



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

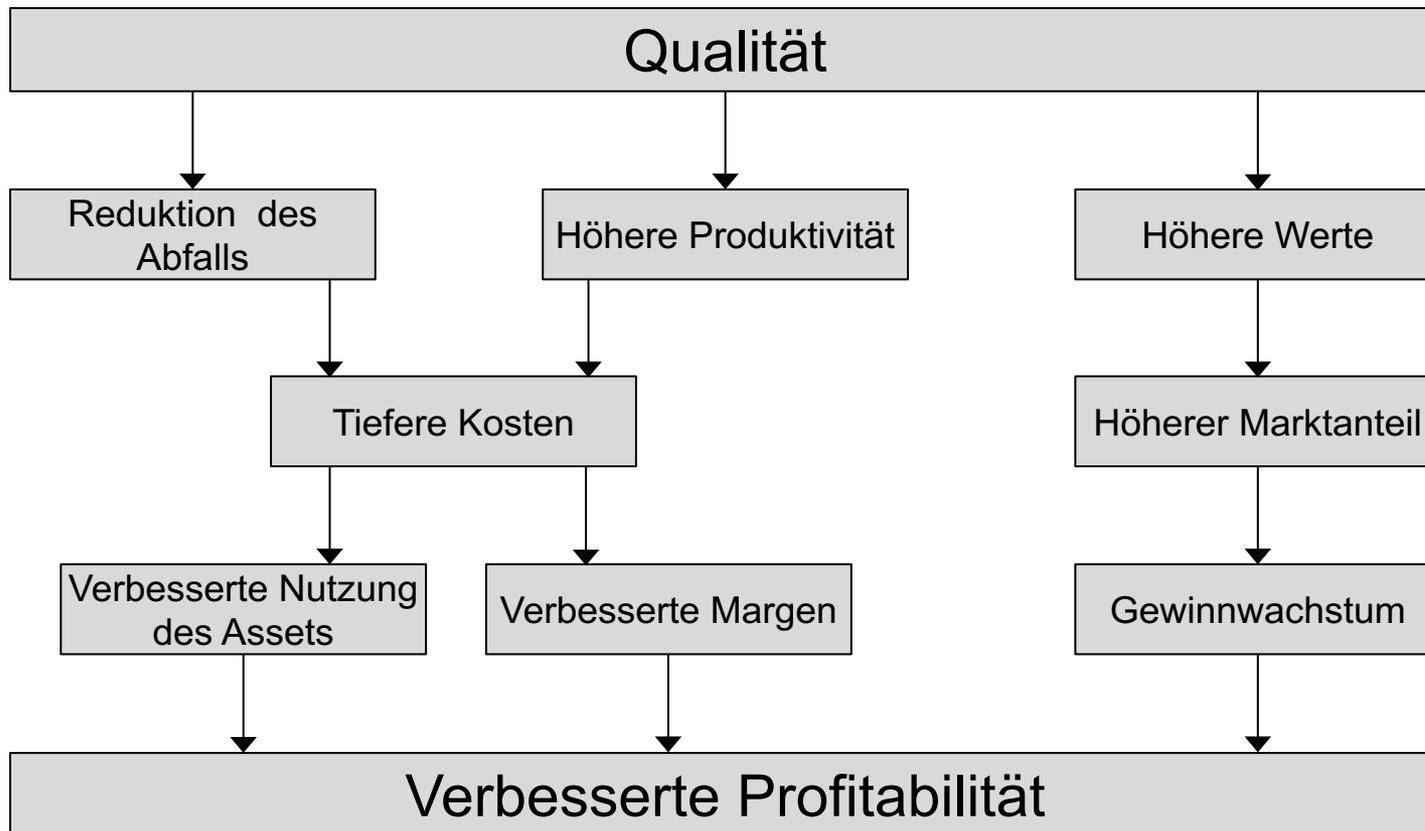


## Qualität entsteht durch

- 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

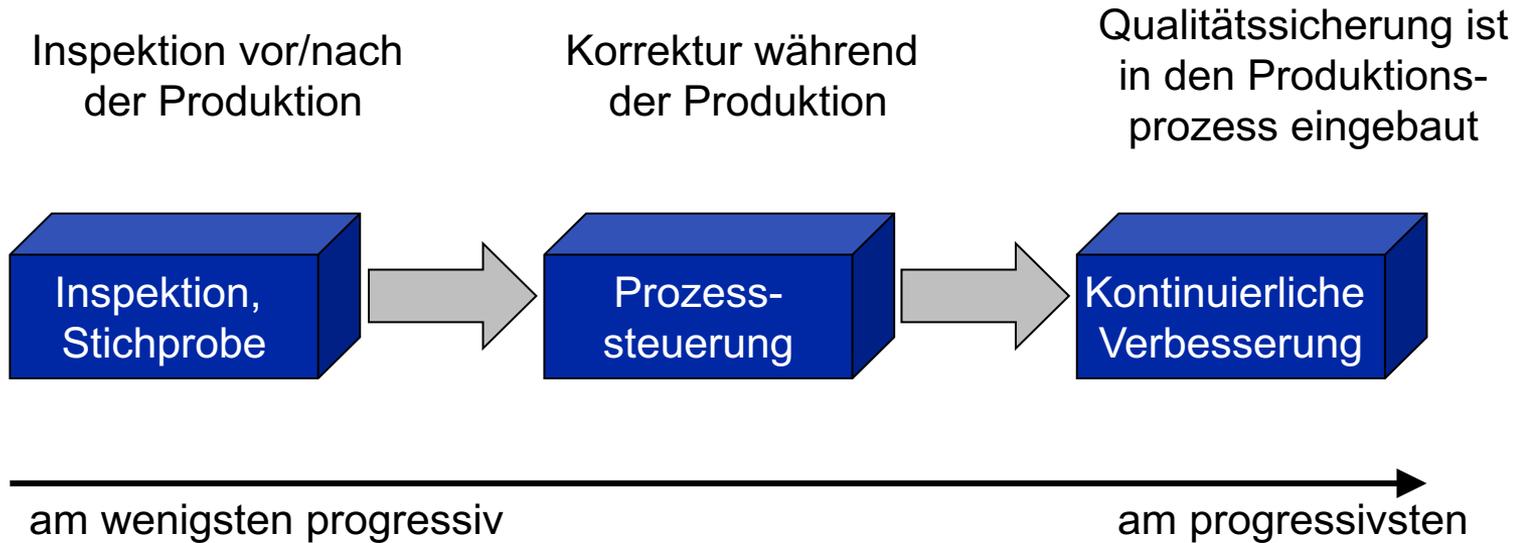
- Kontrollkosten
- Inspektionskosten
- Fehlerdiagnose

