



Universität  
Zürich<sup>UZH</sup>

Institut für Betriebswirtschaftslehre

# Operations Management

Qualitätsmanagement

Prof. Dr. Helmut Dietl





## Lernziele

Nach dieser Veranstaltung sollen Sie wissen,

- was man unter Qualitätsmanagement versteht,
- welche Ziele das Qualitätsmanagement verfolgt,
- welche Methoden der Qualitätssicherung existieren,
- was man unter statistischer Prozesssteuerung (SPC) versteht und wie man sie anwendet,
- was man unter Kontroll-, Performance- und Spezifikationsgrenzen versteht,
- was der Process Capability Index besagt und wie man ihn berechnet.



## Qualität: Konsument vs. Produzent

### **Konsument:**

- Erfüllung der Erwartungen
- Gebrauchsfähigkeit
- Zweckdienlichkeit
- Erfüllung der Produkt-/Serviceanforderungen

### **Produzent:**

- Einhaltung der Produkt-/Servicespezifikationen

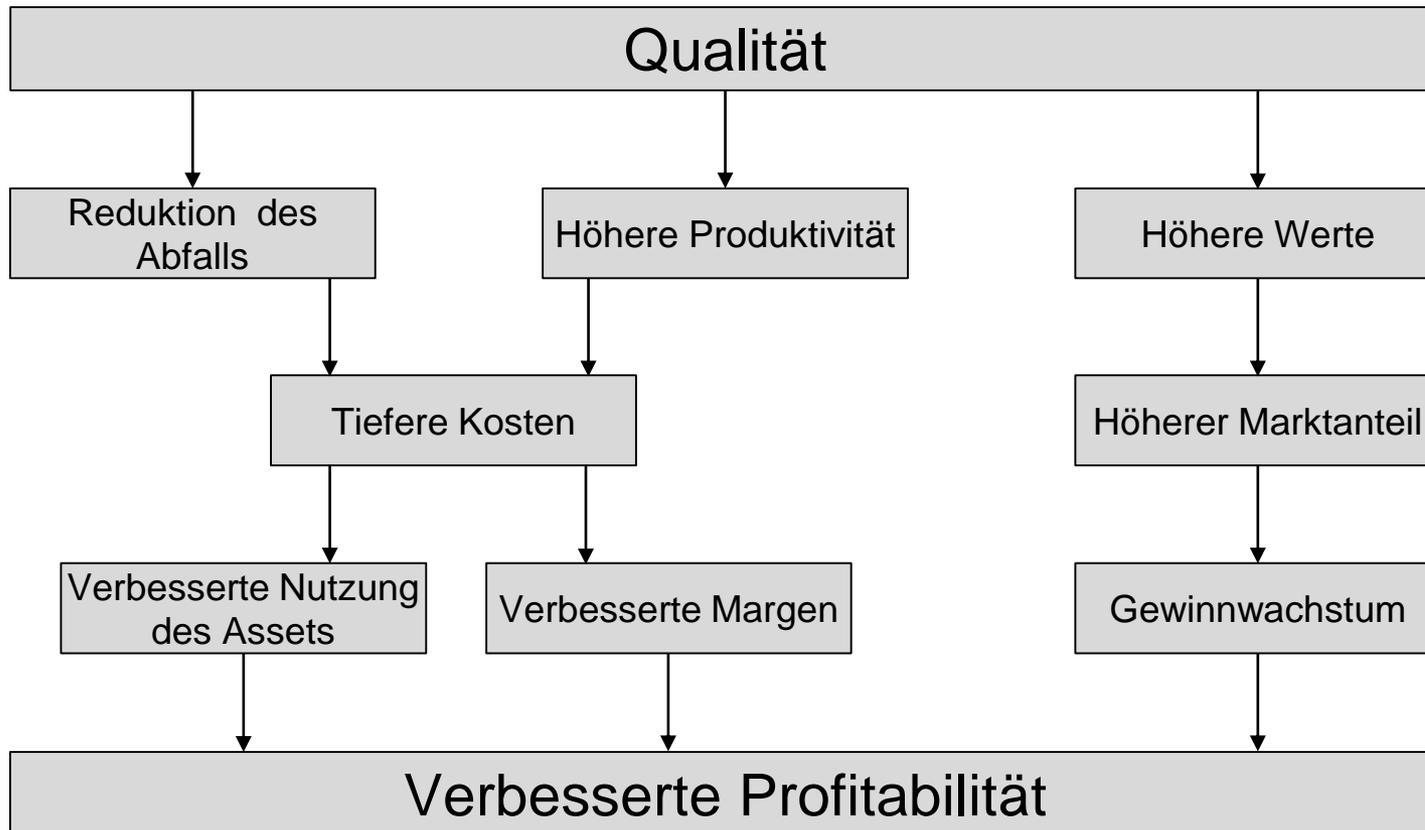


## Qualität entsteht durch

- Übersetzung von Kundenbedürfnissen in Produkt-/ Serviceeigenschaften (z.B. vom Markt gewünschter Benzinverbrauch)
- Übersetzung der Produkt-/Serviceeigenschaften in Produkt-/ Servicespezifikationen (z.B. Gewicht, Windwiderstand)
- Entwicklung eines Produktionssystems, das diese Produkt-/ Servicespezifikationen zu vertretbaren Kosten realisiert



## Qualität und Profitabilität





## Warum ist Qualität wichtig?

### Interne Kosten

- Fehlerbehebung
- Lagerkosten
- Kapazitätskonsum
- Produktionsunterbrechung

### Externe Kosten

- Reputationsverlust (beschädigter Markenname)
- Haftungskosten (Produzentenhaftung, Gerichtskosten, Strafen etc.)
- Garantiekosten
- Preisnachlässe

### Präventions- und Aufdeckungskosten

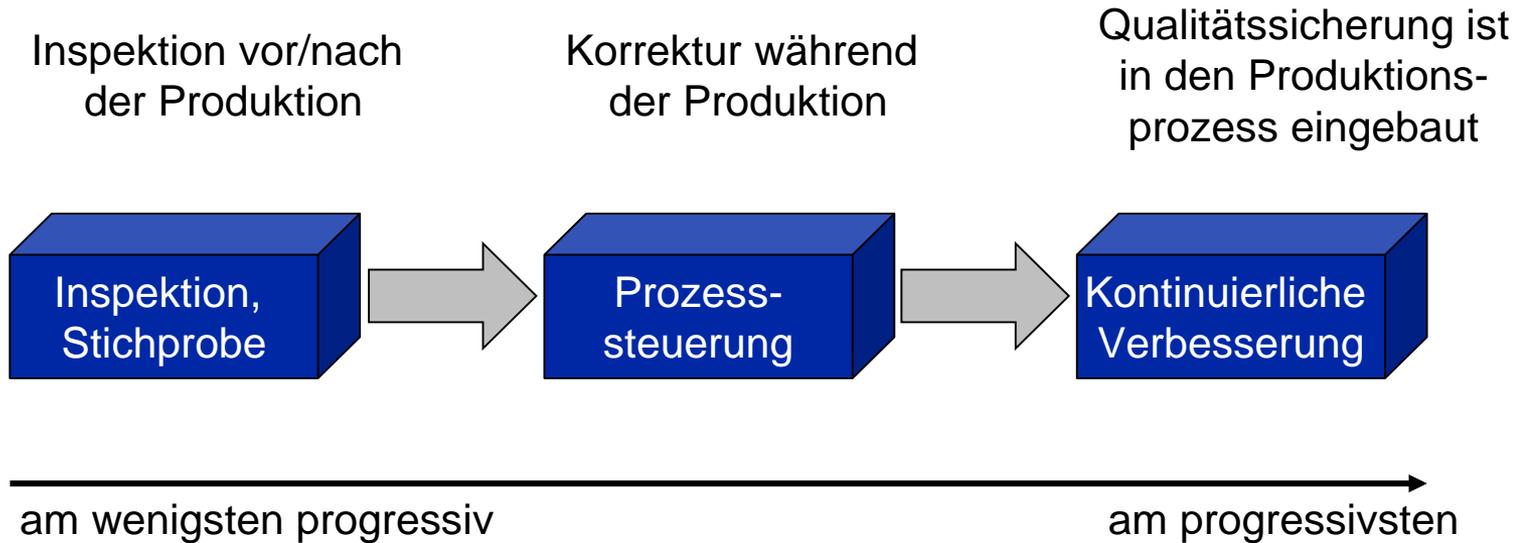
- Kontrollkosten
- Inspektionskosten
- Fehlerdiagnose

### Marktvorteile

- Kostenreduktion für Kunden
- Ausnutzung der Risikoaversion der Kunden (z.B. Disneyland)
- Markenloyalität/Franchise



