



---

# SPC - STATISTICAL PROCESS CONTROL

# Historie von Statistical Process Control (SPC)

- Entwickelt wurden die ersten Regelkarten von W. A. Shewart Anfang der 30er Jahre
- Ziel war es Herstellungsprozesse zu optimieren und Vorhersagen über die Produktionsergebnisse zu ermöglichen
- 30 Jahre später bekamen die Ideen von SPC allgemeine Anerkennung
- Durch Dr. W. Edwards Deming wurden die Regelkarten verstärkt angewandt
- In den 80er Jahren bekamen die Regelkarten einen Boom, der über die Forderungen der Automobilindustrie ausgelöst wurde
- Die Verbesserung der Computersysteme schafften den eigentlichen Durchbruch von SPC

**Statistical** aus Erfahrungen auf empirische Gesetzmäßigkeiten schließen

**Process** gleich- und regelmäßig sich wiederkehrender Ablauf

**Control** überwachen, regeln, steuern



# Variation von Prozessen

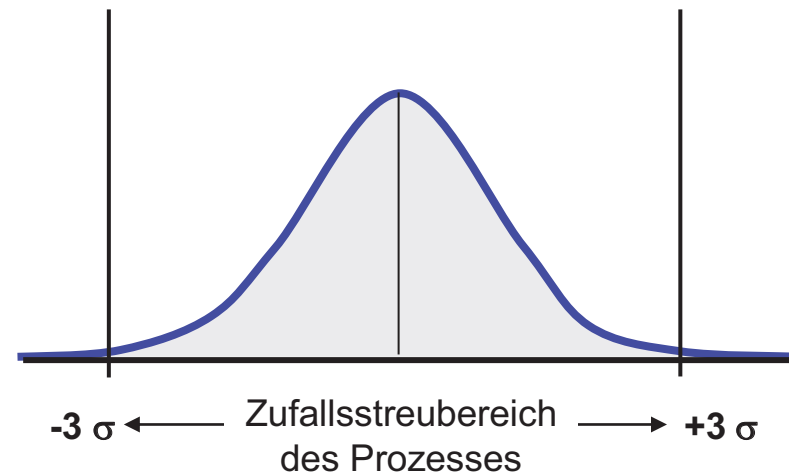


## natürliche Prozessvariation

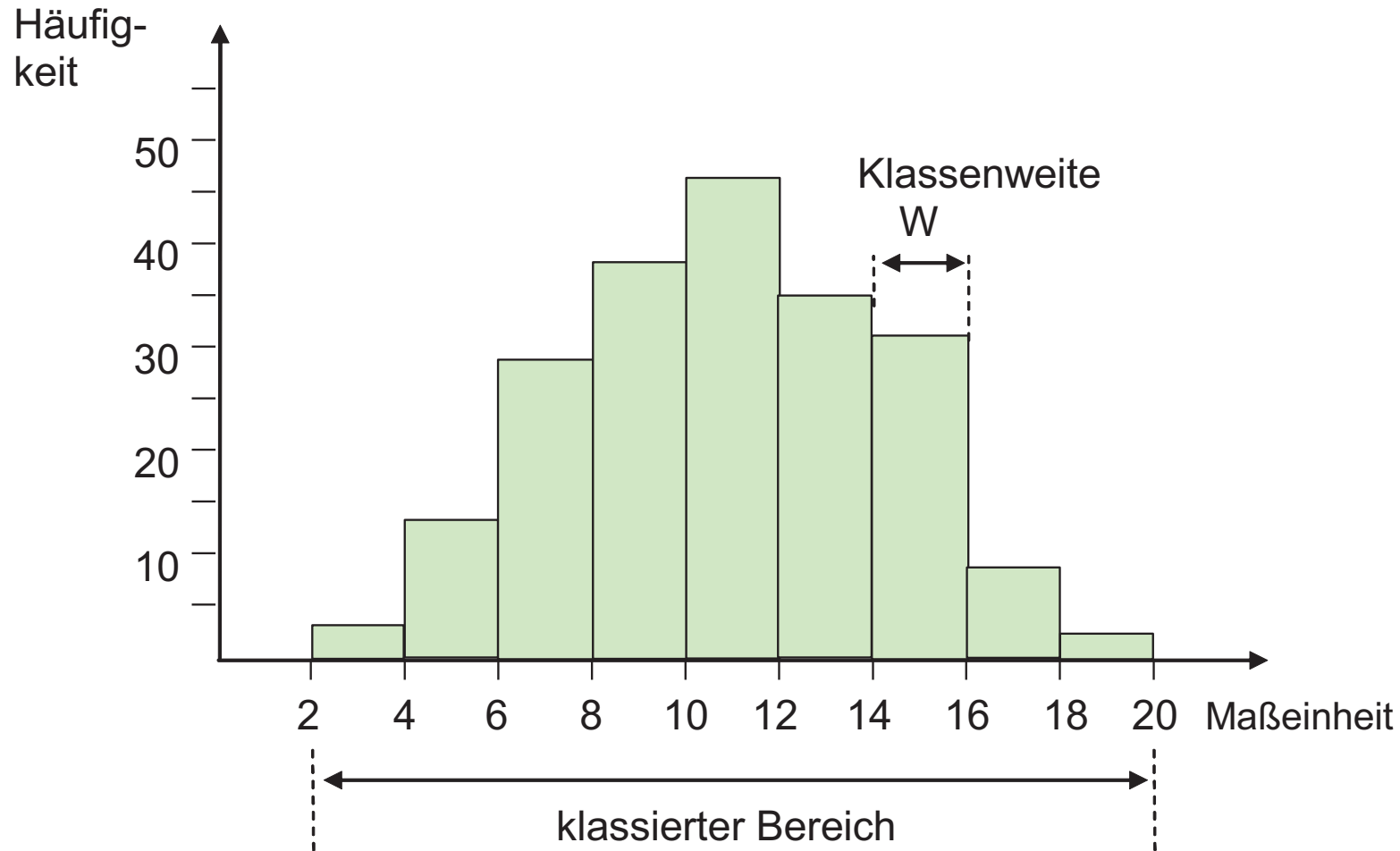
- Kein Prozess ist – selbst bei konstanten Bedingungen – in der Lage, immer das gleiche Ergebnis zu liefern. Mit anderen Worten: Prozesse zeigen Variation, sie schwanken in einer gewissen Streubreite um einen Mittelwert.
- Diese Art von Variation nennt man **natürliche** oder **zufällige Variation**. Sie ist durch **allgemeine Ursachen** bedingt.

## nicht-natürliche Prozessvariation

- Viele Prozesse zeigen (neben der natürlichen Variation) eine zusätzliche, unnatürliche Variation, die i.d.R. auf sprunghafte oder schleichende Veränderung von Einflussgrößen zurückzuführen sind.
- Diese Art von Variation nennt man **nicht-natürliche** oder **nicht-zufällige Variation**. Sie ist durch **spezielle Ursachen** bedingt, wie z.B. Einfluss von Schicht, Charge, Verschleiß, Saison oder Variation der Prozessinputs.



# Die Prozessstreuung mit einem Histogramm darstellen



# Vorgehensweise für die Erstellung eines Histogramms



- Stichprobenumfang  $n$  ermitteln
- Spannweite  $R$  der Stichprobe ermitteln  
→  $R = \text{größter Wert} - \text{kleinster Wert}$
- Spannweite  $R$  in  $k$  Klassen einteilen (gemäß Tabelle)

$n$	Anzahl Klassen $k$
$< 50$	5 - 7
50 - 100	6 - 10
100 - 250	7 - 12
$> 250$	max 20