### Marktvorteile

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



# Qualitätssicherung





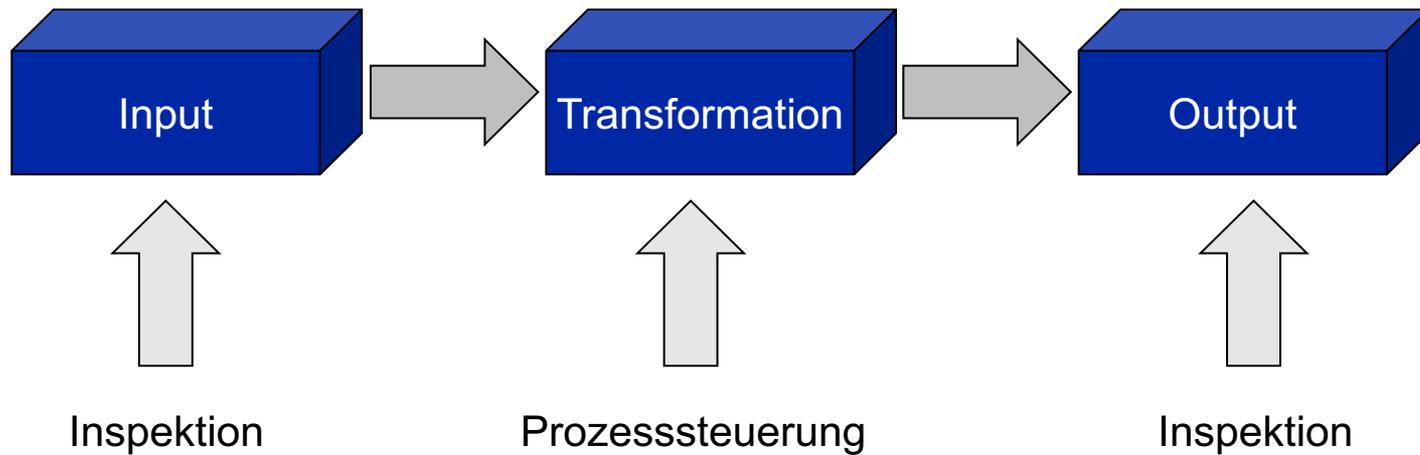
## **Ziele des Qualitätsmanagements**

- 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.

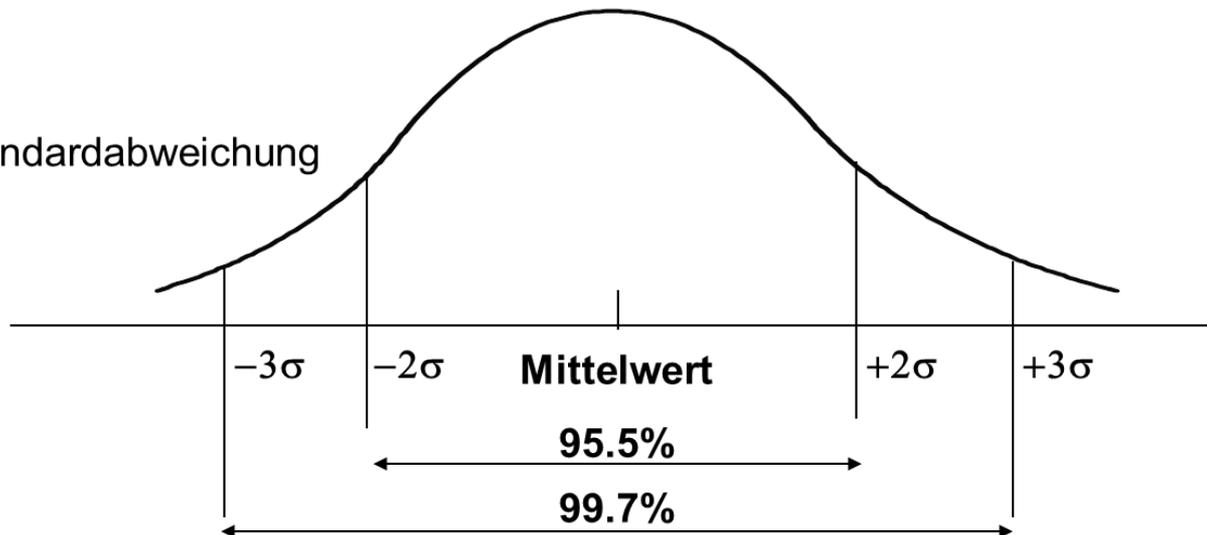




# Verteilungsannahmen

## 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 wird angenommen	Grundgesamtheit wird zurückgewiesen
Grundgesamtheit ist «gut»	o.k.	Produzentenrisiko $\alpha$ bzw. Typ 1 Fehler
Grundgesamtheit ist «schlecht»	Konsumentenrisiko $\beta$ 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