# Qualitätssicherung





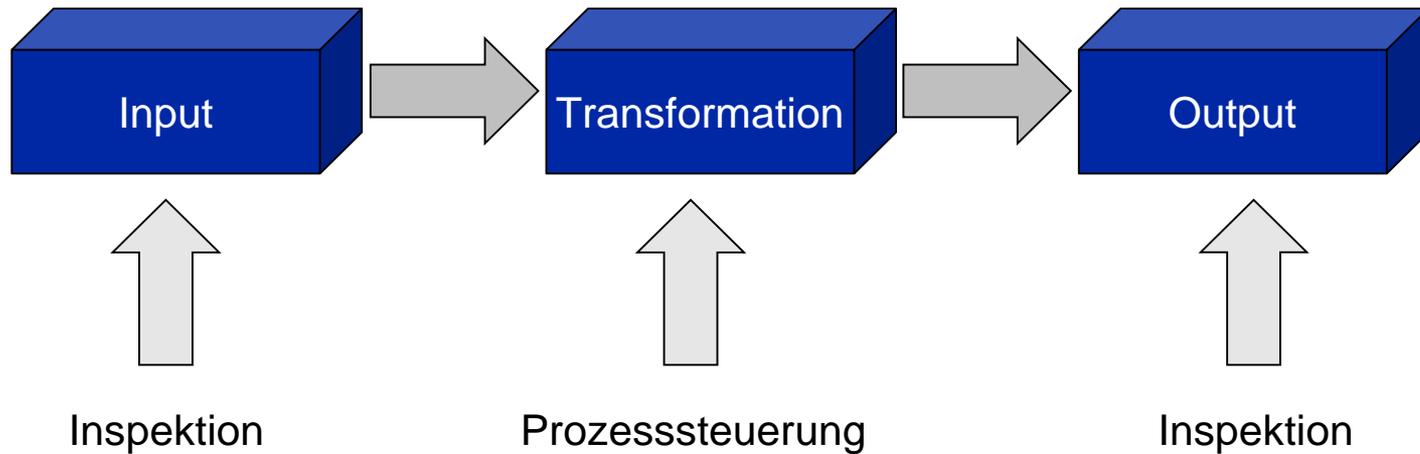
## Ziele des Qualitätsmanagements

- Verlässliche Qualität verkaufter Produkte/Services
- Aufdecken und Lösen von Qualitätsproblemen
- Kostenminimierung

**Wie erreichen wir diese Ziele?**



## Inspektion vs. Prozesssteuerung





## Möglichkeit 1: Inspektion

**Grundidee:** Selektiere schlechte Qualität aus, *bevor* sie den Kunden erreicht

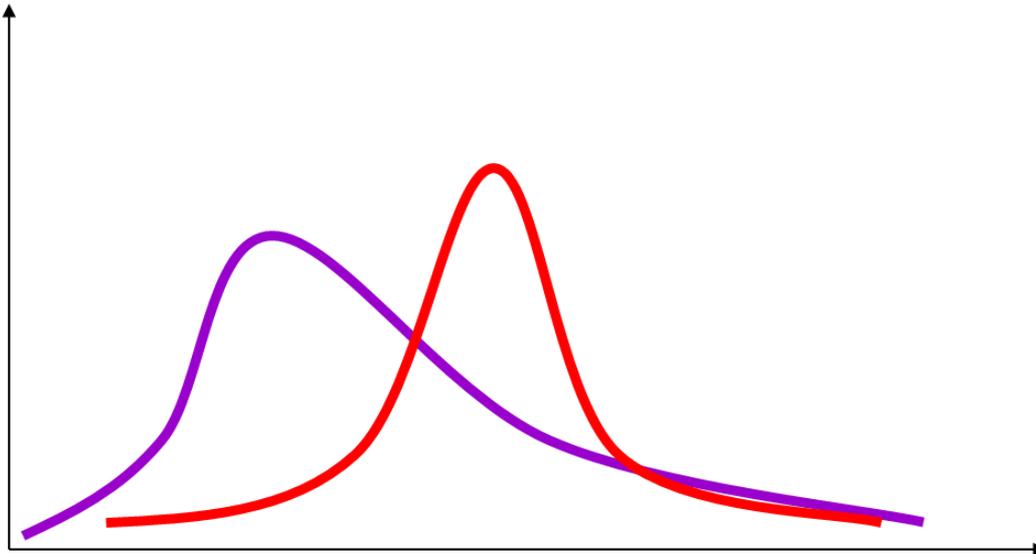
Inspektion kann sehr teuer sein

- Inspektionskosten
  - Direkt: Inspektionspersonal, Geräte
  - Indirekt: Ausschuss, Kapazitätsverlust
- Ungeeignet in Branchen mit
  - geringen Gewinnmargen
  - integraler Produktarchitektur
  - hohen Opportunitätskosten der Produktionskapazität



## Stichprobentheorie

Mit zunehmendem Stichprobenumfang nähert sich die Verteilung des Stichprobenmittelwertes unabhängig von der Verteilung der Grundgesamtheit der Normalverteilung an.

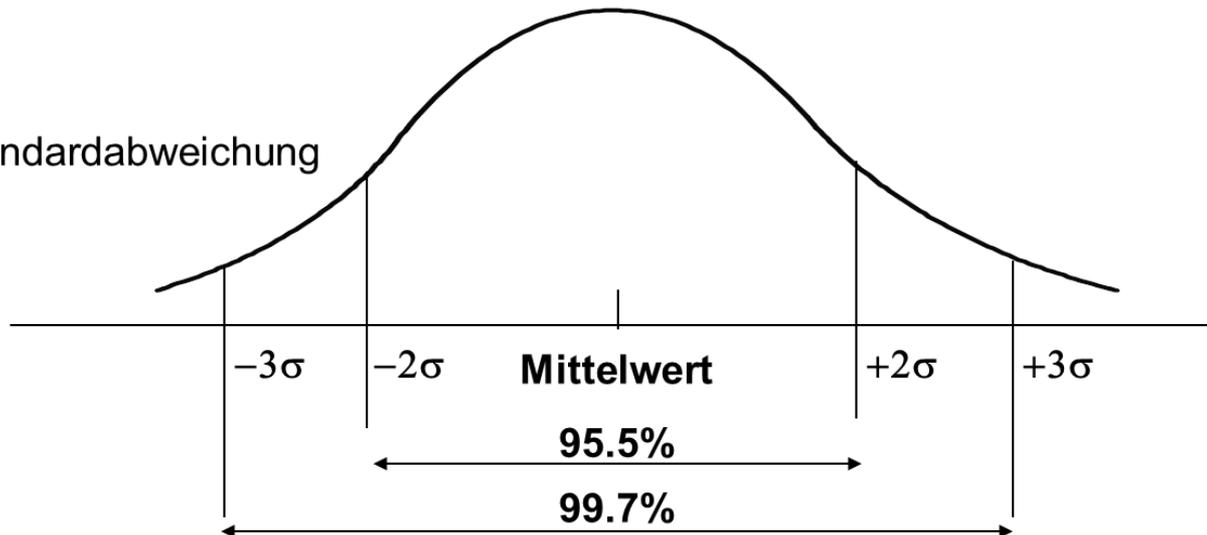




# Verteilungsannahmen

## Normalverteilung

$\sigma$  = Standardabweichung





## Stichprobeninspektion: Warum?

- In den meisten Fällen ist eine 100%ige Inspektion zu teuer (grosse Produktionsvolumen)
- Oft ist eine 100%ige Inspektion unmöglich (z.B. wenn durch die Inspektion das Produkt/der Service verbraucht oder zerstört wird (z.B. Vorkosten in Restaurants, Bombentest)
- Häufig ist Inspektion durch den Produzenten günstiger als durch den Kunden (Grössenvorteile durch Inspektionsfixkosten)



## Stichprobenterminologie

|                                   | Grundgesamtheit<br>wird angenommen             | Grundgesamtheit<br>wird<br>zurückgewiesen       |
|-----------------------------------|--|---|
| Grundgesamtheit<br>ist «gut»      | o.k.   | Produzentenrisiko $\alpha$<br>bzw. Typ 1 Fehler |
| Grundgesamtheit<br>ist «schlecht» | Konsumentenrisiko<br>$\beta$ bzw. Typ 2 Fehler | o.k.  |



## Möglichkeit 2: Prozesssteuerung (1/3)

**Grundidee:** Steuern den Prozess, der die Qualität erzeugt

- SPC (Statistical Process Control)
- Steuerung und Kontrolle der Qualitätsdimensionen (nicht nur „guter“ vs. „schlechter“ Output)
  - Wie verändern sich die Daten im Zeitablauf?
  - Falls ein Produkt/Service fehlerhaft ist, wie weit liegen die Werte ausserhalb des AQL (acceptable quality level)?