- Klassenweite  $w$  bestimmen mit  $w = R/k$  und auf ein sinnvolles Maß auf- oder abrunden
- Klassengrenzen bestimmen, dabei die Rundungsgrenzen beachten
- Strichliste erstellen
- Histogramm erstellen

Für diese Schritte wird man für gewöhnlich einen PC verwenden. Mit einer Tabellenkalkulation ist bereits ein rationelles Arbeiten möglich



## Beispiel:

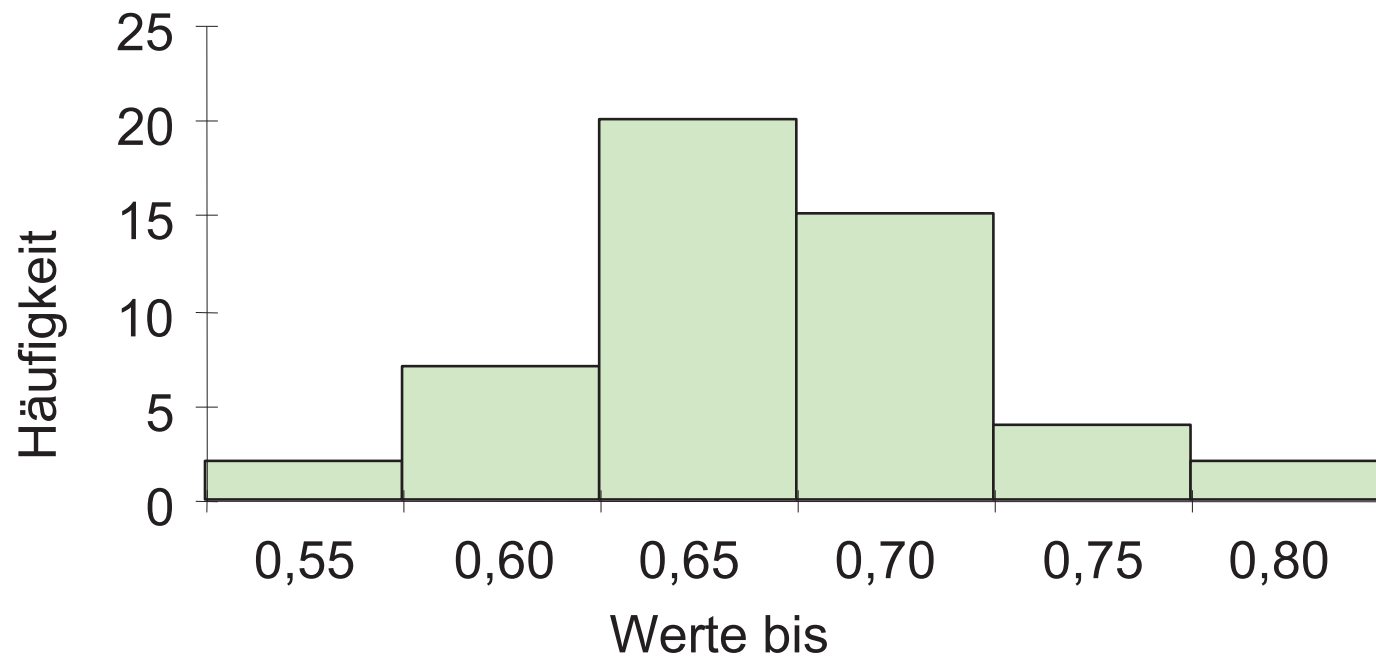


Prozess: Gussteil 340-ZA  
Merkmal: Wanddicke in mm

