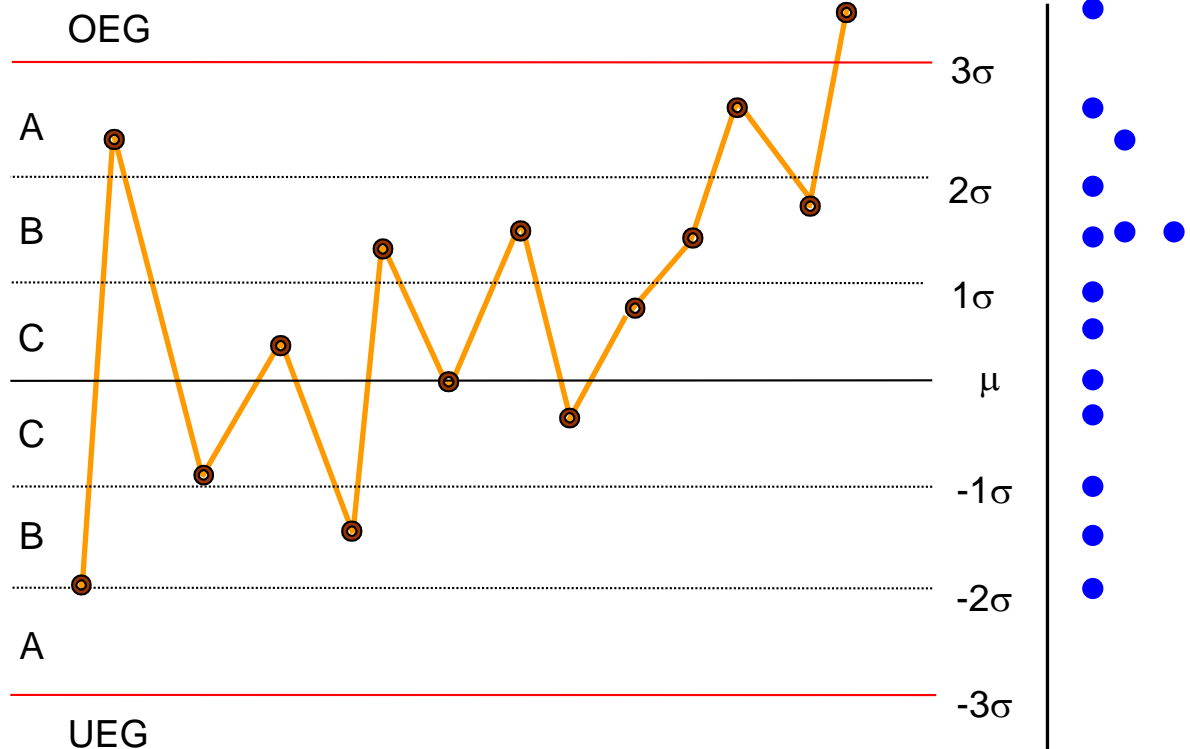
Da die wahren Parameter μ und σ der Verteilung praktisch meist unbekannt sind, werden sie deshalb anhand von Stichproben mit $\hat{\mu}, \hat{\sigma}$ geschätzt.

Wichtige Eigenschaften des Modells der Normalverteilung:

- Konzentration der Ereignisse um den Mittelwert
- Symmetrie der Ereignisse um eine mittlere Lage

Trend

Eine größere Anzahl von Werten verschiebt sich systematisch nach oben oder unten. (im Bild ab Mitte des Verlaufes)



\bar{x} -Karte (Streuung muss unverändert sein)

- Werkzeugverschleiß
- Verschleiß an Vorrichtungen oder Messgeräten
- Ermüdung des Bedienpersonals
- schlechte Wartung oder ungenügende Sauberkeit

s oder R-Karte (steigende Tendenz)