## Möglichkeit 2: Prozesssteuerung (2/3)

- Identifikation der Ursachen der Prozessschwankungen
  - Allgemeine Ursachen (zufällige Schwankungen)
    - sind prozessimmanent
    - Vermeidung erfordert Veränderung des gesamten Prozessdesigns
  - Besondere Ursachen (systematische Schwankungen)
    - beruhen auf vermeidbaren Fehlern (z.B. menschliches Versagen)
    - Vermeidung erfordert keine Veränderung des gesamten Prozessdesigns

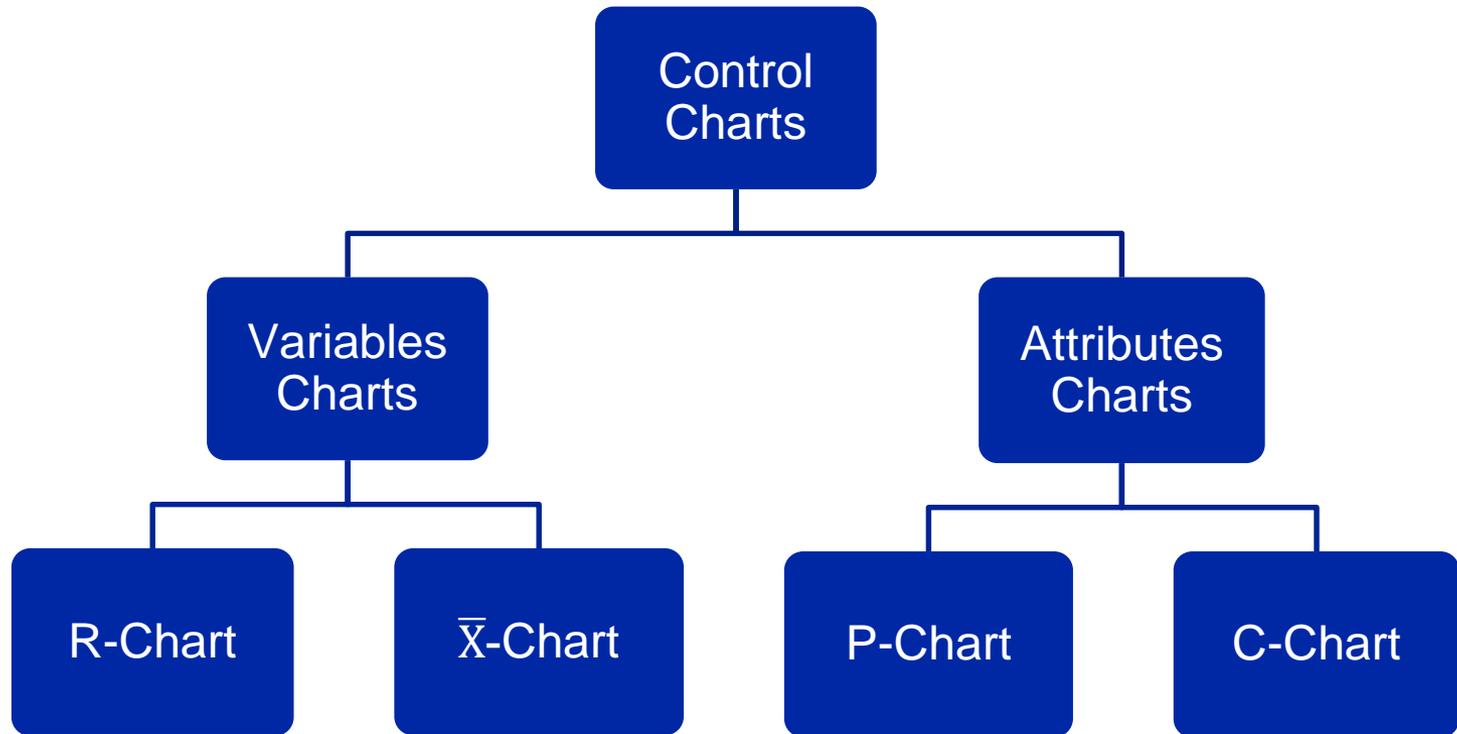


## Möglichkeit 2: Prozesssteuerung (3/3)

- Ermittlung der Prozessfähigkeiten
  - Welches Qualitätsniveau kann der Produktionsprozess verlässlich erreichen?
- Institutionalisierung formaler Methoden zur kontinuierlichen Diagnose und Beseitigung von Prozessmängeln

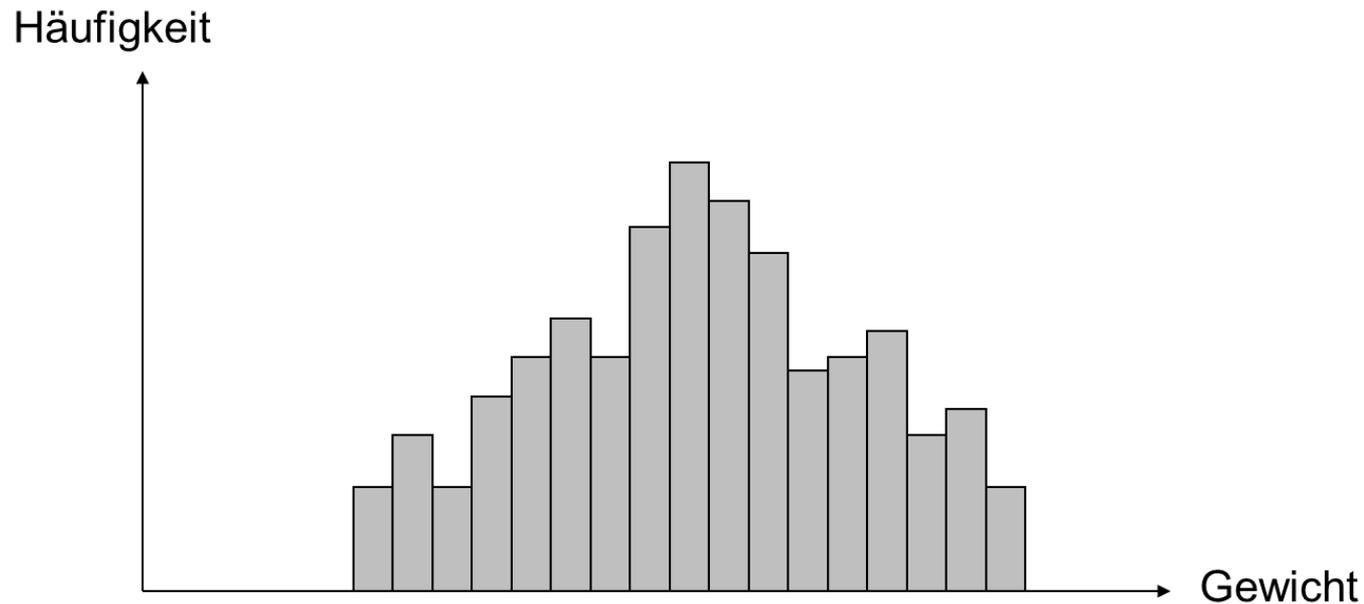


# Control Charts im Überblick





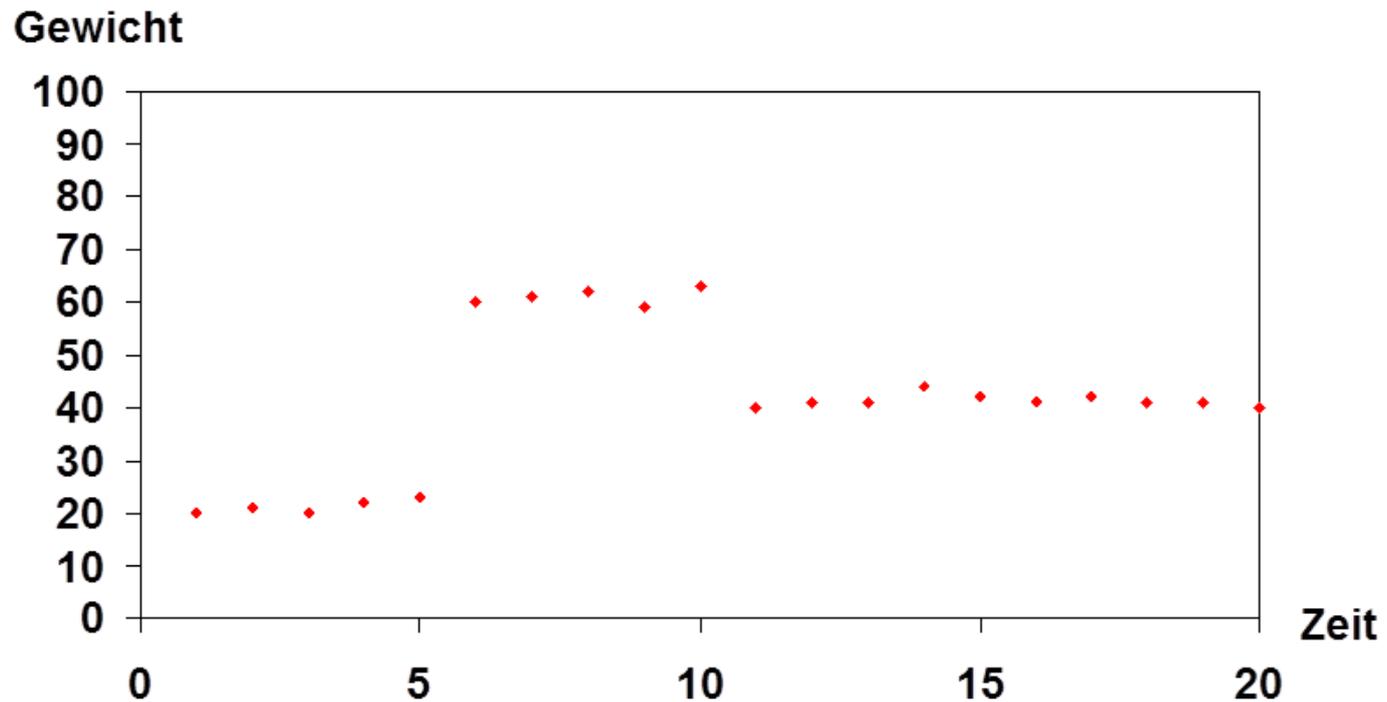
## Beispiel: Gewichtskontrolle



Problem: Histogramme können die Qualitätsabweichungen nicht im Zeitablauf darstellen