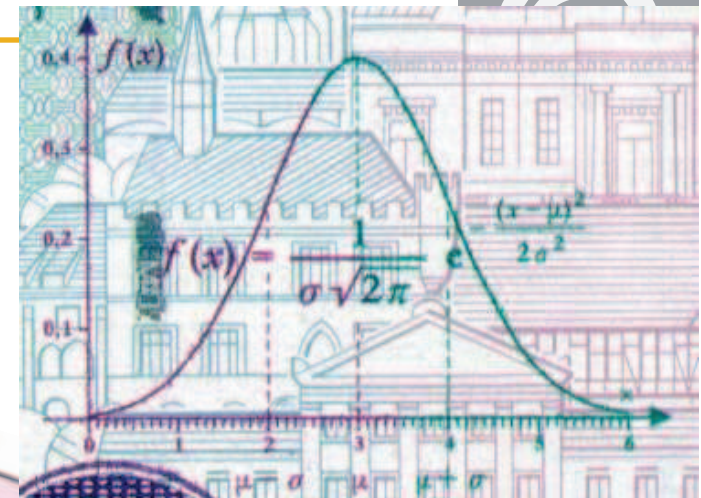
1	0,64	0,59	0,71	0,61	0,60
2	0,70	0,67	0,65	0,66	0,67
3	0,65	0,61	0,65	0,69	0,55
4	0,56	0,75	0,62	0,60	0,77
5	0,66	0,65	0,57	0,69	0,65
6	0,66	0,67	0,69	0,71	0,71
7	0,69	0,63	0,65	0,63	0,62
8	0,67	0,63	0,67	0,63	0,63
9	0,57	0,64	0,67	0,64	0,54
10	0,64	0,67	0,59	0,76	0,63

- $n = 50$
- $R = x_{\max} - x_{\min} = 0,77 - 0,54 = 0,23$
- Anzahl der Klassen  $k = 6$ 
  - Klassenbreite  $w = R/k = 0,23 / 6 = 0,038$
  - Festlegung  $w = 0,05$