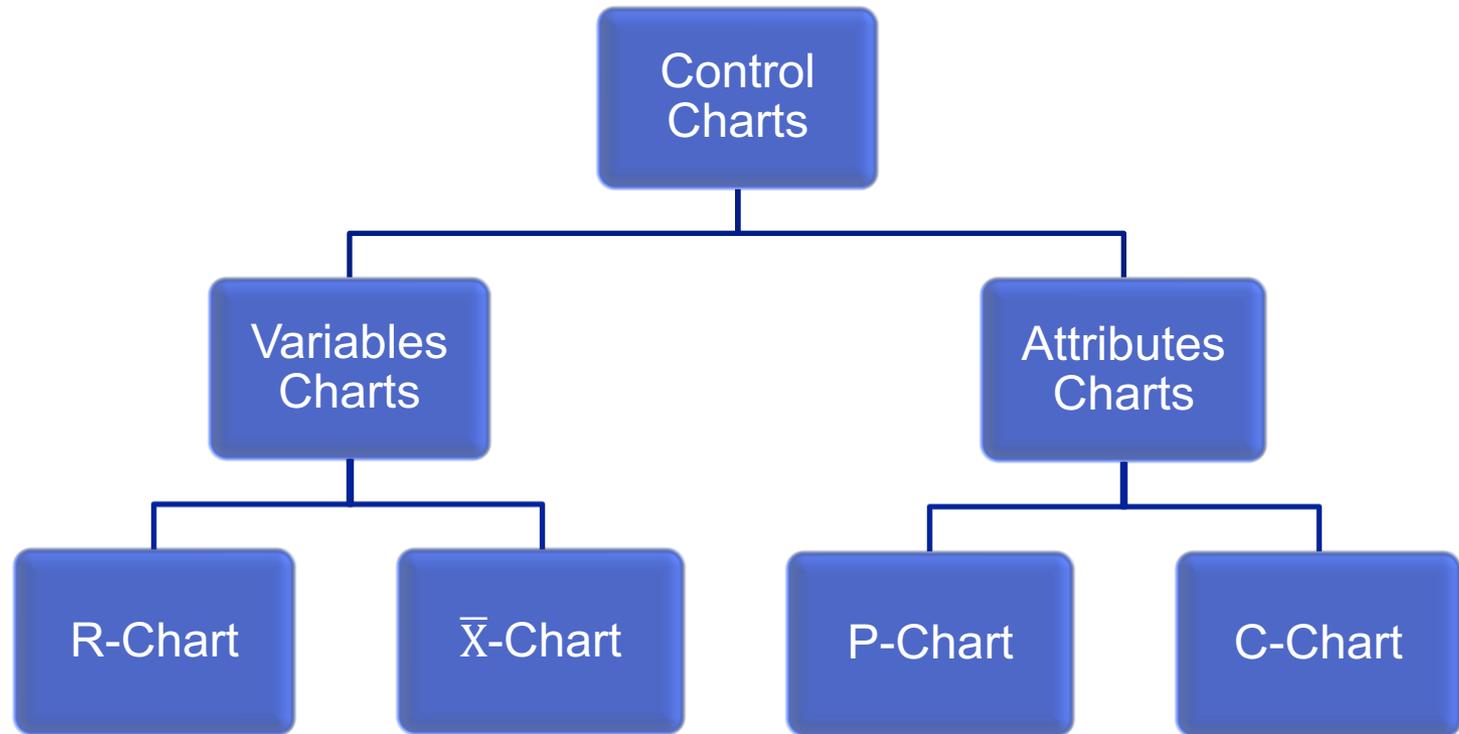


## Möglichkeit 2: Prozesssteuerung (3/3)

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

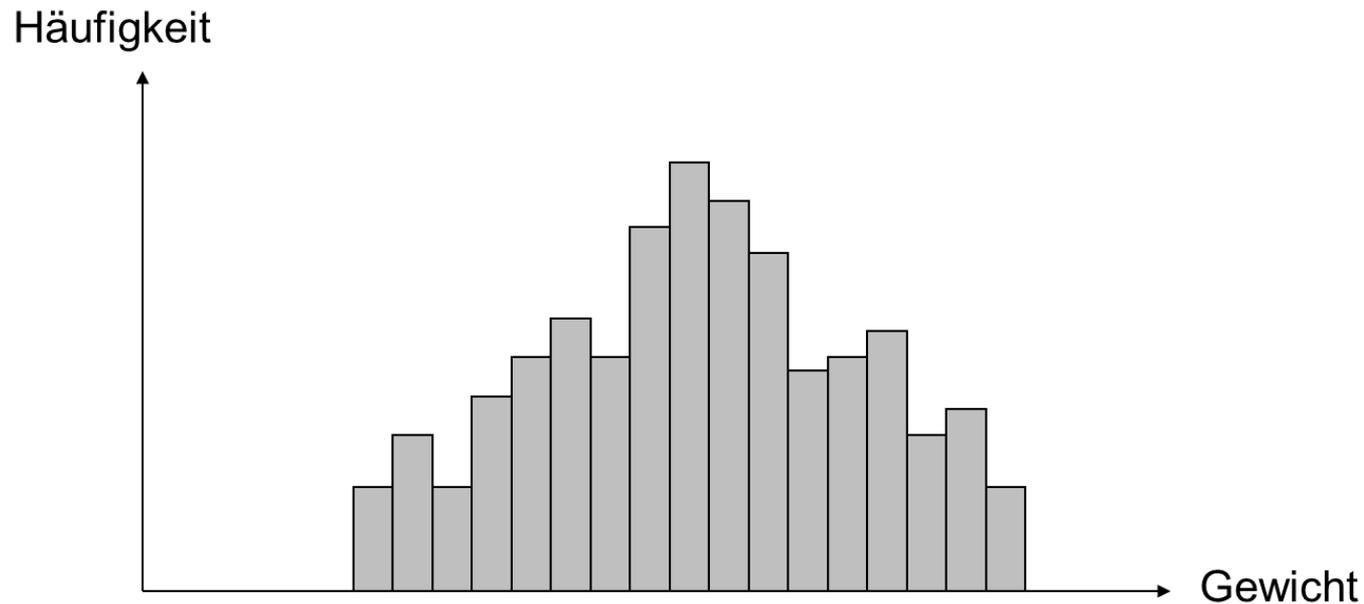


