

1 Grundlagen der Statistik

Die Statistik lässt sich gliedern in *deskriptive Statistik* (beschreibende Statistik) und *induktive* oder *schliessende Statistik*. In der Qualitätssicherung befassen wir uns meist mit induktiver Statistik, indem wir von einer Stichprobe auf die *Grundgesamtheit* schliessen.

1.1 Normalverteilung

Der *zentrale Grenzwertsatz*, welcher der Normalverteilung zugrundeliegt, besagt, dass der Durchschnitt einer großen Anzahl an beobachteten Zufallsvariablen, die aus derselben Verteilung gezogen wurden, annähernd normalverteilt sein werden, unabhängig von der Verteilungsfunktion aus der sie herausgenommen wurden. Je größer eine Stichprobe wird, desto mehr folglich wird die Stichprobenverteilung normalverteilt sein. Die Normalverteilung ist die Folge zufallsbedingter Schwankungen von *Merkmalsgrößen* eines beobachtbaren Prozesses. Sie lässt sich anschaulich am Beispiel des *Galtonschen Brettes* demonstrieren.

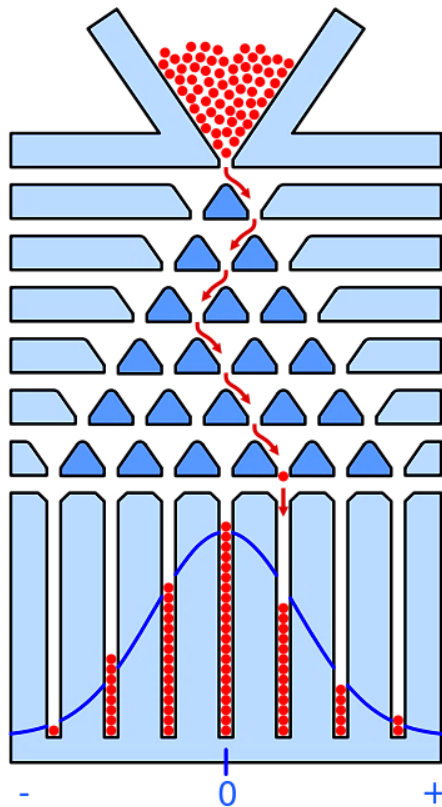


Abb. 1
Galtonbrett

Das Galtonsche Brett besteht aus einer regelmäßigen Anordnung von Hindernissen, an denen eine von oben eingeworfene Kugel jeweils nach links oder rechts abgelenkt werden kann. Nach dem Passieren der Hindernisse werden die Kugeln in Behältern aufgefangen, um dort gezählt zu werden. [...] Die Hindernisse symbolisieren dabei kleine Störungen, die den Messwert positiv oder negativ beeinflussen können. In der Summe können sie zu einer größeren Störung anwachsen, sich aber auch zu Null addieren. Die Füllhöhen der Behälter geben am Ende Auskunft über die *Häufigkeitsverteilung* der verschiedenen Stärken der aufsummierten Störungen. [...]

Ein grundlegendes mathematisches Gesetz, der *zentrale Grenzwertsatz*, garantiert, dass eine nahezu beliebig zusammengesetzte Verteilung solcher sehr kleinen und sehr zahlreichen Einzelstörungen in der Summe gegen die glockenförmige *Gaußsche Normalverteilung* konvergiert. Sind die Voraussetzungen für eine solche Rauschverteilung erfüllt, spricht man von gaußschem Rauschen.

Bei einer endlichen Zahl von Störungen, wie beim Galtonbrett, erhält man die *Binomialverteilung*, die im Grenzwert vieler Störungen und vieler Behälter ebenfalls gegen die Normalverteilung konvergiert.¹

Die Normalverteilung wird aufgrund ihres charakteristischen Verlaufs auch als *Gaußsche Glockenkurve* bezeichnet.

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{1}{2}t^2} dt = \sqrt{2\pi} \quad \text{Normierung mit dem Faktor } (\sqrt{2\pi})^{-1}$$

¹ <https://de.wikipedia.org/wiki/Galtonbrett>

Grundlage für Maschinen- und Prozessfähigkeitsuntersuchungen ist die Normalverteilung gefertigter Teile, deren Merkmalswerte innerhalb eines definierten Bereiches liegen und nur wenige Ausreisser enthalten.

Nebst der Normalverteilung existieren weitere Verteilungen, wie bspw. Poisson-Verteilung, Binomialverteilung, Chi-Quadrat-Verteilung, Student-t-Verteilung, Weibull-Verteilung u.a.m.

Die Wahrscheinlichkeitsdichte der Normalverteilung ist dem Praktiker als *Gaußsche Glockenkurve* bekannt.

Die Glockenkurve besitzt markante Eigenschaften:

- Die Kurve ist symmetrisch und hat beim Erwartungswert (μ) ihr Maximum.
- Die Standardabweichung (σ) beeinflusst die Höhe der Glockenkurve.
- Die Wendepunkte befinden sich $\pm 1\sigma$ vom Mittelwert entfernt.
- Die Fläche unter der Kurve ist stets 1.