# Histogramm

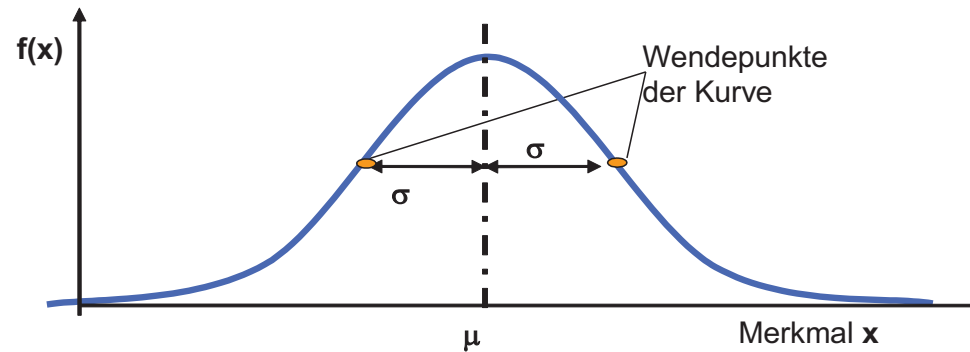


# Die Gaußsche Normalverteilung





# Wahrscheinlichkeitsfunktion der Normalverteilung



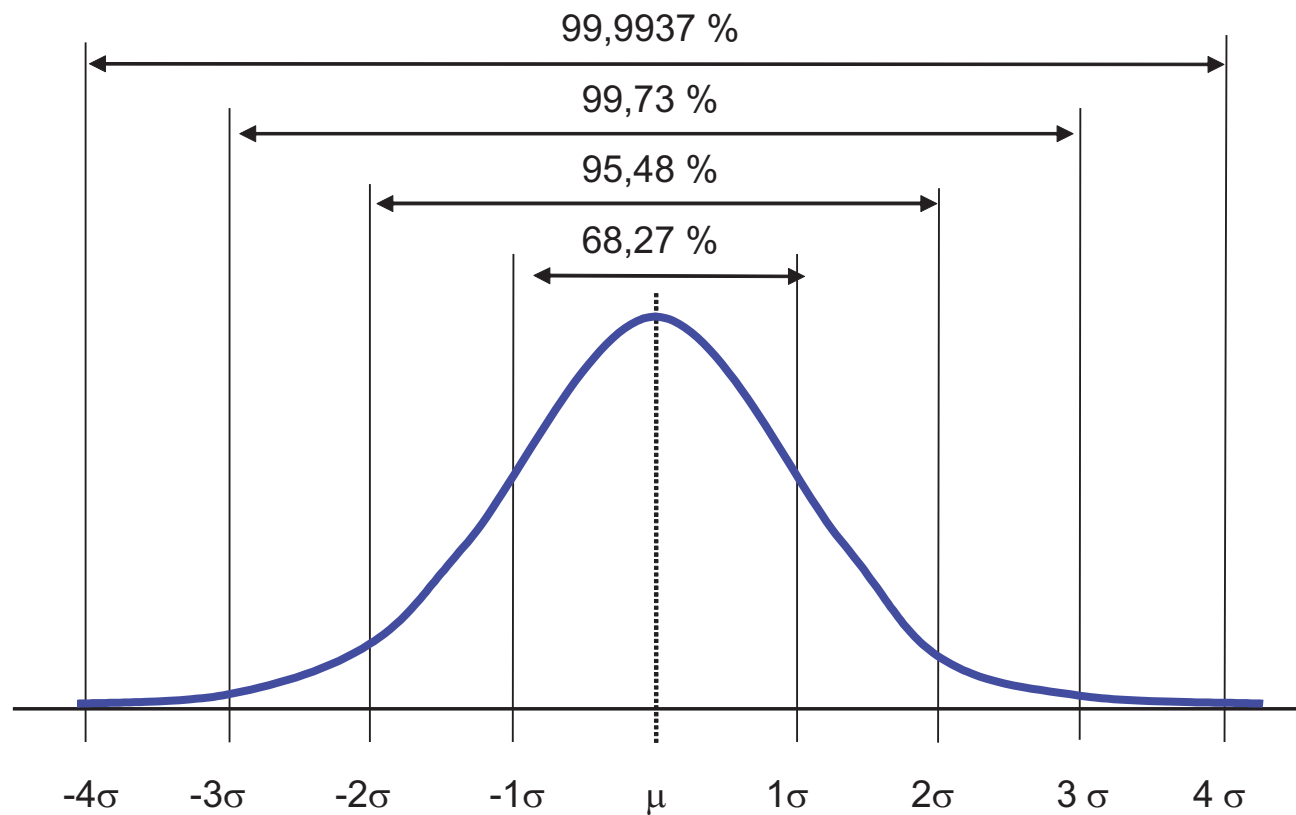
Die Wahrscheinlichkeitsfunktion  $f(x)$  wird durch zwei Parameter beschrieben

- für die Lage (mü) Mittelwert  $\mu$
- für die Streuung Standardabweichung  $\sigma$  (Sigma)