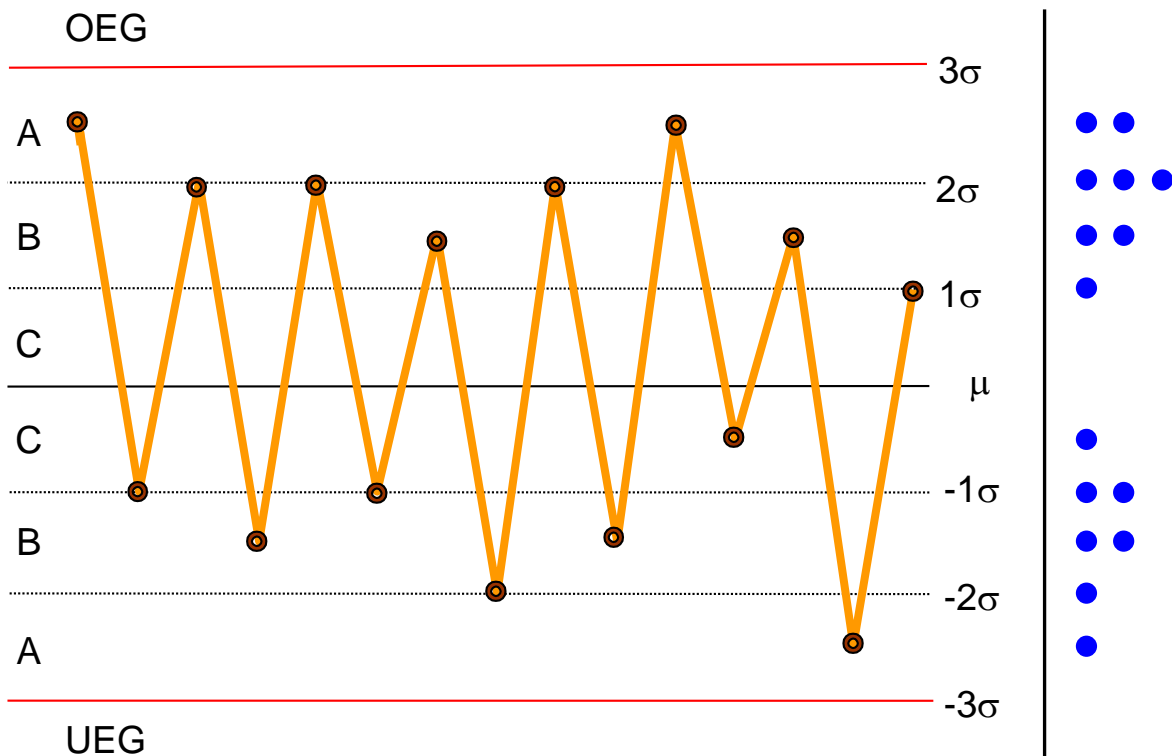
- allgemeine Lockerung oder Abnutzung
- Werkzeug wird stumpf

s oder R-Karte (fallende Tendenz)

- kontinuierliche Verbesserung der Arbeitstechnik des Bedieners
- Auswirkung eines verbesserten Wartungsprogramms

Systematischer Wechsel

Beim typischen Sägezahnverlauf folgt auf einen tiefen Punkt ein hoher. Der Verlauf ist diesbezüglich vorhersagbar.



\bar{x} -Karte (Streuung muss unverändert sein)

- zwei dominante Streuungsgrößen treten auf (Schichten)
- unterschiedliche Messgeräte
- systematische Aufteilung von Daten