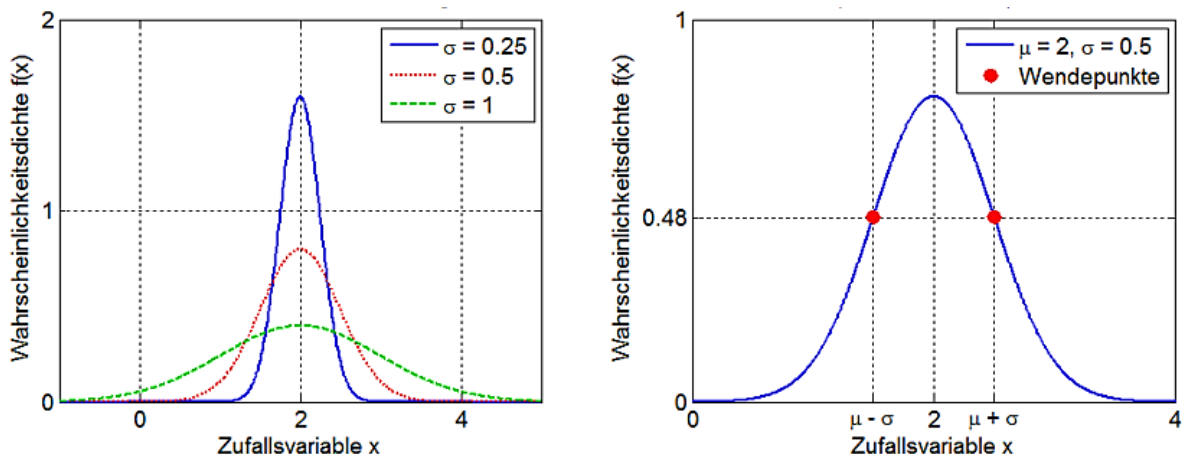


Abb. 2.
Normalverteilung $N = f(x, \mu, \sigma)$

► Der Verlauf der **Normalverteilung** (N) wird durch die Parameter μ und σ bestimmt. Der Erwartungswert (μ) bestimmt die Lage, die Standardabweichung (σ) die Breite der Normalverteilung. Mit zunehmender Standardverteilung wird die Glockenkurve flacher. Eine *Normalverteilung* mit der *Standardabweichung* $\sigma = \pm 1$ und dem Mittelwert $\mu = 0$ bezeichnet man als Standardnormalverteilung.

► Der **Erwartungswert** (μ) legt fest, an welcher Stelle die Normalverteilung ihr Maximum erreicht.

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \left[\frac{\text{Summe aller Messwerte}}{\text{Anzahl aller Messwerte}} \right]$$

► **Arithmetisches Mittel** (Mittelwert)

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \left[\frac{\text{Summe aller Messwerte}}{\text{Anzahl aller Messwerte}} \right]$$

► Die **Standardabweichung** (σ) ist ein Maß für die Streuung der Werte einer Zufallsvariablen

um ihren Erwartungswert und gibt in einer Normalverteilung einen Bereich an, innerhalb dessen sich 68,3 % aller Merkmalswerte befinden.

$$\sigma = \sqrt{Var(X)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}{n}}$$

Standardabweichung der Grundgesamtheit

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

Standardabweichung der Stichprobe

x_i ist der i -te Messwert, μ ist der Erwartungswert

Beachte: Bei Stichproben werden anstelle von μ und σ die lateinischen Buchstaben \bar{x} und s verwendet.

► Unter **Varianz** (σ^2) versteht man die mittlere quadratische Abweichung der einzelnen Messwerte vom empirischen Mittelwert. Die Quadratwurzel aus der Varianz ergibt die Standardabweichung.

► Die empirisch benutzte **68-95-99,7-Regel** besagt, dass bei einer Normalverteilung praktisch alle Streuwerte im Bereich von 3 Standardabweichungen ($\pm 3\sigma$) zu finden sind.

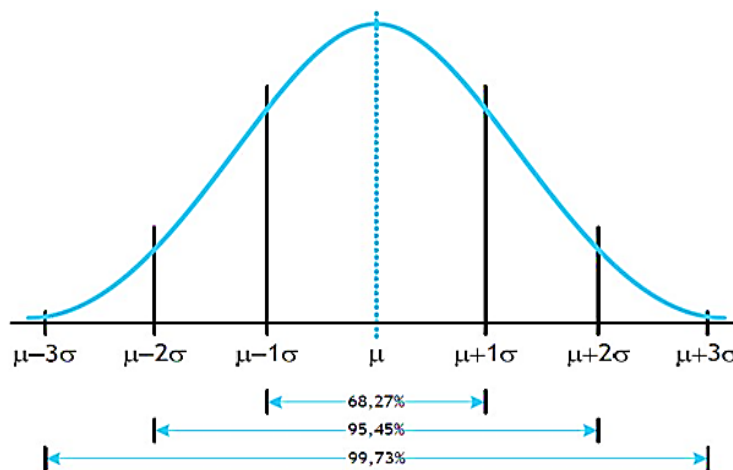


Abb. 3

Bedeutung der 68-95-99,7-Regel

Im Intervall der Abweichung $\pm \sigma$ vom Erwartungswert sind 68,27 %, im Intervall $\pm 2\sigma$ 95,45 % und im Intervall $\pm 3\sigma$ 99,74 % aller Messwerte zu finden.

► **Median** → Wert in der Mitte einer geordneten Reihe; Zentralwert bei Stichproben.

a) Bei geradzahlgiger Stichprobe

b) Bei ungeradzahlgiger Stichprobe

$$\tilde{x} = \bar{x}$$

$$\tilde{x} = \frac{n + 1}{2}$$

► **Modalwert** → Wert der am häufigsten in einer Stichprobe vorkommt.

► **Signifikanz** → In der Statistik die Aussagekraft von Daten.

1.2 Asymmetrische Verteilung

Schiefe (Skew) und *Exzess* (Kurtosis) sind Charakteristika, welche die Abweichung einer Verteilung von der Normalverteilung beschreiben. Bei normalverteilten Werten sind sowohl Exzess als auch Schiefe gleich Null.