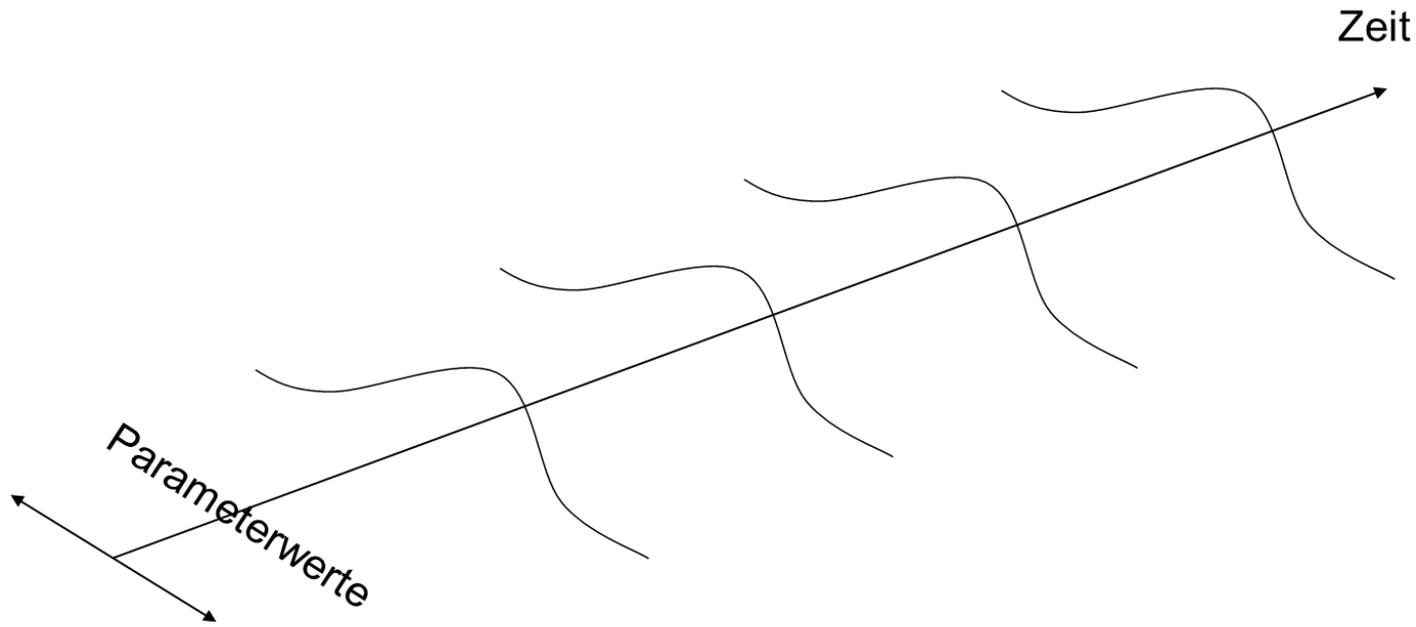
## Beispiel: Gewichtskontrolle





## Das Konzept statistischer Kontrolle

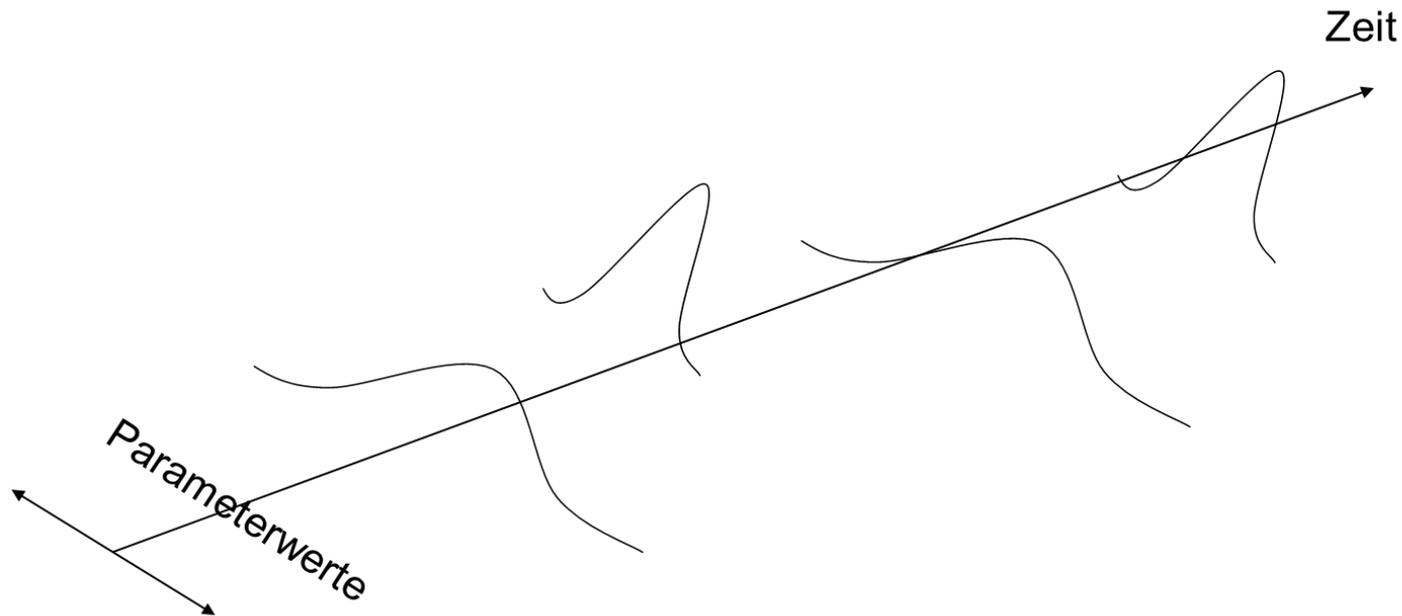
Dieser Prozess ist unter statistischer Kontrolle, da die Parameterverteilung im Zeitablauf **konstant** bleibt.





## Das Konzept statistischer Kontrolle

Dieser Prozess ist **nicht** unter statistischer Kontrolle, da die Parameterverteilung im Zeitablauf **nicht konstant** bleibt.





## Control Charts: Aufgaben

Control Charts sollen aufzeigen, ob sich ein Prozess unter statistischer Kontrolle befindet

*und*

die Ursachen eventueller Abweichungen identifizieren

*und*

den laufenden Produktionsprozess überwachen

## Datensammlung für Control Charts



- **Ziele:**
  - In sich möglichst homogene, untereinander möglichst heterogene Stichproben
- **Kriterien zur Bildung der Stichproben**
  - Konstante Umweltbedingungen innerhalb einer Stichprobe
  - Konstante Materialien innerhalb einer Stichprobe
  - Konstantes Personal (z.B. eine Schicht)

**Prinzip:** Wenn Qualitätsabweichungen spezielle Ursachen haben, sind die Stichproben hiervon unterschiedlich betroffen.



## Control Chart: Symbole

$\mu$  = Mittelwert

$\sigma$  = Standardabweichung

$n$  = Stichprobenumfang

$\bar{X}$  = Mittelwert einer Stichprobe

$\bar{\bar{X}}$  = Mittelwert aller Stichproben

$R$  = Spannweite (range) einer Stichprobe

$\bar{R}$  = Mittelwert der Spannweiten aller Stichproben



## Control Charts

### $\bar{X}$ – Chart

Zeigt, ob ein Prozess hinsichtlich seiner Mittelwerte unter Kontrolle ist

- Kontrollgrenzen bei bekannten Parametern:  $\bar{\bar{X}} \pm 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$
- Kontrollgrenzen bei unbekanntem Parametern:  $\bar{\bar{X}} \pm A_2 \bar{R}$

### R – Chart

Zeigt, ob die Prozessschwankungen unter Kontrolle sind

- Obergrenze:  $D_4 \bar{R}$
- Untergrenze:  $D_3 \bar{R}$



| <b>n</b> | <b>A<sub>2</sub></b> | <b>D<sub>3</sub></b> | <b>D<sub>4</sub></b> |
|----------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 2        | 1.88                 | 0                    | 3.27                 |
| 3        | 1.02                 | 0                    | 2.57                 |
| 4        | 0.73                 | 0                    | 2.28                 |
| 5        | 0.58                 | 0                    | 2.11                 |
| 6        | 0.48                 | 0                    | 2.00                 |
| 7        | 0.42                 | 0.08                 | 1.92                 |
| 8        | 0.37                 | 0.14                 | 1.86                 |
| 9        | 0.34                 | 0.18                 | 1.82                 |
| 10       | 0.31                 | 0.22                 | 1.78                 |

Quelle: Grant E.L. (1988): Statistical Quality Control, 6. Aufl.



| <b>n</b> | <b>A<sub>2</sub></b> | <b>D<sub>3</sub></b> | <b>D<sub>4</sub></b> |
|----------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 11       | 0.29                 | 0.26                 | 1.74                 |
| 12       | 0.27                 | 0.28                 | 1.72                 |
| 13       | 0.25                 | 0.31                 | 1.69                 |
| 14       | 0.24                 | 0.33                 | 1.67                 |
| 15       | 0.22                 | 0.35                 | 1.65                 |
| 16       | 0.21                 | 0.36                 | 1.64                 |
| 17       | 0.20                 | 0.38                 | 1.62                 |
| 18       | 0.19                 | 0.39                 | 1.61                 |
| 19       | 0.19                 | 0.40                 | 1.60                 |
| 20       | 0.18                 | 0.41                 | 1.59                 |

Quelle: Grant E.L. (1988): Statistical Quality Control, 6. Aufl.