# Control Charts im Überblick





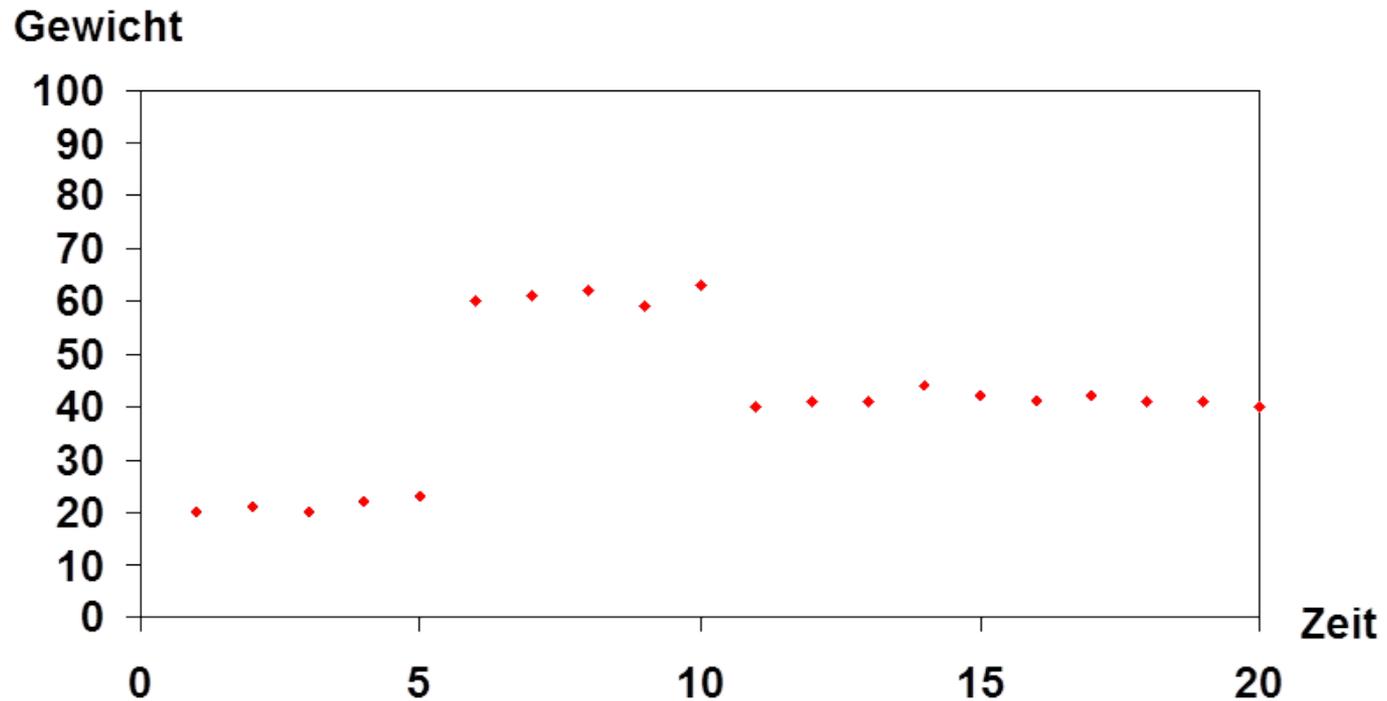
## Beispiel: Gewichtskontrolle



Problem: Histogramme können die Qualitätsabweichungen nicht im Zeitablauf darstellen