1.2.1 Schiefe

Jede nicht symmetrische Verteilung heißt *schief*. Die Schiefe zeigt an, ob und wie stark die Verteilung nach rechts (rechtssteil, linksschief) oder nach links (linkssteil, rechtsschief) geneigt ist. Eine positive Schiefe beschreibt rechtsschiefe Daten, eine negative Schiefe linksschiefe Daten.

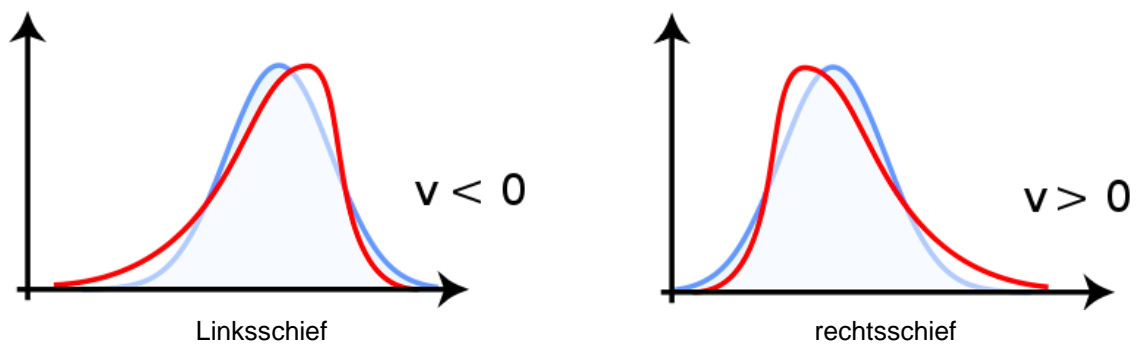


Abb. 4
Schiefe einer Dichtefunktion

1.2.2 Exzess

Der Exzess gibt die Wölbung einer Dichtefunktion an und beschreibt, ob die Verteilung bezüglich der Normalverteilung spitz oder abgeflacht ist.

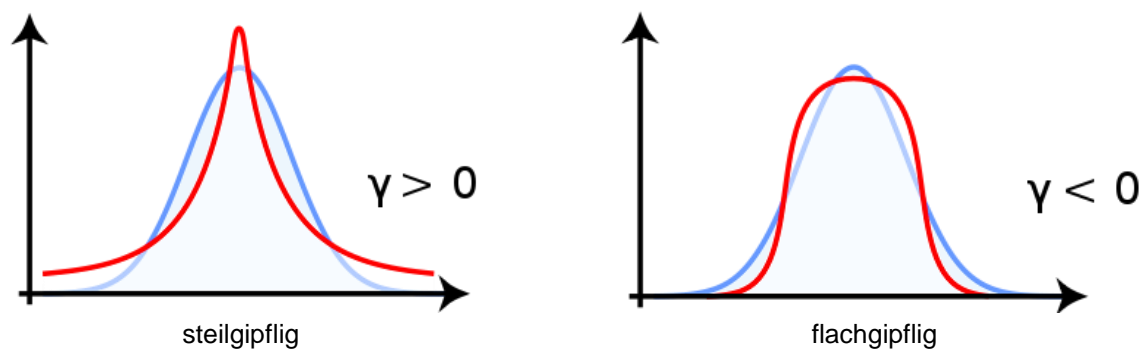


Abb. 5
Wölbung einer Dichtefunktion

Eine spitze Verteilung (heavy-tailed) hat einen positiven Exzess. Ein negativer Exzess (thin-tailed) beschreibt eine abgeflachte Verteilung.

1.3 Histogramm

Ein *Histogramm* ist eine grafische Darstellung der *Häufigkeitsverteilung* kardinal skalierten Merkmale. Es werden nebeneinanderliegende Rechtecke mit der zugehörigen Klassenbreite eingezeichnet, deren Flächeninhalte die Klassenhäufigkeiten darstellen. Die Höhe verkörpert die Häufigkeitsdichte, also Häufigkeit dividiert durch die Breite der entsprechenden Klasse.²