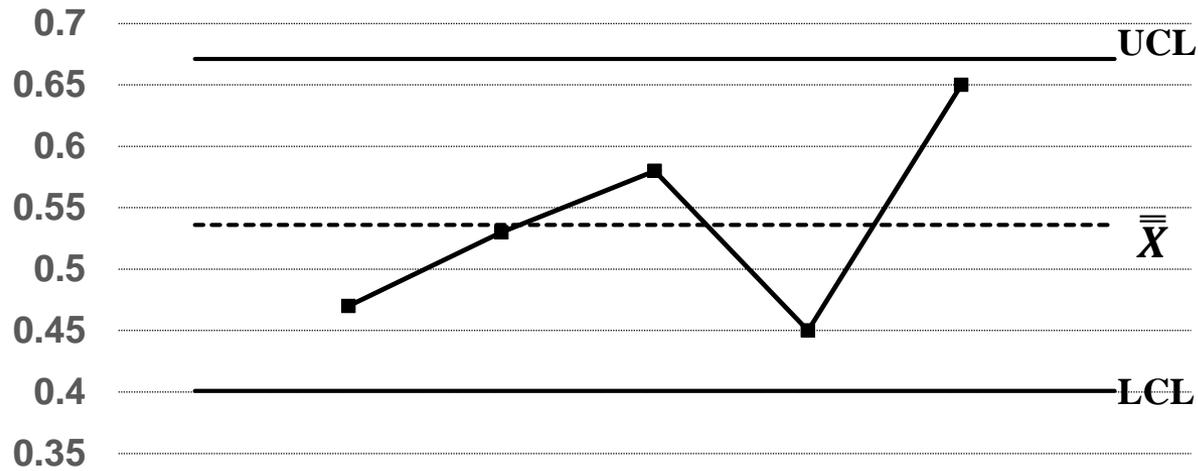


## Beispiel 1

- Schraubendurchmesser, Standardabweichung = 0.09 nm
- Tabelle enthält Daten der letzten 5 Stichproben (Stichprobenumfang = 4)
- Ist der Prozess unter Kontrolle?

| Stichprobe | 1    | 2    | 3    | 4    | Stichproben-<br>mittel | Stichproben-<br>spanweite |
|------------|------|------|------|------|------------------------|---------------------------|
| 1          | 0.51 | 0.63 | 0.39 | 0.35 | 0.47                   | 0.28                      |
| 2          | 0.50 | 0.56 | 0.42 | 0.64 | 0.53                   | 0.22                      |
| 3          | 0.68 | 0.49 | 0.53 | 0.62 | 0.58                   | 0.19                      |
| 4          | 0.45 | 0.33 | 0.47 | 0.55 | 0.45                   | 0.22                      |
| 5          | 0.70 | 0.58 | 0.64 | 0.68 | 0.65                   | 0.12                      |

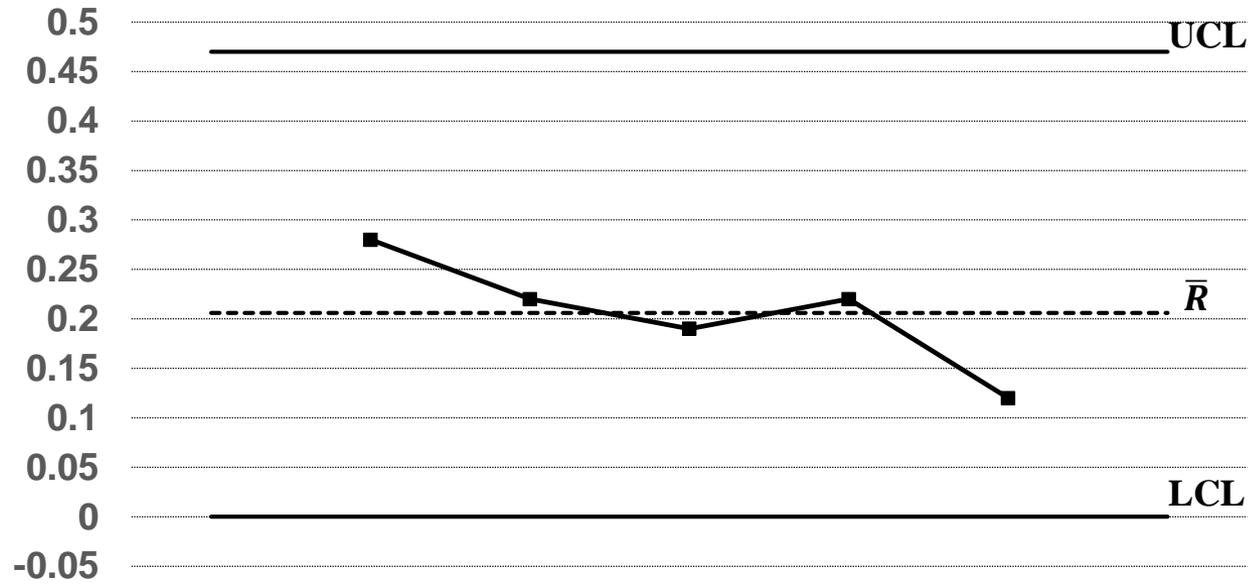
## Beispiel 1: $\bar{X}$ -Chart



- $\bar{\bar{X}} = \frac{0.47+0.53+0.58+0.45+0.65}{5} = 0.536$
- UCL (Obergrenze) =  $0.536 + 3 * \left(\frac{0.09}{\sqrt{4}}\right) = 0.536 + 0.135 = 0.671$
- LCL (Untergrenze) =  $0.536 - 3 * \left(\frac{0.09}{\sqrt{4}}\right) = 0.536 - 0.135 = 0.401$

→ Prozess ist hinsichtlich der Mittelwerte unter Kontrolle

## Beispiel 1: R-Chart



- $\bar{R} = \frac{A=\pi r^2 0.28+0.22+0.19+0.22+0.12}{5} = 0.206$
- UCL (Obergrenze) =  $2.28 * 0.206 = 0.47$
- LCL (Untergrenze) =  $0 * 0.206 = 0$

→ Prozess ist hinsichtlich der Spannweiten unter Kontrolle



## Beispiel 2

- Reifenabrieb in mm, Standardabweichung ist nicht bekannt
- 20 Stichproben à 10 Reifen (siehe Tabelle)
- Ist der Prozess unter Kontrolle?