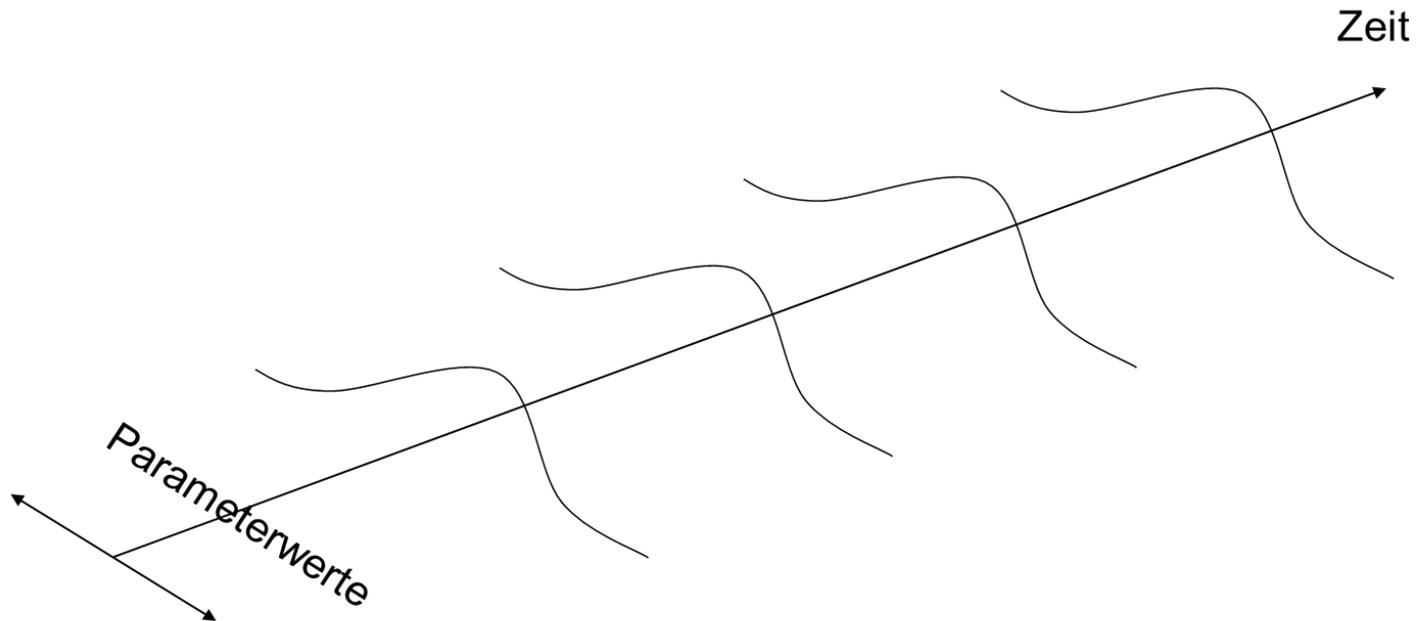
## Beispiel: Gewichtskontrolle





## Das Konzept statistischer Kontrolle

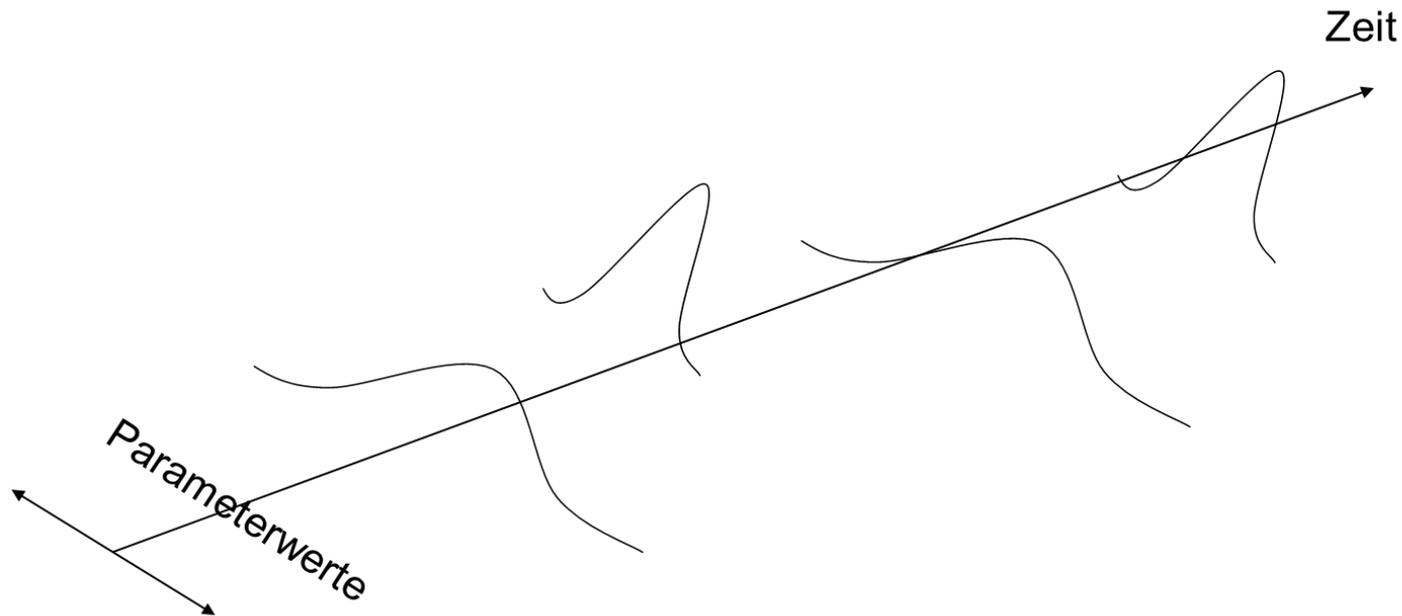
Dieser Prozess ist unter statistische Kontrolle, da die Parameterverteilung im Zeitablauf **konstant** bleibt.





## Das Konzept statistischer Kontrolle

Dieser Prozess ist **nicht** unter statistische 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

$\bar{X}$  = 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 cm
- Tabelle enthält Daten der letzten 5 Stichproben (Stichprobenumfang = 4)
- Ist der Prozess unter Kontrolle?

Stichprobe	1	2	3	4	Stichproben- mittel	Stichproben- 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

- $\bar{R} = \frac{0,28+0,22+0,19+0,22+0,12}{5} = 0,206$
- 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