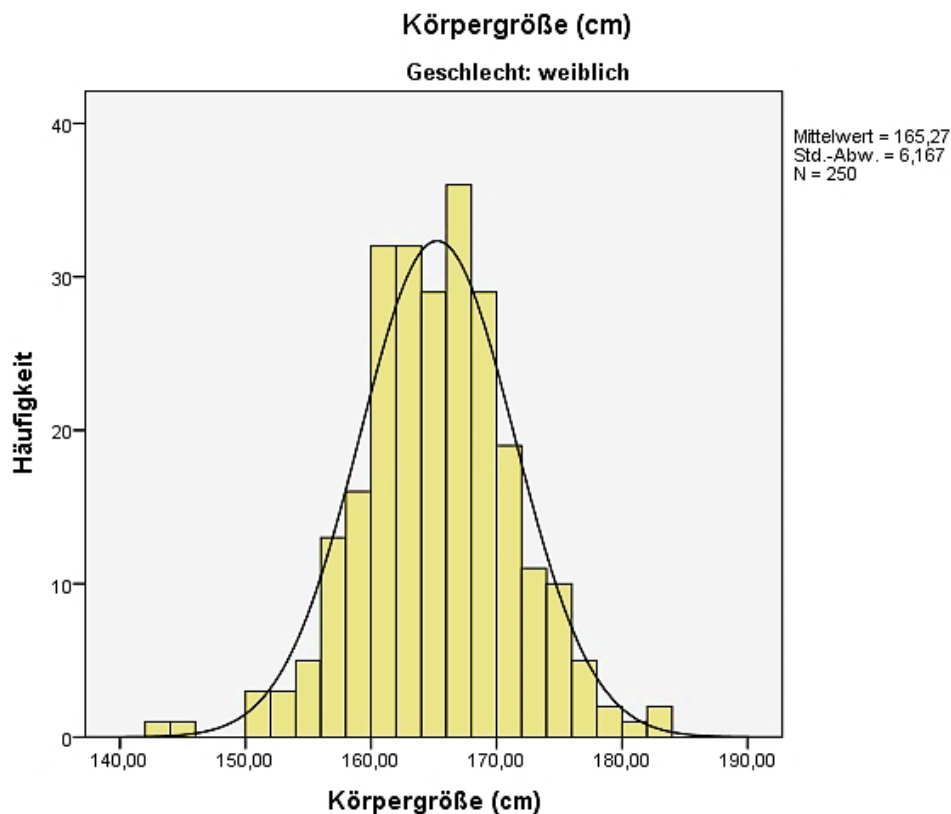


Abb. 6
Histogramm³

Um ein Histogramm zu konstruieren, benötigen wir die Spannweite einer Stichprobe, die Anzahl Klassen und die Klassenweite.

Spannweite (Range):

$$R = X_{max} - X_{min}$$

Anzahl Klassen:

$$k = \sqrt{n}$$

Klassenweite:

$$w = \frac{R}{k}$$

Im obigen Beispiel umfasst die Stichprobe 250 Merkmale, der Mittelwert der Körpergröße beträgt 165 cm, die Standardabweichung 6,167.

² <https://de.wikipedia.org/wiki/Histogramm>

³ <https://statistikguru.de>

2 Statistische Prozesslenkung

Bei den nachfolgenden Erörterungen wird davon ausgegangen, dass die Merkmalswerte annähernd normalverteilt sind.

Im Rahmen der Statistischen Prozesslenkung (SPC) sind drei Schritte erforderlich.

- Maschinenfähigkeitsuntersuchung
- Prozessfähigkeitsuntersuchung
- Prozessüberwachung

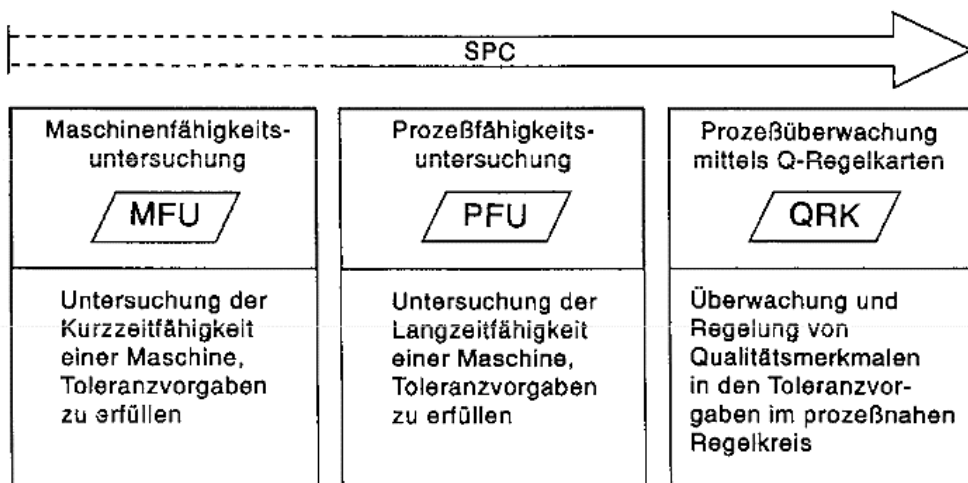


Abb. 7
Statistische Prozesskontrolle

2.1 Fähigkeitsanalyse

Die Fähigkeitsanalyse erstreckt sich auf zwei Bereiche:

- 1) Zunächst muss sichergestellt werden, dass die benutzte Maschine fähig und beherrschbar ist. Bei der *Maschinenfähigkeitsuntersuchung* (Überprüfung des Kurzzeitverhaltens) werden 30 bis 50 hintereinander gefertigte Werkstücke aus einer Fertigungsreihe untersucht.
- 2) Bei der *Prozessfähigkeitsuntersuchung* (Überprüfung des Langzeitverhaltens) werden dem Prozess in festgelegten Intervallen (z.B. jede Stunde) Stichproben mit bspw. 20 Werkstücken entnommen und untersucht.

Bei einem fähigen und beherrschten Prozess befinden sich sämtliche Merkmalswerte der entnommenen Stichproben innerhalb eines definierten Toleranzbereiches, d.h. innerhalb der Spezifikationsgrenzen. Die Toleranz ist der Bereich zwischen dem oberen und dem unteren Grenzwert. Als Breite der Prozeßstreuung wird in der Regel die dreifache Standardabweichung ($\pm 3s$) nach oben oder unten um den Mittelwert festgelegt.

Charakteristische Kennzahlen ermöglichen dem Prüfer die konkrete Beurteilung von Maschine und Prozess. Die Fähigkeitskennzahl wird aus dem Quotienten von Toleranzbreite und Streuung errechnet. Dabei bezieht man sich auf einen Bereich, bei dem 99,7 % ($\pm 3\sigma$) innerhalb der Spezifikation liegen. Die kritische Fähigkeitskennzahl berücksichtigt darüber hinaus die Lage

der Normalverteilung gegenüber dem wahren Mittelwert bzw. der Toleranzmitte. Mechanische Schwingungen durch ein defektes Lager, starke Temperaturschwankungen oder abgenutzte Werkzeuge können die Prozesslage ungünstig beeinflussen.

Aus dem Gesagten folgt, dass eine Maschine oder ein Prozess zwar fähig und doch nicht beherrschbar sein kann. Das ist immer dann der Fall, wenn bei genügender Fähigkeitskennzahl eine unzulässige Mittelwertverschiebung der Stichprobe vorhanden ist.