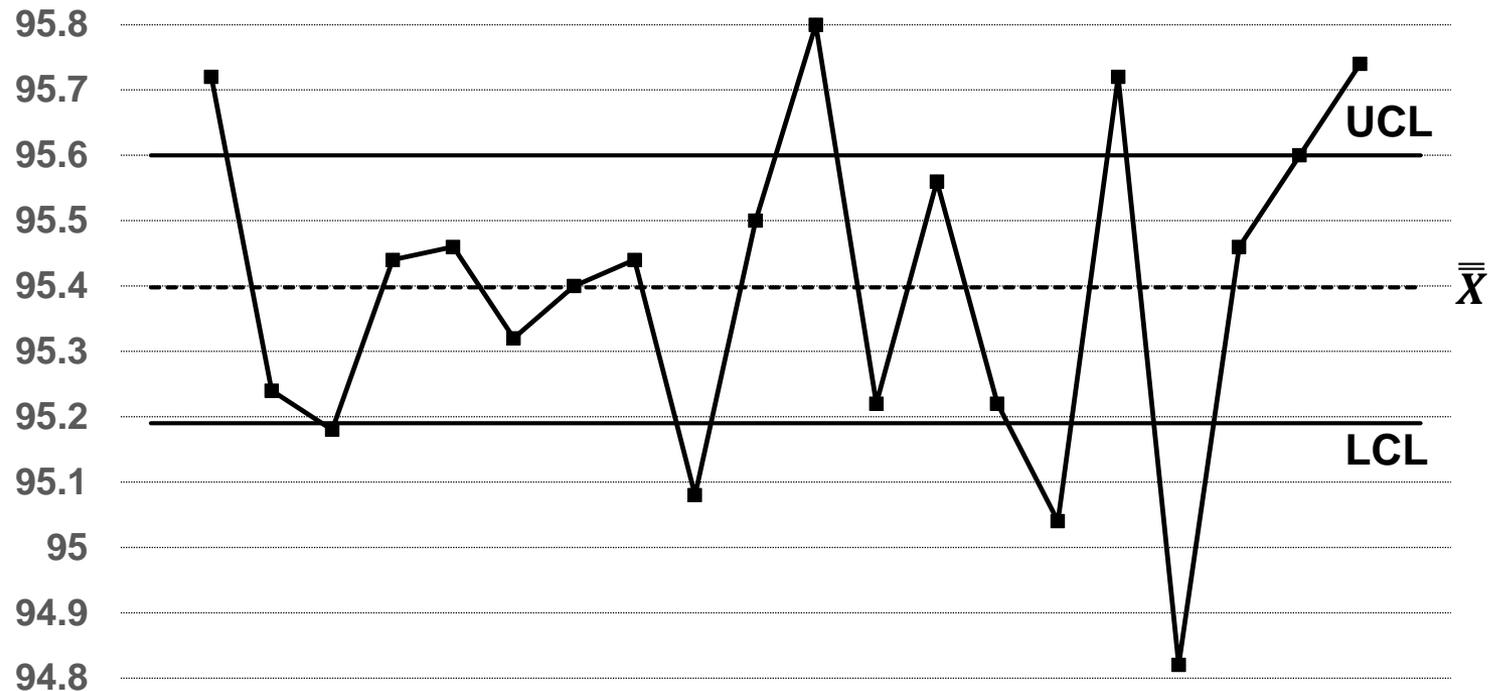
| Sample | Average | Range | Sample | Average | Range |
|--------|---------|-------|--------|---------|-------|
| 1      | 95.72   | 1.0   | 11     | 95.80   | 0.6   |
| 2      | 95.24   | 0.9   | 12     | 95.22   | 0.2   |
| 3      | 95.18   | 0.8   | 13     | 95.56   | 1.3   |
| 4      | 95.44   | 0.4   | 14     | 95.22   | 0.5   |
| 5      | 95.46   | 0.5   | 15     | 95.04   | 0.8   |
| 6      | 95.32   | 1.1   | 16     | 95.72   | 1.1   |
| 7      | 95.40   | 0.9   | 17     | 94.82   | 0.6   |
| 8      | 95.44   | 0.3   | 18     | 95.46   | 0.5   |
| 9      | 95.08   | 0.2   | 19     | 95.60   | 0.4   |
| 10     | 95.50   | 0.6   | 20     | 95.74   | 0.6   |



## Beispiel 2

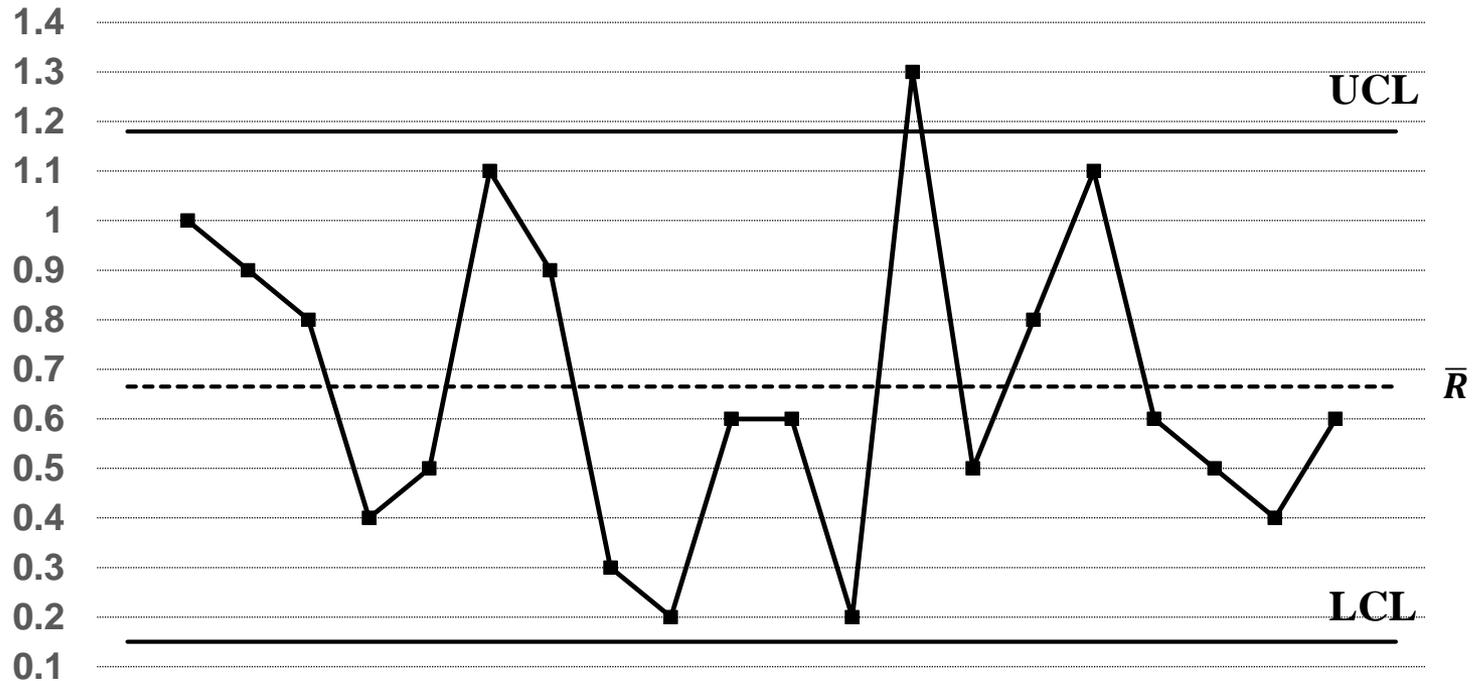
- $\bar{\bar{X}} = 95.398$
- $\bar{R} = 0.665$
- $UCL (\bar{X} - \text{Chart}) = 95.398 + 0.31 * 0.665 = 95.60$
- $LCL (\bar{X} - \text{Chart}) = 95.398 - 0.31 * 0.665 = 95.19$
- $UCL (R - \text{Chart}) = 1.78 * 0.665 = 1.18$
- $LCL (R - \text{Chart}) = 0.22 * 0.665 = 0.15$

## Beispiel 2: $\bar{X}$ -Chart



→ Prozess ist hinsichtlich der Mittelwerte nicht unter Kontrolle

## Beispiel 2: R-Chart

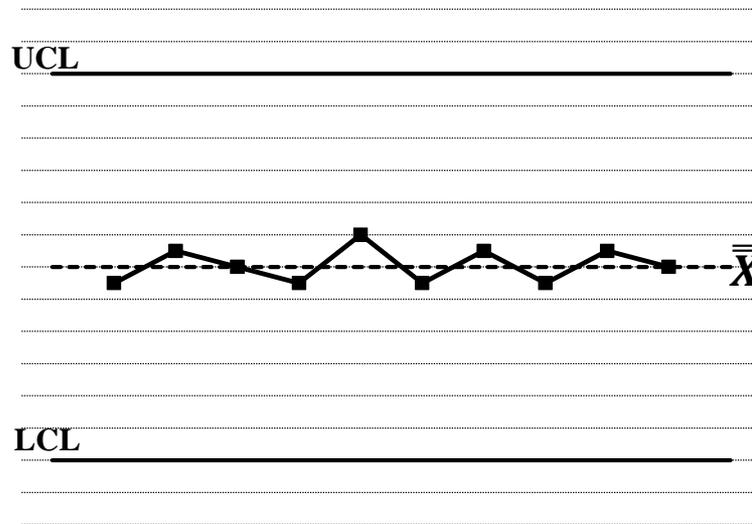


→ Prozess ist hinsichtlich der Spannweiten nicht unter Kontrolle

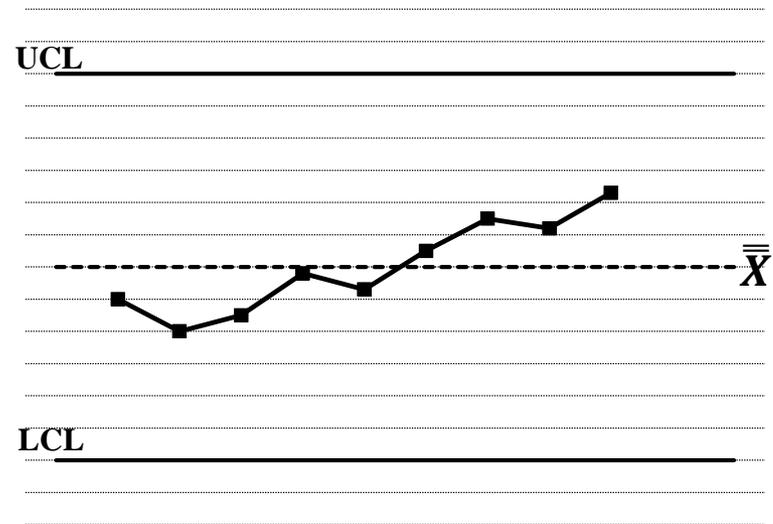


## Problematische Prozesse erkennen mit Control Charts

Prozess A)