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

→ Prozess ist hinsichtlich der Mittelwerte nicht unter Kontrolle



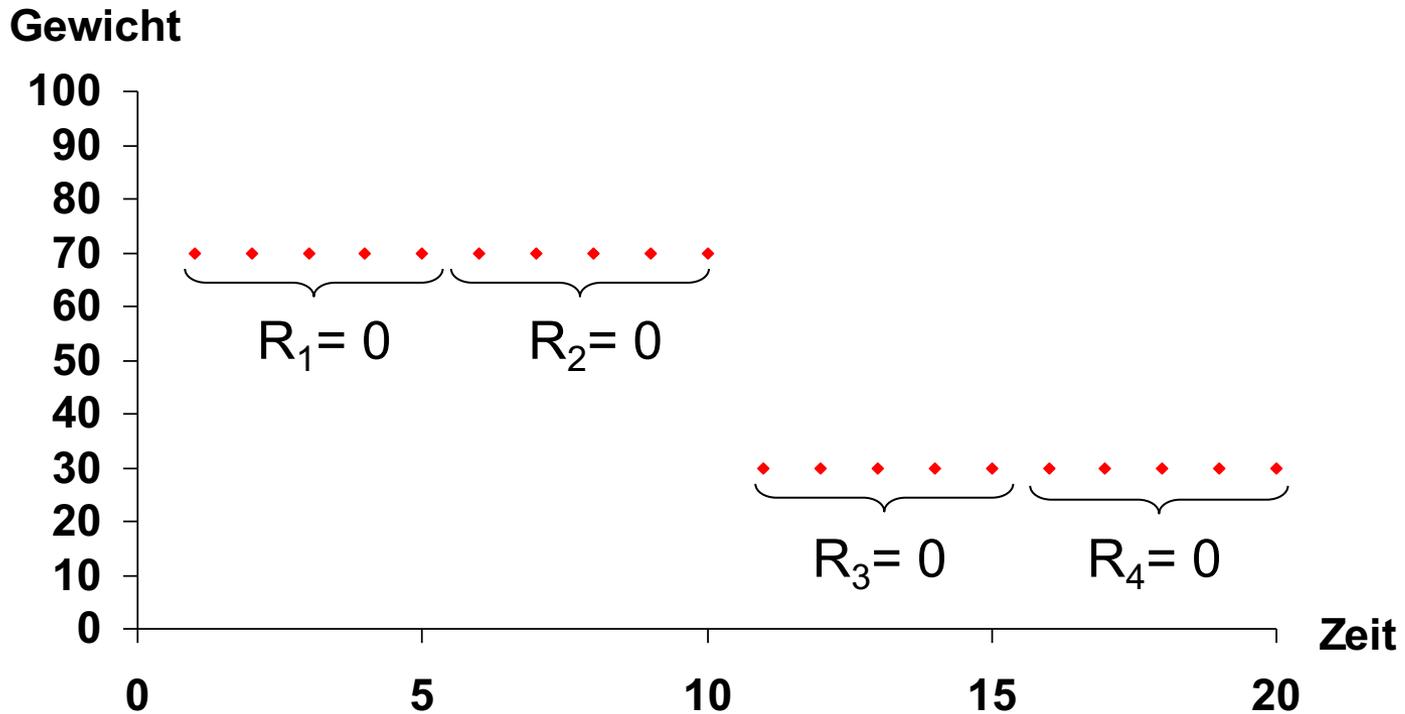
## Beispiel 2

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

→ Prozess ist hinsichtlich der Spannweiten nicht unter Kontrolle

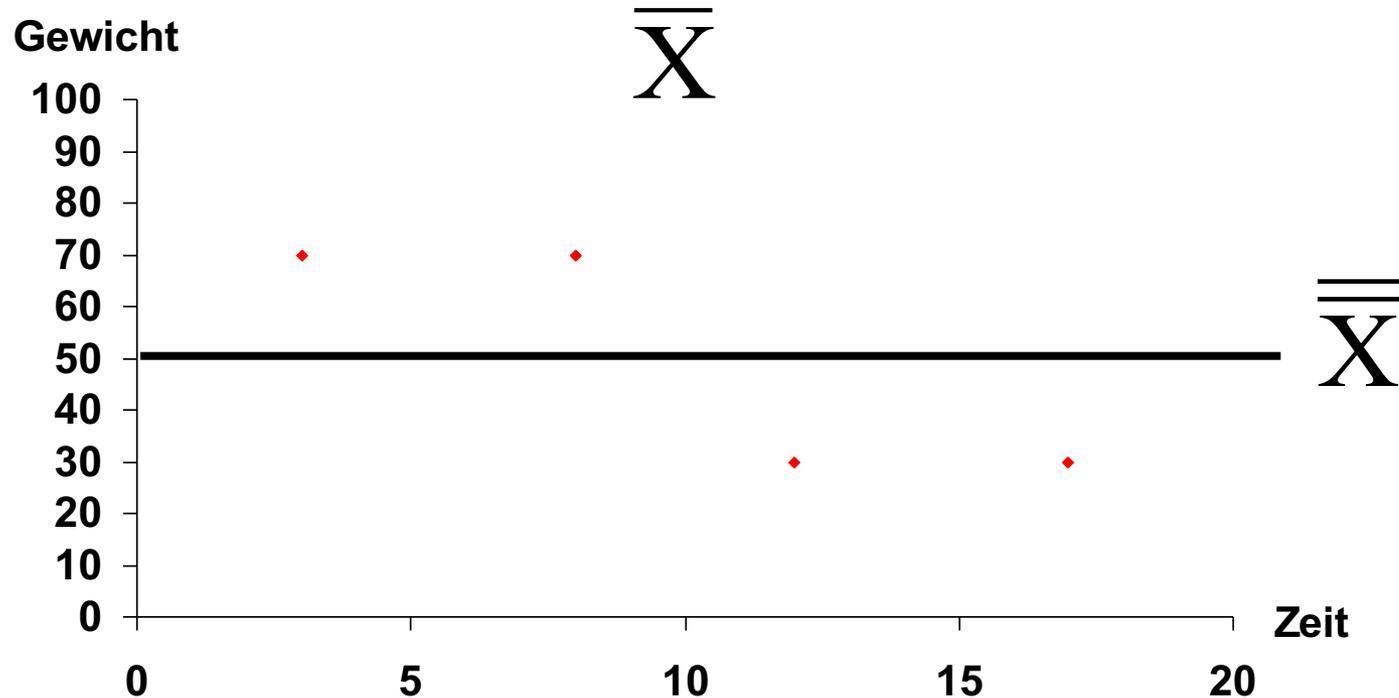


## Warum Control Charts funktionieren





## Warum Control Charts funktionieren



→ Prozess besteht den Test nicht! (Beachte:  $\bar{R} = 0$ )