2.1.1 Maschinenfähigkeit

Die Maschinenfähigkeit (Machine capability) wird mit zwei Kennzahlen bewertet, die als C_m (machine capability) und C_{mk} (critical machine capability) bezeichnet werden.

► Der C_m -Wert ermöglicht eine Aussage darüber, ob die Maschine fähig ist (d.h. die Maschinenstreuung klein genug ist).

$$C_m = \frac{T}{6s} = \frac{OSG - USG}{6s} \quad \left[\frac{\text{Toleranzbreite}}{\text{Maschinenstreuung}} \right]$$

OSG Obere Spezifikationsgrenze; **USG** Untere Spezifikationsgrenze

► Der C_{mk} -Wert zeigt, ob die Maschine beherrschbar ist und gibt die Prozesslage (in Bezug auf den Mittelwert) an.

$$C_{mk} = \frac{Z_{krit}}{3s} = \text{Min} \left(\frac{\bar{x} - USG}{3s}, \frac{OSG - \bar{x}}{3s} \right) \quad \left[\frac{\text{kleinster Abstand von } \bar{x} \text{ zur Toleranzgrenze}}{\text{halbe Maschinenstreuung}} \right]$$

Beispiel: Für die Maschinenfähigkeitsuntersuchung ist eine Stichprobe von 50 Teilen erforderlich, die ohne Nachjustieren der Fertigungsmaschine unter denselben Bedingungen bezüglich Maschineneinstellungen, Werkzeugqualität, Bediener und Umgebungseinflüssen hergestellt wurden. Es gelten folgende Spezifikationen: Sollwert $50 \pm 1\text{mm}$, d.h. Toleranzbreite (T) = 2 mm.

Aus der nachfolgenden Zusammenfassung sind die gemessenen Werte ersichtlich; dabei ist i die fortlaufende Nr. und x der dazugehörige Messwert (z.B. $x_2 = 50,20$ mm).

i	x	i	x	i	x	i	x	i	x
1	50,32	11	50,34	21	50,65	31	49,72	41	50,22
2	50,20	12	50,15	22	50,08	32	49,98	42	50,34
3	50,05	13	50,12	23	50,32	33	50,32	43	50,38
4	49,99	14	50,45	24	50,43	34	50,36	44	49,95
5	50,07	15	50,38	25	49,88	35	50,42	45	50,06
6	49,87	16	50,22	26	50,12	36	50,36	46	50,48
7	49,98	17	50,35	27	50,15	37	50,32	47	49,98
8	50,05	18	49,94	28	50,38	38	49,88	48	50,18
9	50,34	19	50,26	29	50,22	39	50,21	49	50,34
10	50,22	20	49,98	30	50,27	40	49,98	50	50,22

Aus der Messreihe lassen sich die benötigten Parameter für die Maschinenfähigkeitsunter-

suchung gewinnen. Am Einfachsten geht es mit einem Taschenrechner im Statistik-Mode (programmierbare Taschenrechner sind an IHK-Prüfungen nicht erlaubt).

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{\text{Summe aller Messwerte}}{\text{Anzahl aller Messwerte}} = 50,19 \text{ mm}$$

$$s = \frac{1}{n-1} \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0,193$$

$$C_m = \frac{T}{6s} = \frac{\text{Toleranz}}{6s} = \frac{OSG - USG}{\text{Maschinenstreuung}} = 1,73$$

$$C_{mk} = \frac{Z_{krit}}{3s} = \frac{OTG - \bar{x}}{3s} = 1,4$$

Der C_m -Wert sollte mindestens 1,67, der C_{mk} -Wert mindestens 1,33 betragen (optimal wäre $C_m = C_{mk}$).

Fazit: Im vorliegenden Beispiel ist die Maschine fähig und beherrschbar.

Weil sich in praxi meist eine Abweichung zwischen Mittelwert und Nominalwert einstellt, ist C_{mk} in der Regel kleiner als C_m .

Es gilt: $C_{mk} \leq C_m$

Beispiele:

C_m	1,72	C_{mk}	1,69	Maschine ist fähig (Streuung) und beherrscht (Lage).
C_m	1,72	C_{mk}	0,69	Maschine ist fähig, aber nicht beherrscht, Neujustage erforderlich.
C_m	1,12	C_{mk}	1,89	Maschine ist fähig, aber C_{mk} stimmt nicht (Rechenfehler).
C_m	1,12	C_{mk}	1,09	Maschine ist nicht fähig, aber beherrscht (weil $C_m \approx C_{mk}$).

2.1.2 Prozessfähigkeit

Ist die Maschinenfähigkeit erfüllt, wird der nächste Schritt durchgeführt. Die Prozessfähigkeit wird mit zwei Kennzahlen bewertet, die als C_p -Wert (process capability) und C_{pk} -Wert (critical process capability) bezeichnet werden.

► Der C_p -Wert ermöglicht eine Aussage darüber, ob der Prozess fähig ist (d.h. die Fertigungsstreuung klein genug ist). Der Prozess gilt als fähig, wenn sich die Teile innerhalb der geforderten Spezifikation befinden.

A simple and straightforward indicator of process capability.

$$C_p = \frac{T}{6s} = \frac{OSG - USG}{6s} \quad \left[\frac{\text{Toleranzbreite}}{\text{Prozeßstreuung}} \right]$$

OSG Obere Spezifikationsgrenze; **USG** Untere Spezifikationsgrenze

Der C_p -Wert liegt bei 1, wenn der Prozeßstreibereich der Toleranzbreite entspricht. Im Bereich $6s$ liegen 99,7 % aller Messwerte der Normalverteilung, was als natürliche Prozeß-

streuung angenommen wird.