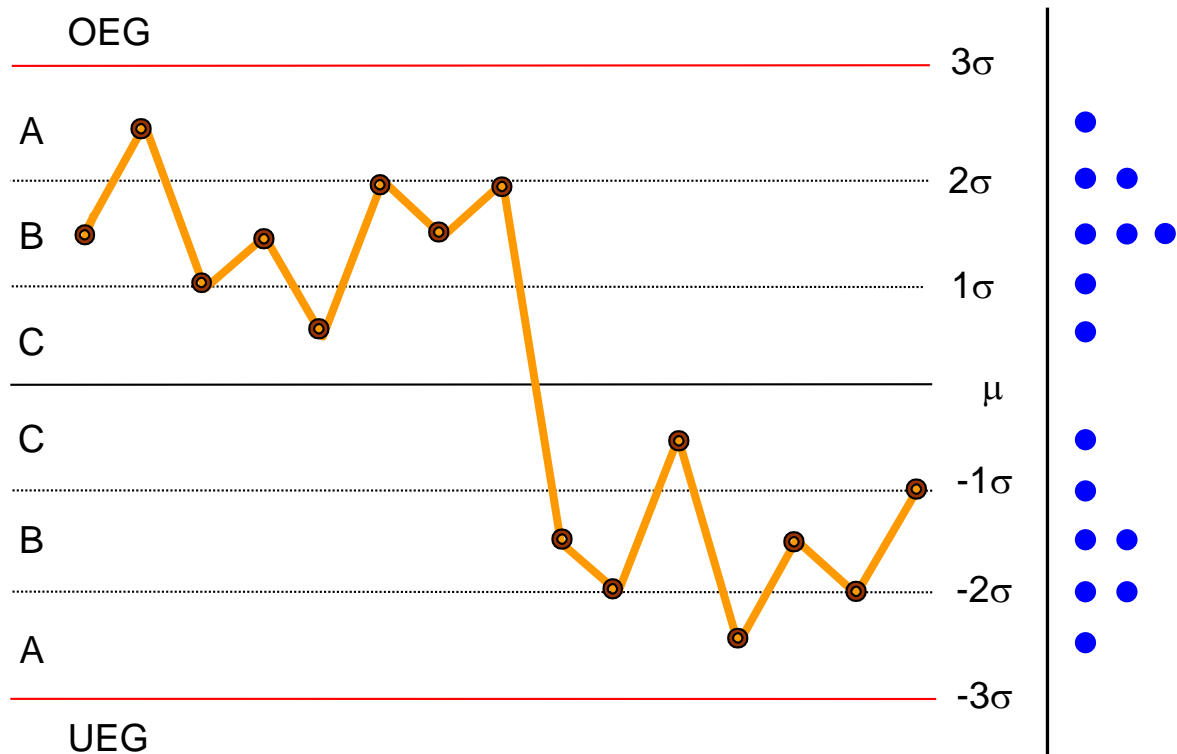
s oder R-Karte

- systematische Aufteilung von Daten

Sprung

Eine sprunghafte Lageverschiebung erkennt man an der eindeutigen Verlagerung in eine Richtung.

Bei der Karte bedeutet dieser Verlauf, dass auf den Prozess ein neues Element einwirkt, die Verteilung verschiebt und sich dann nicht mehr auswirkt.



\bar{x} -Karte (Streuung muss unverändert sein)

- dominanter Störeinfluss
- Materialwechsel
- Chargenwechsel, Personalwechsel
- Werkzeugwechsel, veränderte Maschinenleistungen oder Methoden