Wahrscheinlichkeitsfunktion  
der Normalverteilung

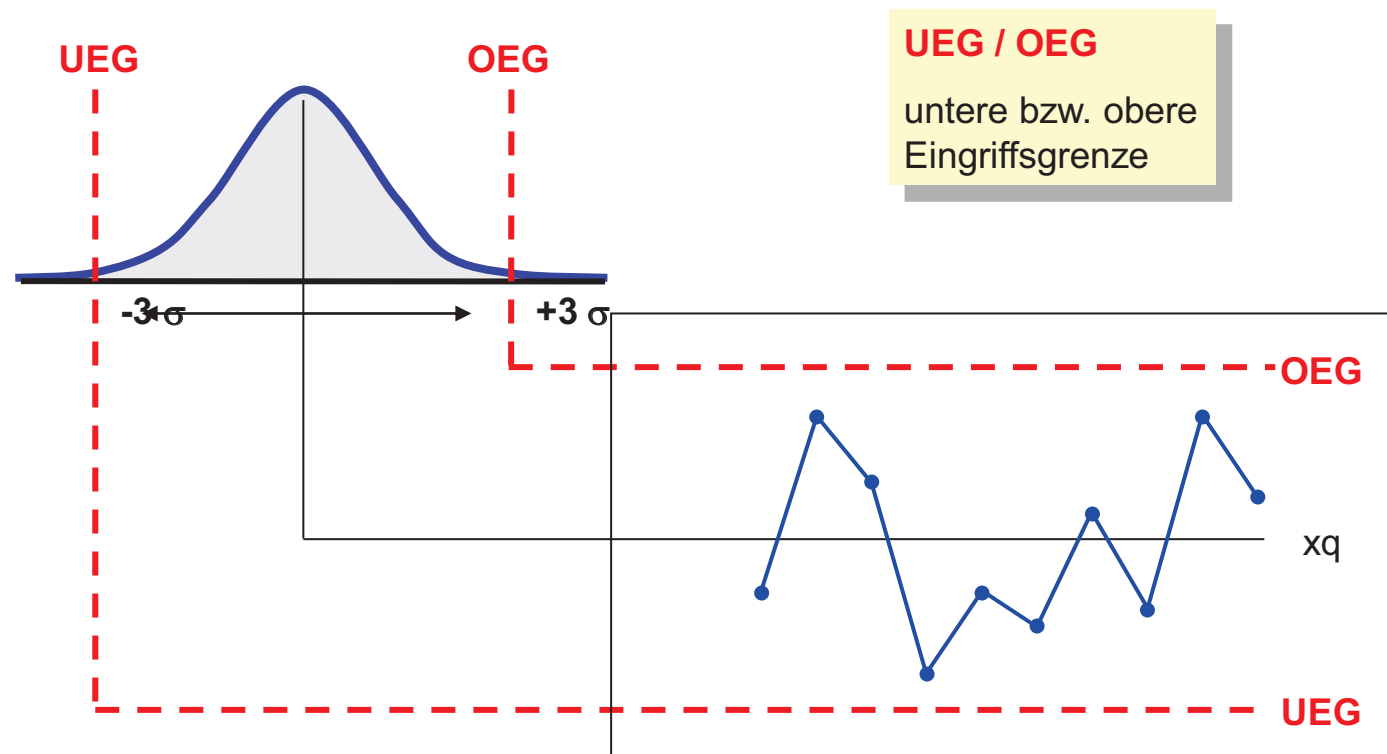
$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