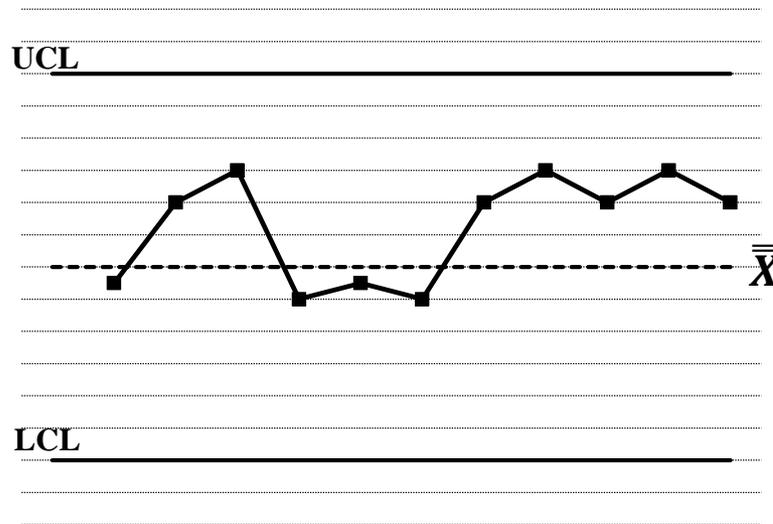
Prozess B)



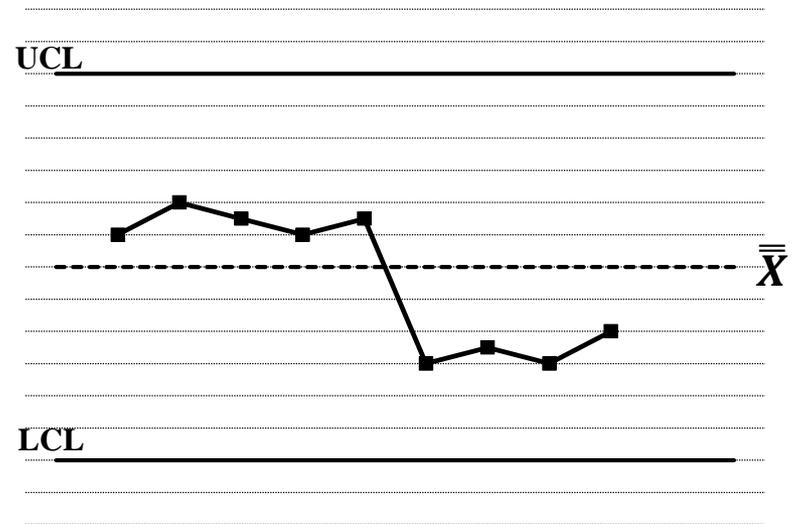


## Problematische Prozesse erkennen mit Control Charts

Prozess C)



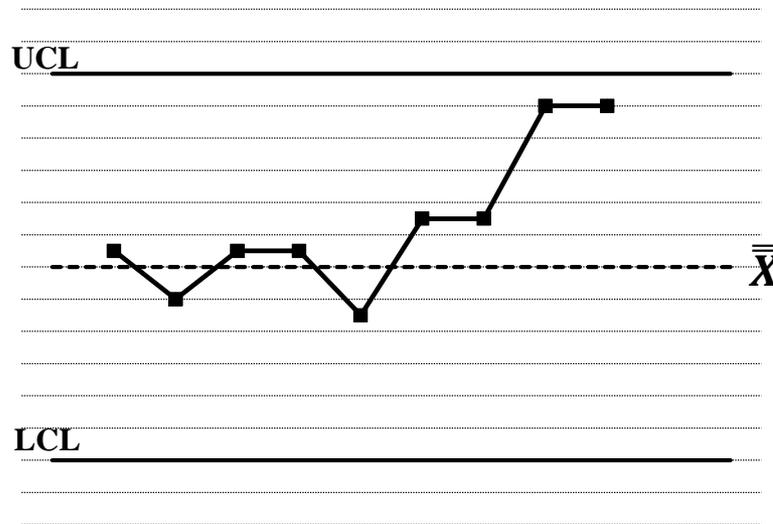
Prozess D)



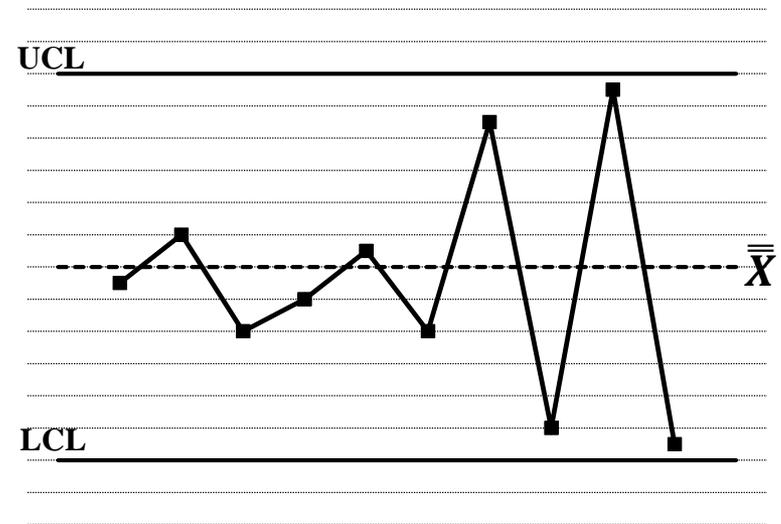


## Problematische Prozesse erkennen mit Control Charts

Prozess E)



Prozess F)





## Performancegrenzen

### Kontrollgrenzen

- dienen dazu, allgemeine und spezielle Abweichungsursachen zu identifizieren
- basieren auf tatsächlichen Prozessdaten
- werden mit Hilfe von Stichproben berechnet

### Performancegrenzen

- werden für Prozesse, die unter Kontrolle sind, ermittelt, um die zukünftige Performance vorherzusagen
- Performancegrenzen machen wenig Sinn, wenn der Prozess nicht unter Kontrolle ist



## Prozessfähigkeit (Process Capability)

### Spezifikationsgrenzen

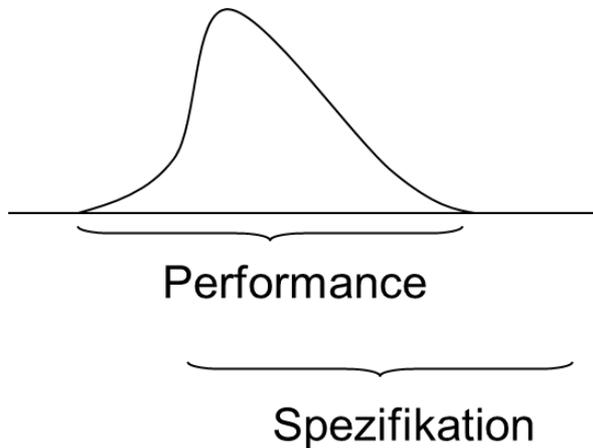
- Beschreiben wünschenswerte Toleranzbereiche
- Verkörpern die Qualitätsansprüche der Kunden

### Prozessfähigkeiten

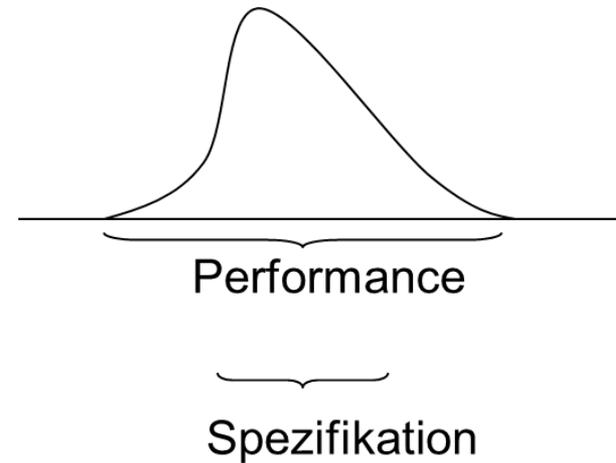
- Können nur für Prozesse, die unter Kontrolle sind, bestimmt werden. Bei Vorliegen unkontrollierter Spezialeinflüsse können die Prozessfähigkeiten nicht verlässlich prognostiziert werden.
- Ein Prozess, der unter Kontrolle ist, besitzt die Fähigkeit, innerhalb der Performancegrenzen zu bleiben.
- Aber: Auch ein Prozess, der unter Kontrolle ist, produziert unter Umständen fehlerhafte Produkte (d.h. ausserhalb der Spezifikationsgrenzen).