Die Berechnung des C_p -Wertes allein ist nicht ausreichend für eine abschliessende Beurteilung der Prozessfähigkeit, da ausser der Streubreite der Prozesslage eine entscheidende Bedeutung zukommt.

► Der C_{pk} -Wert (kritikal process capability) berücksichtigt die Lage der Verteilung (ist der Prozess beherrschbar). Hierzu wird zunächst der kritische Abstand Δ_{krit} zwischen Prozesslage und Toleranzgrenze berechnet.

Adjustment of C_{pk} for the effect of non-centered distribution.

$$C_{pk} = \frac{Z_{krit}}{3s} = \text{Min} \left(\frac{\bar{x} - USG}{3s}, \frac{OSG - \bar{x}}{3s} \right) \left[\frac{\text{kleinster Abstand von } \bar{x} \text{ zur Toleranzgrenze}}{\text{halbe Maschinenstreuung}} \right]$$

Der Prozessfähigkeitsindex C_{pk} ist so definiert, dass er gleich dem C_p -Wert ist, wenn der Prozess in der Toleranzmitte zentriert ist. Ist der C_{pk} -Wert kleiner als der C_p -Wert bedeutet dies, dass der Mittelwert der Verteilung ausserhalb der Toleranzmitte liegt.

Es gilt: $C_{pk} \leq C_p$

Anfänglich wurde ein C_{pk} -Wert von mindestens 1,00 (der Abstand der nächstgelegenen Toleranzgrenze vom Prozessmittelwert beträgt mindestens 3 Standardabweichungen) als ausreichend angesehen, später wurde die Forderung auf 1,33 (4 Standardabweichungen) angehoben. Mittlerweile wird vielfach ein C_p -Wert von 2,00 (die Breite des Toleranzbereichs entspricht einer Streubreite von ± 6 Standardabweichungen, daher Six Sigma) kombiniert mit einem C_{pk} -Wert von 1,67 (der Abstand der nächstgelegenen Toleranzgrenze vom Prozessmittelwert beträgt mindestens 5 Standardabweichungen) als wünschenswertes Ziel definiert.

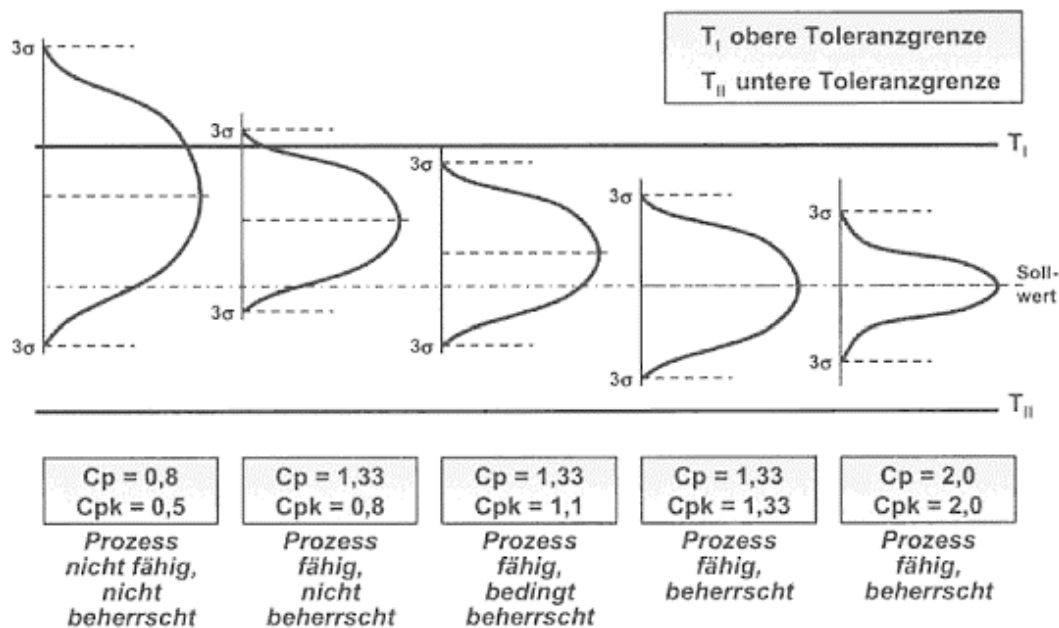


Abb. 8
Prozessfähigkeit⁴

⁴ Armin Töpfer: Six Sigma (Springer).

2.1.3 Stabiler Prozess

Ein Prozess ist stabil, wenn er keine Streuungen durch aussergewöhnliche Ursachen erhält. In der Prozessbeobachtung werden Verlaufsdiagramme oder Regelkarten verwendet, um die Prozessstabilität darzustellen oder aussergewöhnliche Werte zu dokumentieren.

Die Verlaufsdiagramme oder Regelkarten werden im Allgemeinen auf 4 Kriterien untersucht.