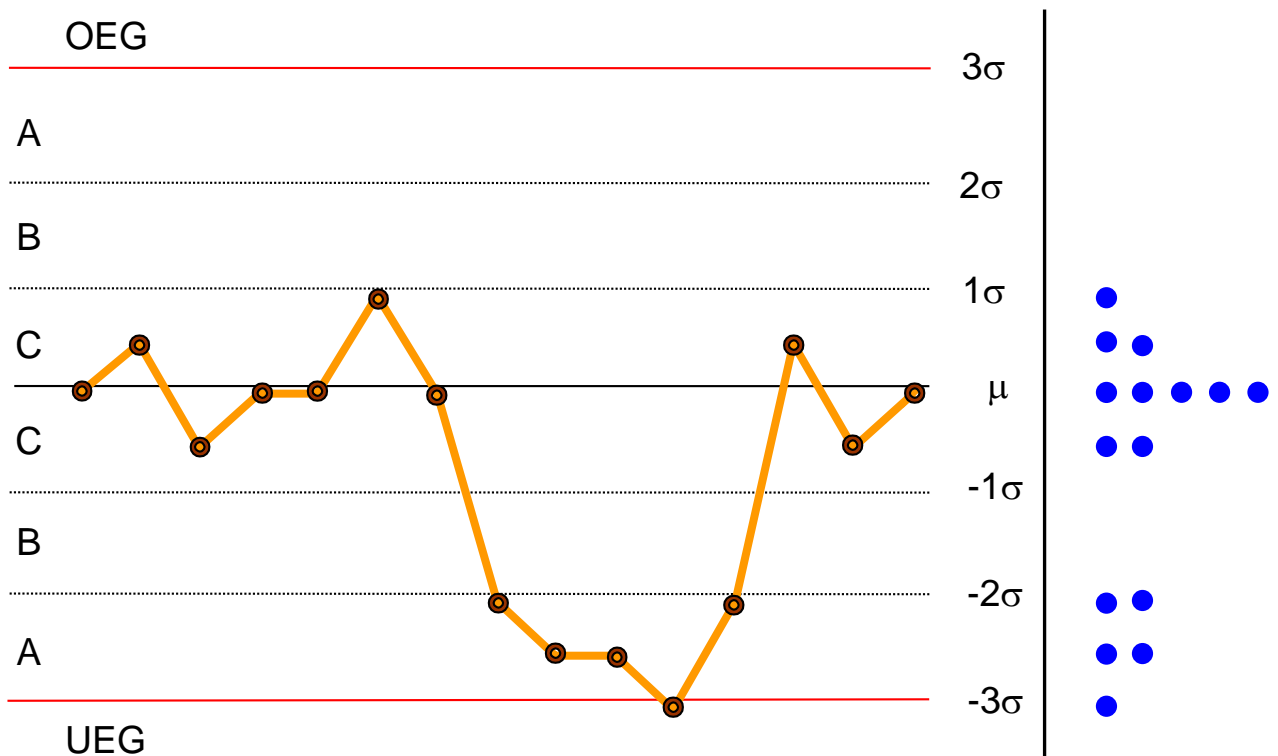
s oder R-Karte

- dominanter Streueinfluss
- Chargenwechsel, Personalwechsel
- Werkzeugwechsel, veränderte Maschinenleistungen oder Methoden



Gruppen

Es treten kurzfristig hintereinander Werte auf, die von den anderen Werten stark abweichen.



\bar{x} -Karte (Streuung muss unverändert sein)