## Spezifikationsgrenzen vs. Performancegrenzen

**Unerwünschte Situation:**

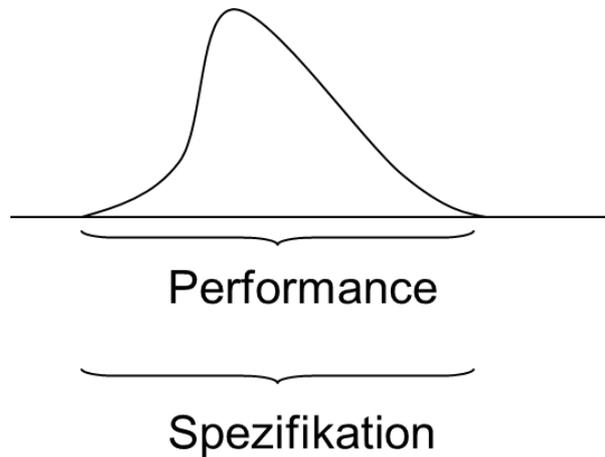


**Äusserst unerwünschte Situation:**

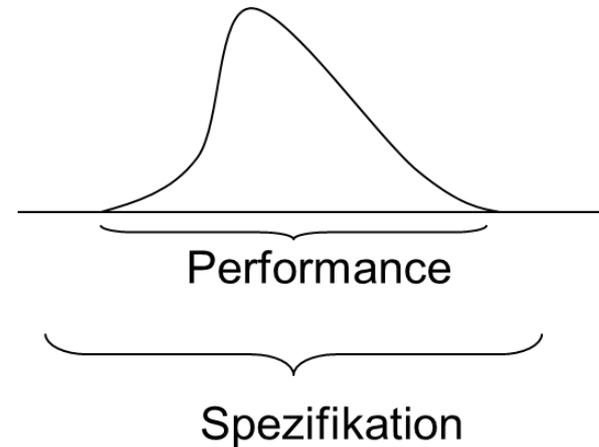


## Spezifikationsgrenzen vs. Performancegrenzen

**Verwundbare Situation:**



**Äusserst erstrebenswerte Situation:**





## Process Capability Index (Fähigkeitsindex)

$$C_P = \frac{\text{Zulässige Spannweite}}{\text{Tatsächliche Spannweite}}$$

bzw.

$$C_P = \frac{\text{Obere Spezifikationsgrenze} - \text{Untere Spezifikationsgrenze}}{6 * \sigma}$$

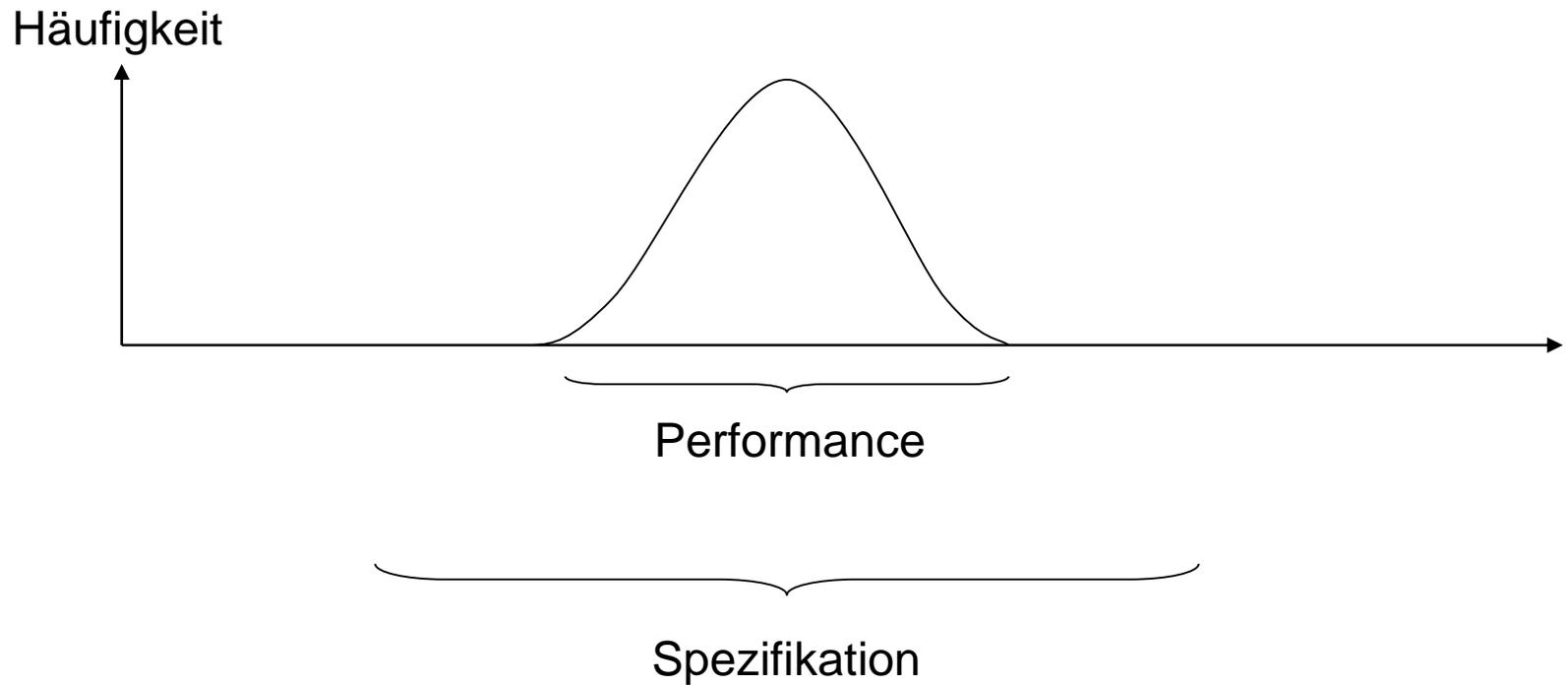
Prozess ist fähig (capable), falls  $C_P \geq 1$

Manche Unternehmen setzen  $C_P = 1.33$

Motorola in den 80er Jahren:  $C_P = 2$

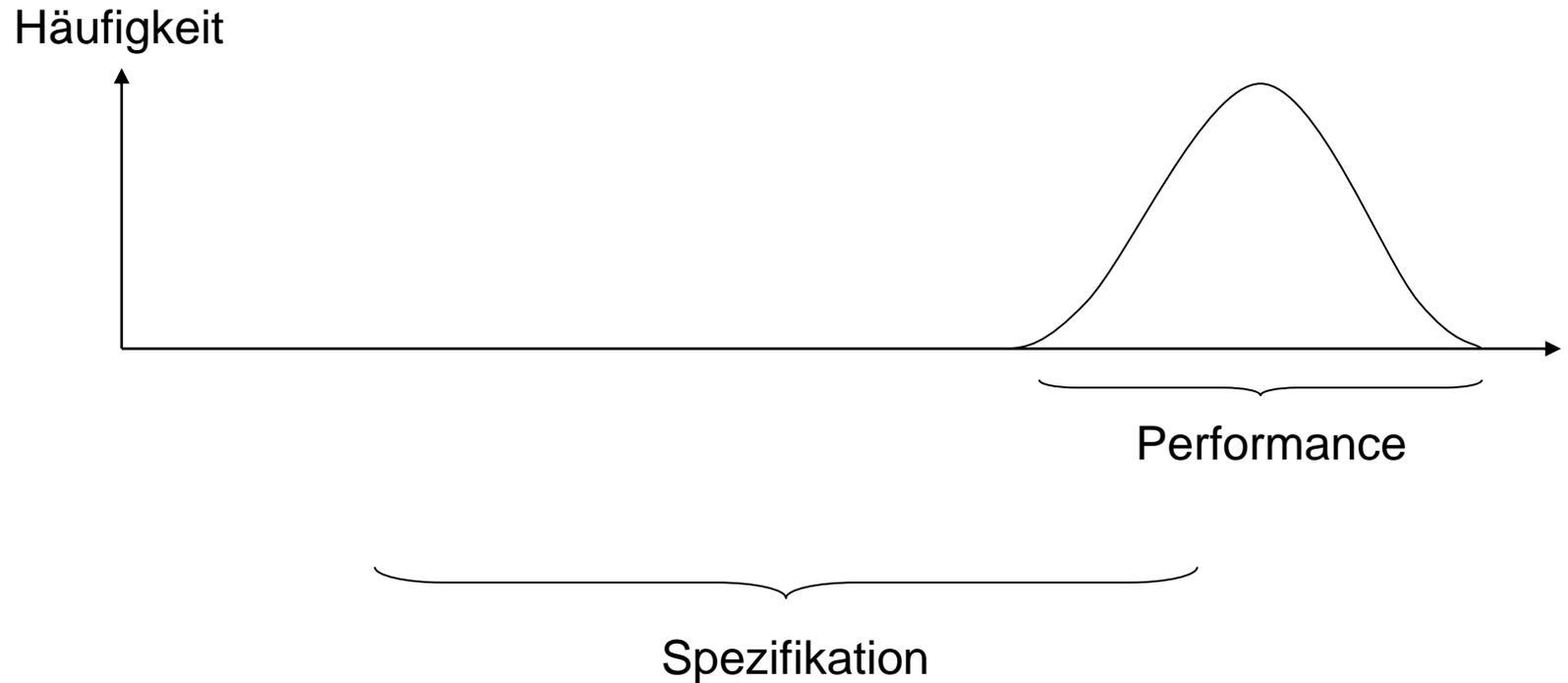


## Idealzustand: $C_p > 1$





## Schlecht, aber lösbar: $C_p > 1$





## Nicht lösbar: $C_p \ll 1$