► **1 Messwert mehr als 3s von der Mittellinie entfernt**

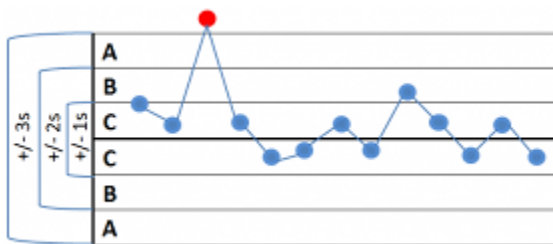


Abb. 9.1
Anzeichen für eine Verschiebung des Mittelwertes, der Standardabweichung oder eines einzelnen Ausreissers

► **9 aufeinander folgende Punkte auf einer Seite der Mittellinie**

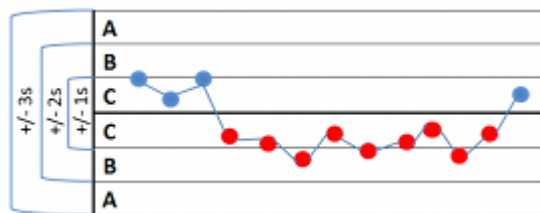


Abb. 9.2
Anzeichen für eine Verschiebung des Mittelwertes

► **6 aufeinander folgende Punkte alle zu oder abnehmend**

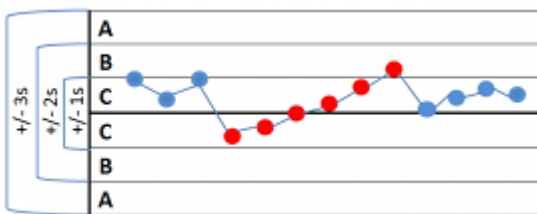


Abb. 9.3
Anzeichen für einen Trend

► **14 aufeinander folgende Punkte, abwechselnd auf- und abwärts**

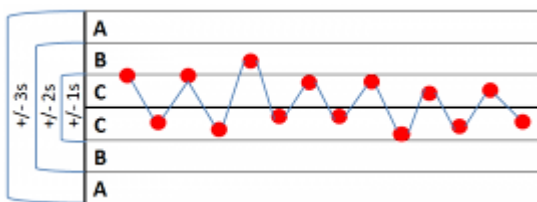


Abb. 9.4
Anzeichen dafür, dass die Daten aus zwei unterschiedlichen Quellen kommen

Wird keine dieser Kriterien erfüllt, gilt der Prozess als stabil. Eine Bedingung für die Ermittlung der Prozessfähigkeit ist damit erfüllt.

2.2 Qualitätsregelkarten

Qualitätsregelkarten (auch *Shewhart-Karten* genannt) sind ein nützliches Werkzeug in der Qualitätssicherung. Mittels einer Regelkarte ist auf den ersten Blick ersichtlich, ob sich ein Prozess innerhalb der Spezifikationsgrenzen befindet oder nicht.

Die Regelkarte kann einspurig oder mehrspurig sein (z.B. für die Erfassung der Mittelwerte und der Spannweiten der Stichproben). Wird nur der x-Wert erfasst, spricht man auch von einer Urwertkarte.

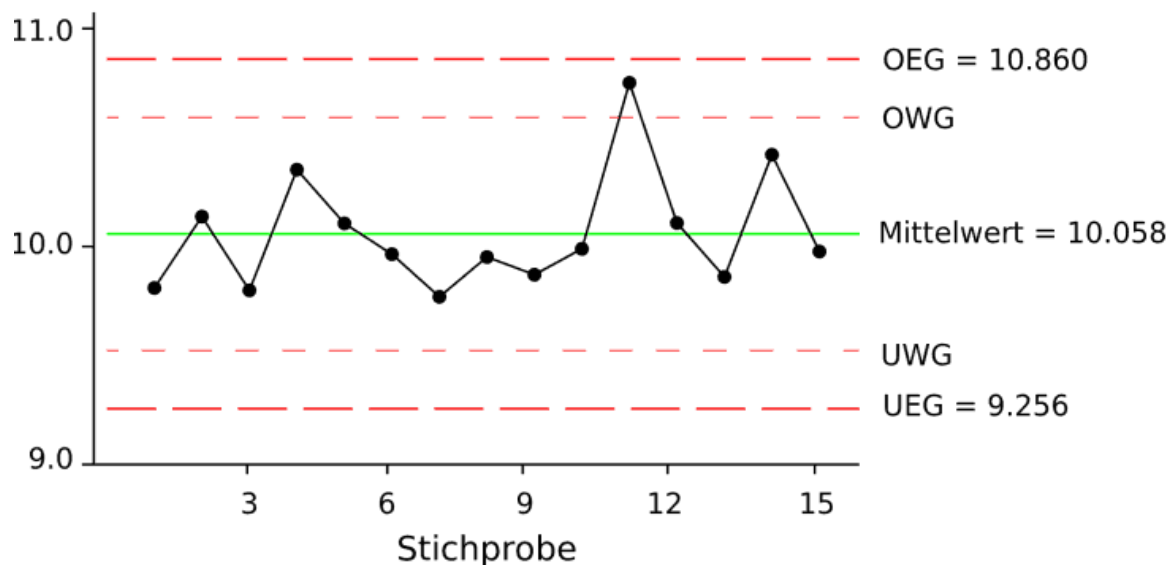


Abb. 10
Qualitätsregelkarte

OWG Obere Warngrenze; **UWG** Untere Warngrenze
OEG Obere Eingriffsgrenze; **UEG** Untere Eingriffsgrenze

Die Eingriffsgrenzen bilden die Regelgrenzen. Bei Über- bzw. Unterschreiten der Werte muss korrigierend in den Prozess bzw. die Maschine eingegriffen werden, um so systematische Prozesseinflüsse auszugleichen. Die Grenzwerte werden einschlägigen Tabellen entnommen.

Bei Überschreiten der Warngrenzen (+/- 2 sigma vom Mittelwert) muss ein Prozess verschärft überwacht werden. Bei Überschreiten der Toleranzgrenzen ist der Prozess zu unterbrechen und zu untersuchen, ob Maschine und Prozess fähig sind, die geforderten Toleranzgrenzen einzuhalten.