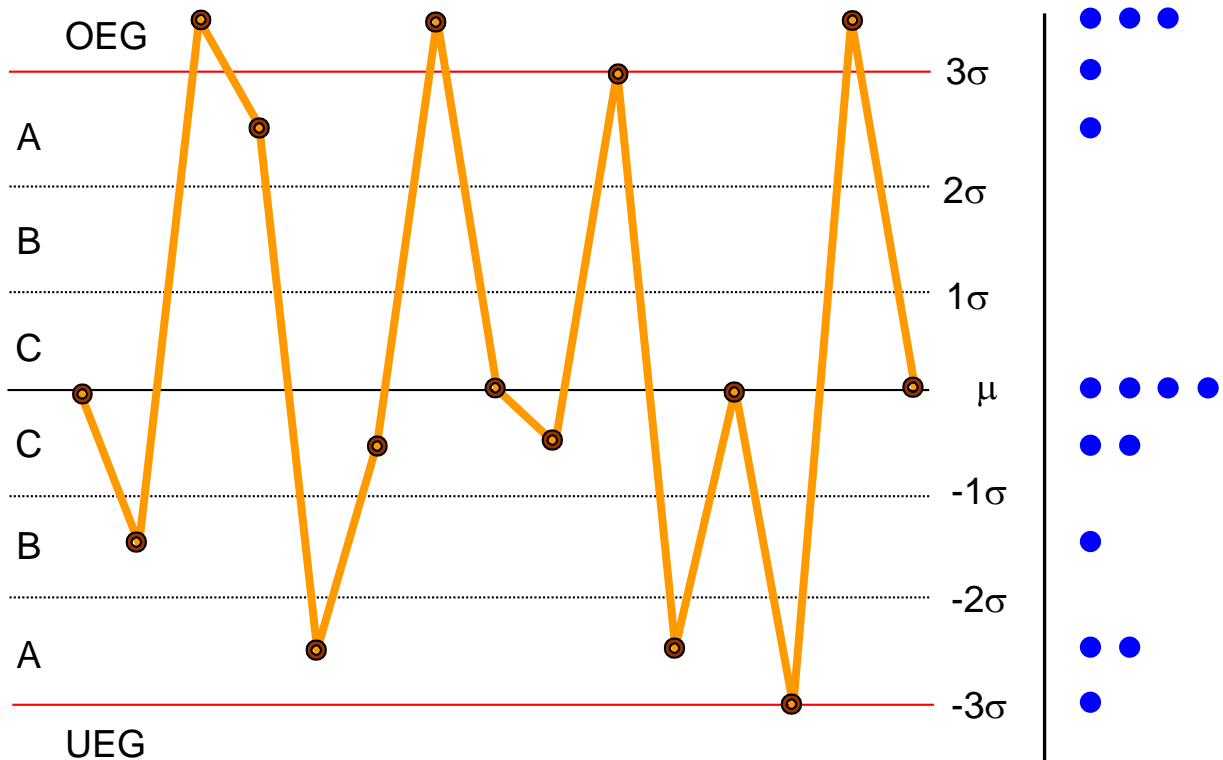
- Messprobleme
- Prüfpersonal wechselt

s oder R-Karte

- Mischung von Verteilungen

Instabilität

Ein instabiler Verlauf ist durch unnatürlich starke Schwankungen gekennzeichnet.



\bar{x} -Karte (Streuung muss unverändert sein)

- überjustieren einer Maschine
- verschiedene Materiallose vermischt
- unterschiedliche Messgeräte

s oder R-Karte

- reparaturbedürftige Maschine
- instabile Prüfgeräte
- schadhafte Einzelteile
- unerfahrene Bediener
- zuviel Spiel oder Spannvorrichtung verzogen

Prozessfähigkeit

Begriffsbestimmung

Die Prozessfähigkeitsindizes c_p und c_{pk} beschreiben die Streuung eines Prozesses sowie die Lage seines Mittelwertes innerhalb der Toleranzgrenzen.

Mit den Prozessfähigkeitsindizes kann beurteilt werden, wie viel Ausschuss theoretisch produziert wird. Eine Prozessfähigkeit von $c_p = 1$ bedeutet per Definition, dass 99,73 % der Prozessergebnisse innerhalb der Toleranzgrenzen liegen.

Prozessfähigkeitsuntersuchungen

Es wird zwischen Prozessfähigkeitsuntersuchungen vor und nach Serienanlauf unterschieden.

- **Prozessfähigkeit vor Serienanlauf**
 - Kurzzeit- bzw. Maschinenfähigkeitsuntersuchung (MFU)
 - vorläufige Prozessfähigkeitsuntersuchung
- **Prozessfähigkeit nach Serienanlauf**
 - Langzeit-Prozessfähigkeitsuntersuchung (PFU)

Der Unterschied zwischen diesen beiden Fähigkeitsberechnungen besteht in der Anzahl der untersuchten Teile, dem Untersuchungszeitraum und der Berechnungsart der Streuung.

Prozessfähigkeit als Kundenforderung

Zwischen Kunden und Lieferanten werden vor allem im Automobilbereich vertragliche Vereinbarungen zur Prozessfähigkeit getroffen. Dabei ist zu beachten, dass die Verfahren zur Prozessfähigkeitsuntersuchung in der Regel von symmetrisch-normalverteilten Prozessen ausgehen.

Liegt keine Normalverteilung vor, sollte zur Vermeidung von Missverständnissen das Vorgehen zur Berechnung miteinander abgestimmt werden. Basis der Abstimmungen könnte die DIN 55319 sein.

Kurzzeit- bzw. Maschinenfähigkeit (c_m/c_{mk})

Liegen für eine Prozessfähigkeitsbeurteilung nur wenige Teile vor, kann eine Kurzzeitfähigkeitsuntersuchung vorgenommen werden, die meist zur Abnahme von Fertigungseinrichtungen und Maschinen beim Hersteller angewandt wird. Sie heißt deshalb auch Maschinenfähigkeitsuntersuchung. Üblicherweise werden 50 hintereinander gefertigte Teile entnommen. Um eine brauchbare Aussage über die Tauglichkeit der Fertigungseinrichtung zu treffen, werden bei der Untersuchung die Einflüsse von Material, Mensch, Methode und Umwelt möglichst konstant gehalten.