## 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

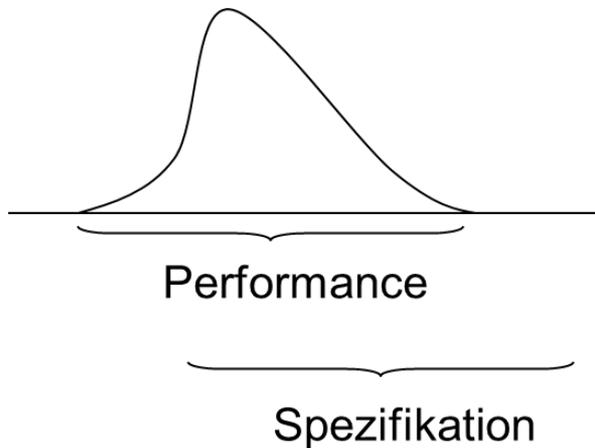
- Beschreiben wünschenswerte Toleranzbereiche
- Verkörpern die Qualitätsansprüche der Kunden

### Prozessfähigkeiten

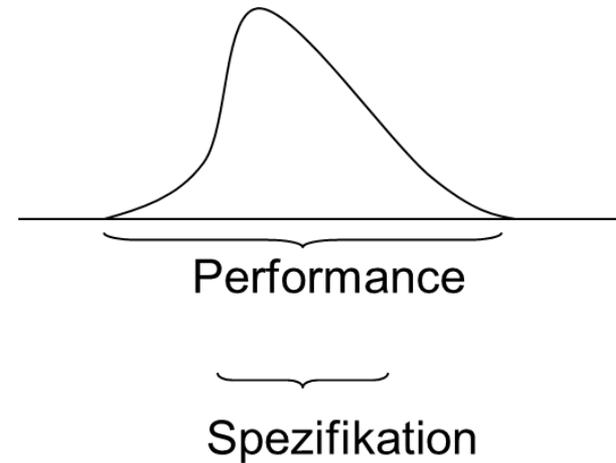
- Können nur für Prozesse, die unter Kontrolle sind, bestimmt werden. Bei Vorliegen unkontrollierter Spezialeinflüsse können die Prozessfähigkeiten nicht verlässlich prognostiziert werden.
- Ein Prozess, der unter Kontrolle ist, besitzt die Fähigkeit, innerhalb der Performancegrenzen zu bleiben.
- Aber: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

## Spezifikationsgrenzen vs. Performancegrenzen

**Unerwünschte Situation:**

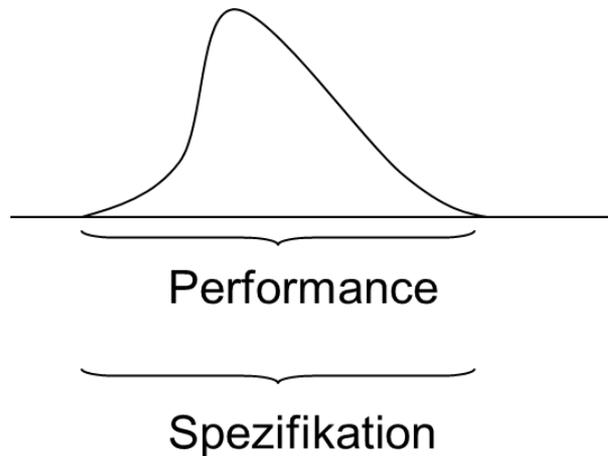


**Äusserst unerwünschte Situation:**

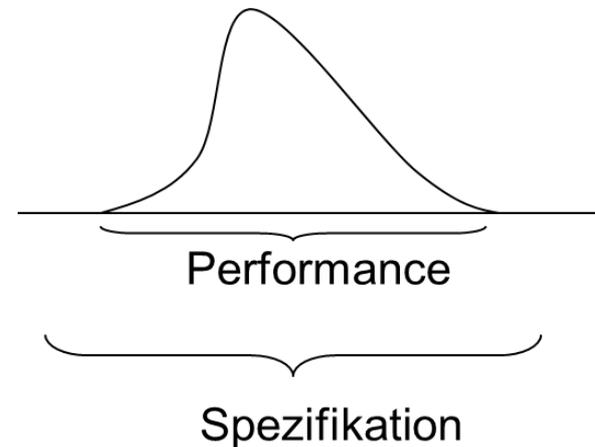


## Spezifikationsgrenzen vs. Performancegrenzen

Verwundbare Situation:



Äusserst erstrebenswerte Situation:





## Process Capability Index (Fähigkeitsindex)

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

bzw.

$$C_P = \frac{\textit{Obere Spezifikationsgrenze} - \textit{untere Spezifikationsgrenze}}{6 * \sigma}$$