Praxisbeispiel: In einem Kosmetikbetrieb wird die Füllmengenkontrolle bei der Tubenabfüllung mit Qualitätsregelkarten durchgeführt. Das Netto-Sollgewicht beträgt 52 g. Die Eingriffsgrenzen wurden als Mittelwert ± 3-fache Standardabweichung und die Warngrenzen als Mittelwert ± 2-fache Standardabweichung festgelegt.

Je Stichprobe werden 15 Wägungen durchgeführt.

Probe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Auswaage	52,3	52,3	51,8	52,1	51,8	51,8	51,8	52,1	52,4	51,7	51,8	52,5	52,1	51,7	52,3

Es resultieren folgende Zahlenwerte:

- Mittelwert = 52,033 g
- Standardabweichung = 0,28 g
- 2-fache Standardabweichung = 0,56
- 3-fache Standardabweichung = 0,84
- $WG = MW \pm 2s = 52,033 \pm 0,56$
- $EG = MW \pm 3s = 52,03 \pm 0,84$
- Abschliessend werden die Messwerte in die Regelkarte eingetragen.

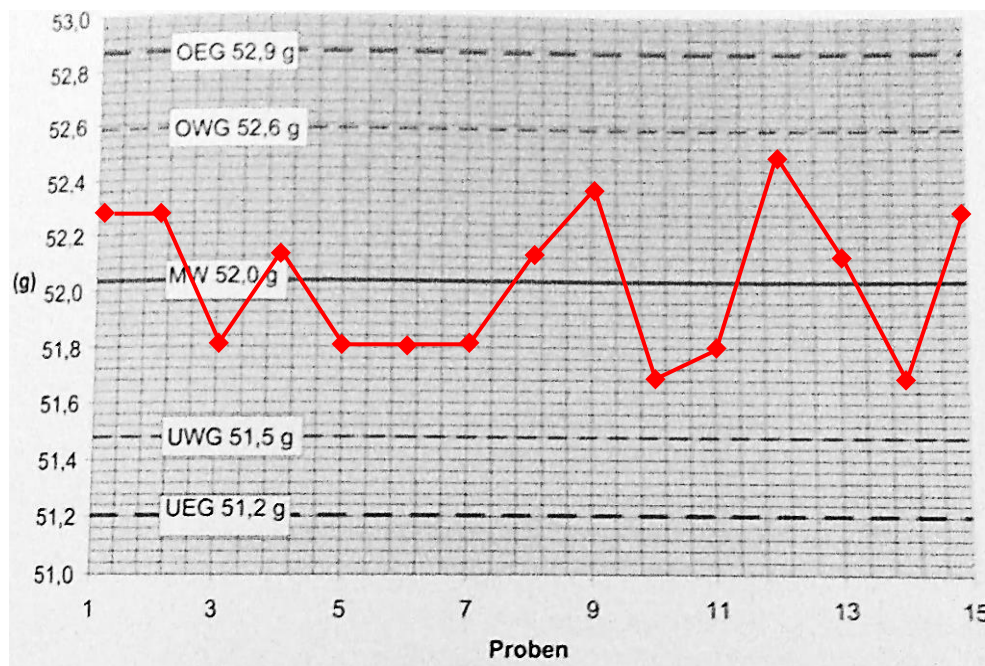


Abb. 11

Q-Regelkarte mit beherrschbarem und fähigem Prozess

Fazit: Solange sich der Prozess innerhalb der 2-fachen Standardabweichung bewegt, ist nur dann ein Eingriff erforderlich, wenn bestimmte Charakteristika wie z.B. ein *Trendverlauf* auftreten. Verlässt der Prozess dagegen das Toleranzband zwischen oberer und unterer Engreifgrenze muss die Produktion angehalten und eine Überprüfung durchgeführt werden; ggf. ist die Maschine neu zu justieren.

3 Quellenverweise

3.1 Fachliteratur

Dietrich, Schulze: Statistische Verfahren zur Maschinen- und Prozessqualifikation (Hanser)

Linß: Qualitätsmanagement für Ingenieure (Hanser)

Mittag: Statistik (Springer Spectrum)

Schmitt, Pfeifer: Qualitätsmanagement: Strategien – Methoden – Techniken (Hanser)

Melzer: Six Sigma – kompakt und praxisnah (Springer Gabler)

Theden: Qualitätstechniken (Hanser)

Kamiske: Qualitätssicherung im Produktionsprozess (Hanser)

Timischl: Qualitätssicherung – Statistische Methoden (Hanser).

Mockenhaupt: Qualitätssicherung – Qualitätsmanagement (Verlag Handwerk und Technik)

3.2 Weblinks

a) Fähigkeitsanalyse:

<http://www.faes.de/Basis/Basis-Lexikon/Basis-Lexikon-Prozessfaehigkei/basis-lexikon-prozessfaehigkei.html>

b) SixSigma:

<https://www.sixsigmablackbelt.de/prozessfaehigkeit-und-maschinenfaehigkeit/>

<http://www.sixsigma.ch/index.htm>

c) Statistische Prozesslenkung:

<http://managementmethoden.info/TBStatistikWerkzeuge/TBFaehigkeitsanalyse?from=TBProjektWerkzeuge.TBFaehigkeitsanalyse>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Qualit%C3%A4tsregelkarte>

https://de.wikipedia.org/wiki/Statistische_Prozesslenkung

<https://de.wikipedia.org/wiki/Maschinenf%C3%A4higkeit>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Prozessf%C3%A4higkeitsindex>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Prozessf%C3%A4higkeitsuntersuchung>

3.3 YouTube

<https://www.youtube.com/watch?v=dVMI-GUiC6c>

https://www.youtube.com/watch?v=IT4i_YBUu4s