Vorläufige Prozessfähigkeit (p_p/p_{pk})

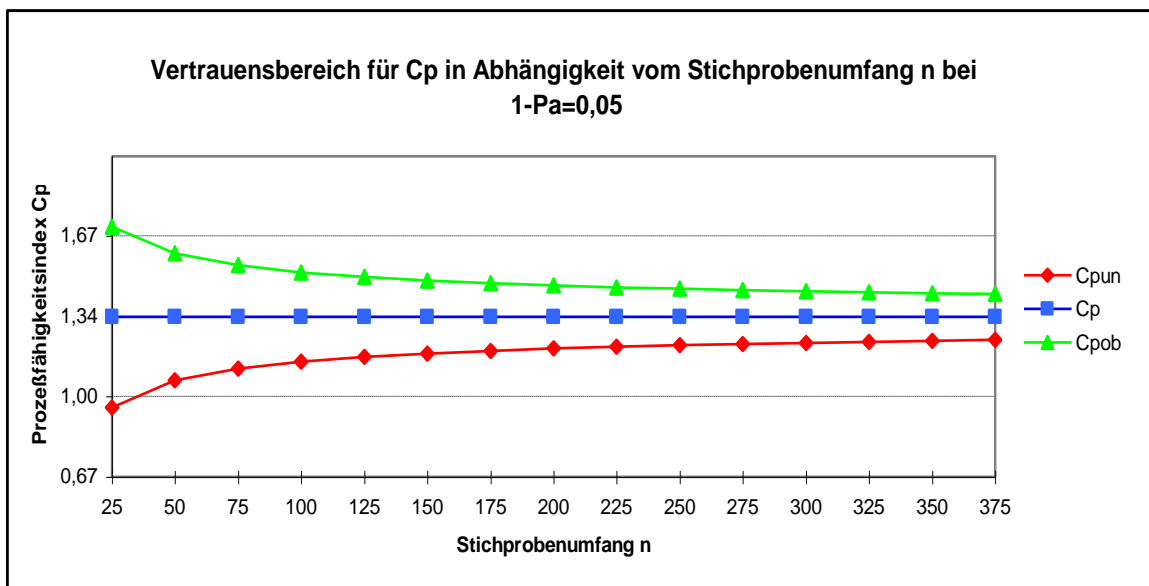
Bei der vorläufigen Prozessfähigkeitsuntersuchung beobachtet man den Prozess über einen längeren Zeitraum und entnimmt in regelmäßigen Abständen Stichproben. Als Richtwert gilt die Entnahme von 25 Stichproben à 5 Teile, das Minimum beträgt 20 Stichproben à 3 Teile.

Langzeit-Prozessfähigkeit (c_p/c_{pk})

Diese Untersuchung beurteilt die Qualitätsfähigkeit unter realen Produktionsbedingungen. Sie erstreckt sich deshalb über einen längeren Zeitraum. Im Idealfall werden Stichproben über 20 Produktionstage verteilt entnommen.

Tabelle: Vertrauensbereich für C_p in Abhängigkeit vom Stichprobenumfang n bei $1-Pa = 0,05$, zweiseitig

n	Cpun	Cp	Cpob	Abweichung unten [%]	Abweichung oben [%]
25	0,9584	1,3333	1,7076	28,1	28,1
50	1,0700	1,3333	1,5962	19,8	19,7
75	1,1188	1,3333	1,5475	16,1	16,1
100	1,1478	1,3333	1,5186	13,9	13,9
125	1,1675	1,3333	1,4989	12,4	12,4
150	1,1820	1,3333	1,4844	11,3	11,3
175	1,1933	1,3333	1,4732	10,5	10,5
200	1,2024	1,3333	1,4641	9,8	9,8
225	1,2099	1,3333	1,4566	9,3	9,2
250	1,2162	1,3333	1,4503	8,8	8,8
275	1,2217	1,3333	1,4448	8,4	8,4
300	1,2265	1,3333	1,4401	8,0	8,0
325	1,2307	1,3333	1,4359	7,7	7,7
350	1,2344	1,3333	1,4322	7,4	7,4
375	1,2378	1,3333	1,4288	7,2	7,2



Die Grafik gilt beispielhaft für $c_p = 1,33$. Sie kann aber auch für alle anderen c_p -Werte verwendet werden, da die Abstände von c_p zu c_{pun} und c_{pob} konstant bleiben. Die Prozentsätze sind obiger Tabelle zu entnehmen