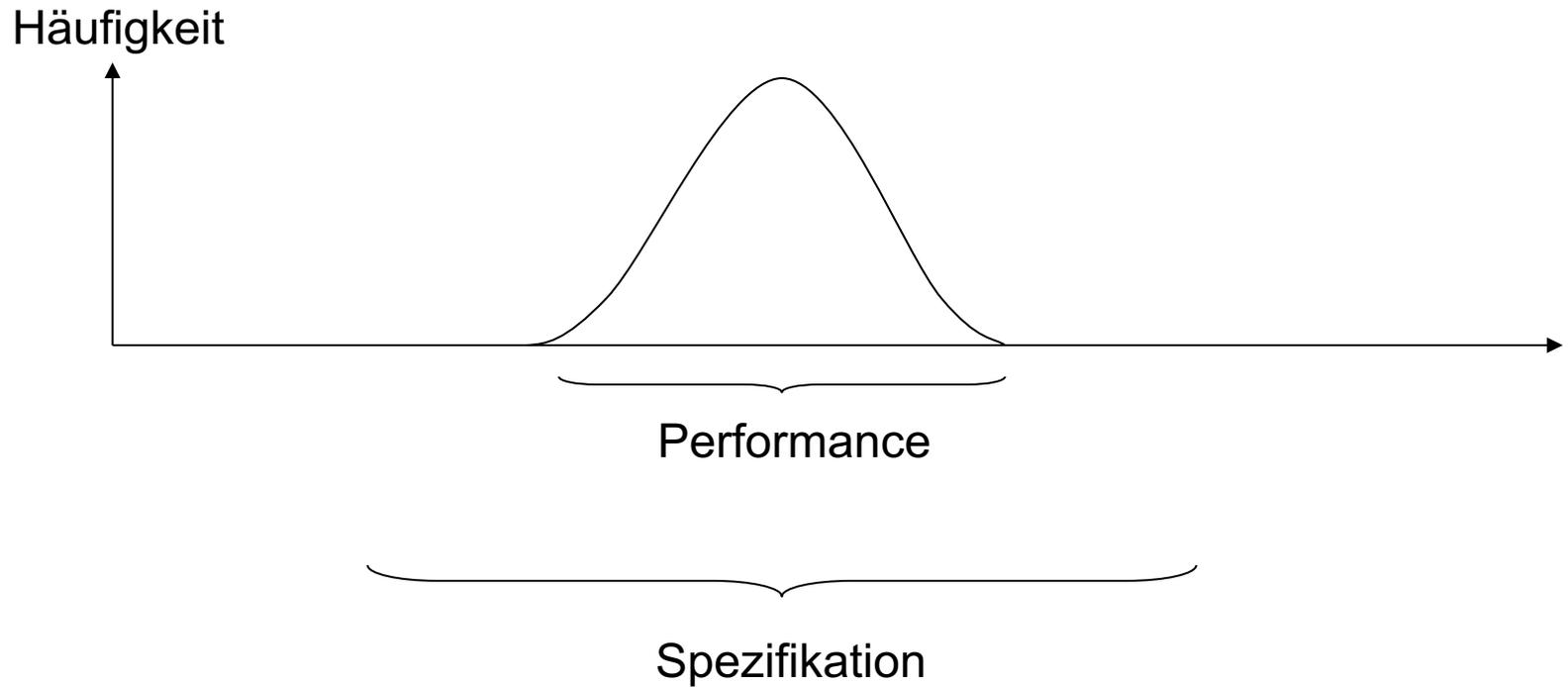
Prozess ist fähig (capable), falls  $C_P \geq 1$

Manche Unternehmen setzen  $C_P = 1,33$

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

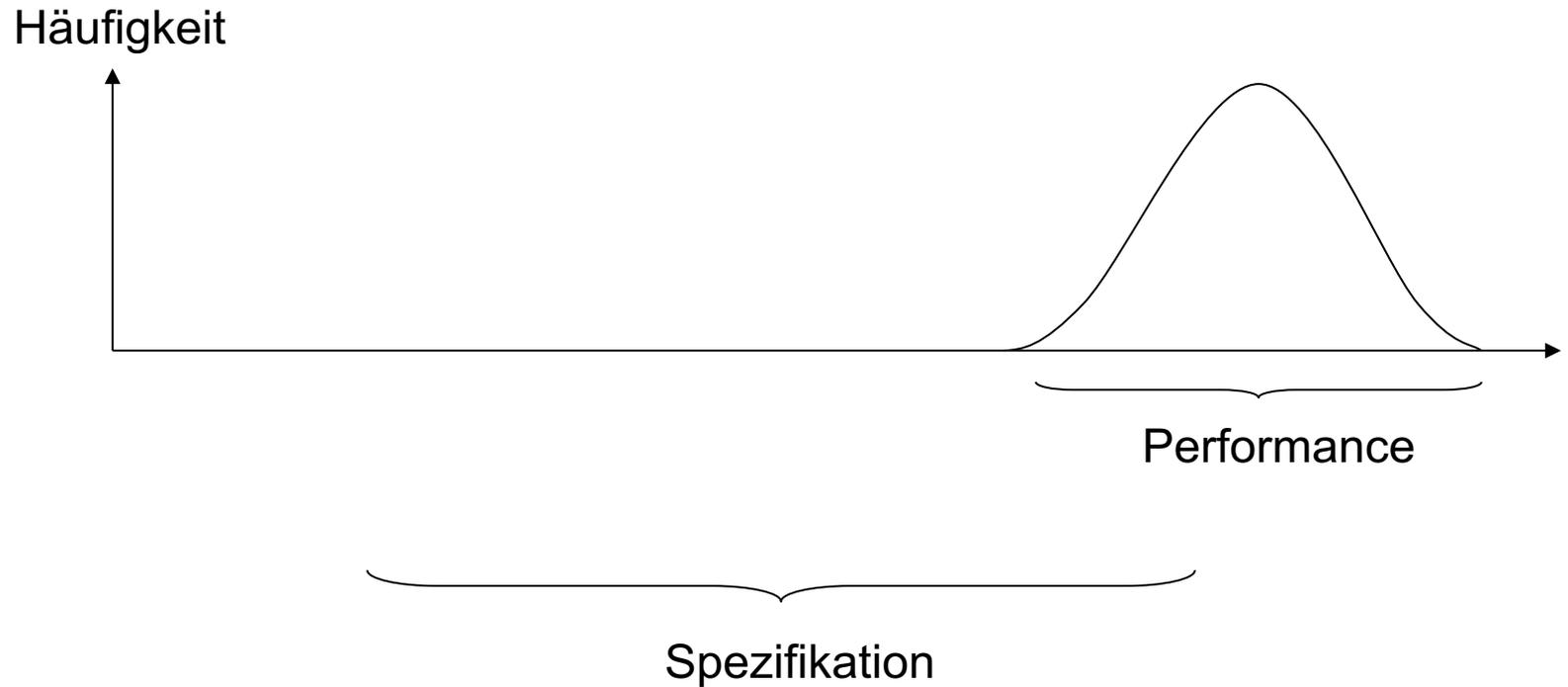


## Idealzustand: $C_p > 1$





## Schlecht, aber lösbar: $C_p > 1$





## Nicht lösbar: $C_p \ll 1$