# Wahrscheinlichkeiten im Modell der Normalverteilung

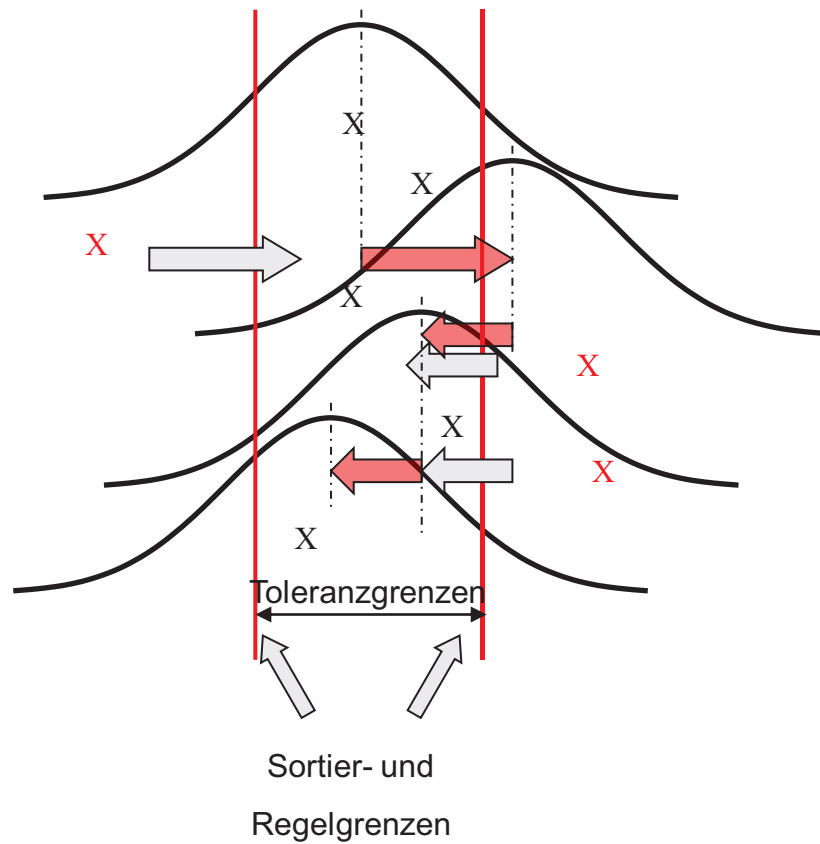




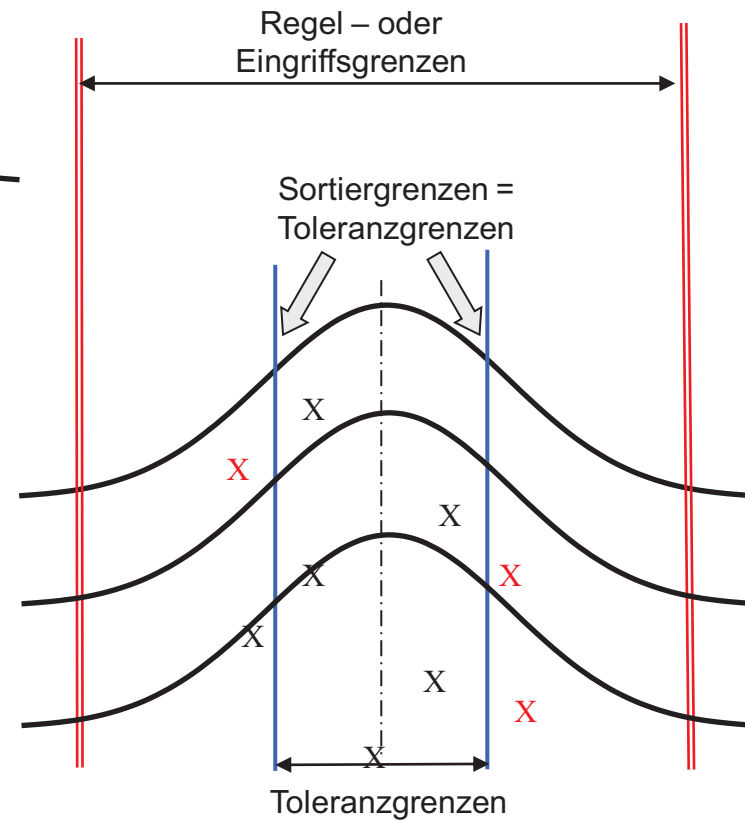
- Regelkarten erlauben die Identifizierung **unnatürlicher, nicht-zufälliger Muster** und bieten damit Gelegenheiten zur Prozessverbesserung.
- Der  **$\pm 3$  Sigma-Bereich (Zufallsstreibereich, natürliche Schwankungsbreite)** der jeweils gemessenen Input- oder Output-Variablen definiert die **obere** resp. die **untere Eingriffsgrenze** einer Regelkarte.



# Prozessregelung mit SPC

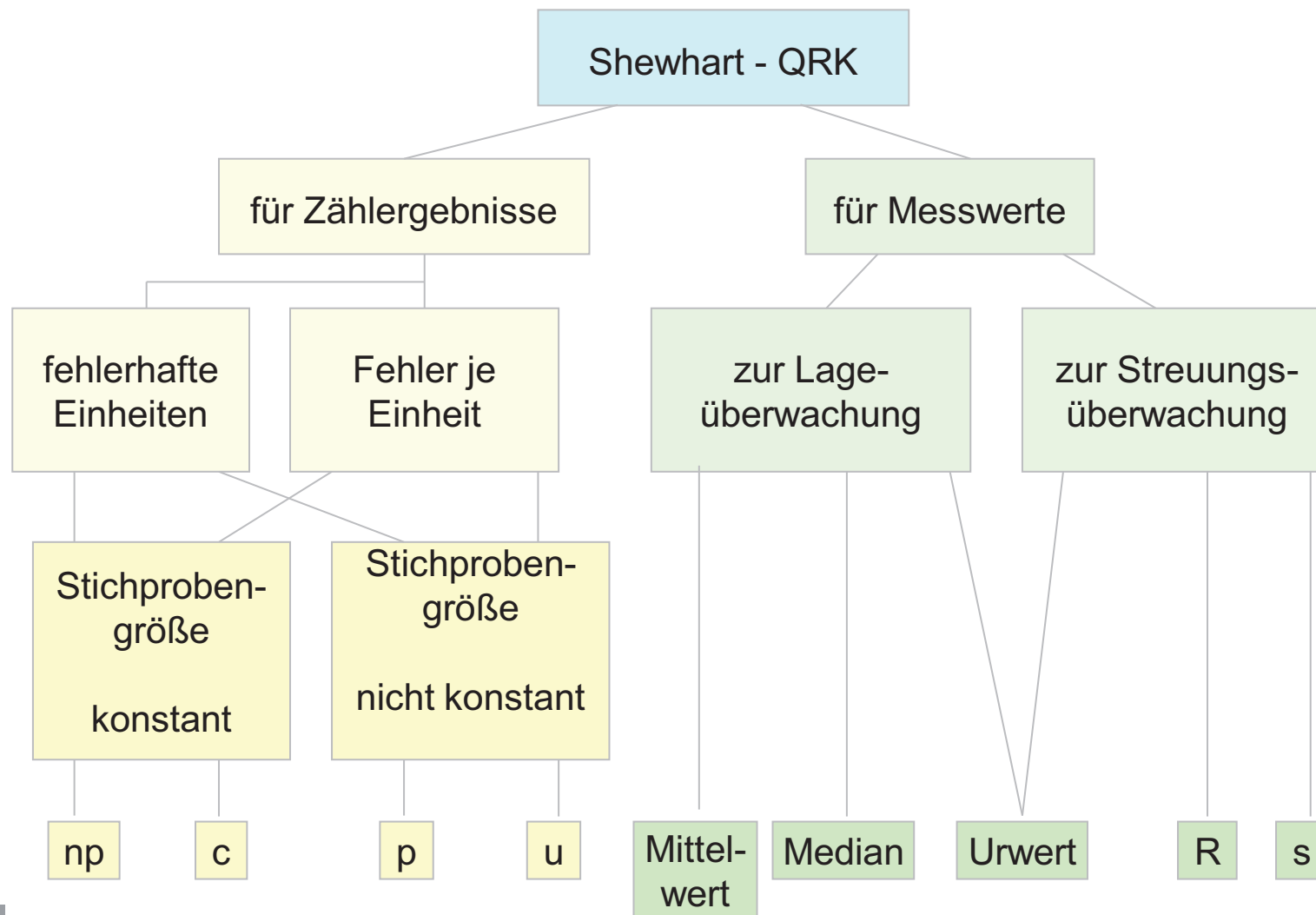


## Optimierung des Gutanteils mittels Regelkarte





# Typen von Regelkarten (Shewhart Karten)



# Formeln und Tabelle der Konstanten für Shewhart-Regelkarten



$$\bar{X}/s - \text{Karte} \\ OEG_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_3\bar{S}$$

$$UEG_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_3\bar{S}$$

$$OEG_s = B_4\bar{S}$$

$$UEG_s = B_3\bar{S}$$

$$\bar{X}/R - \text{Karte} \\ OEG_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R}$$

$$UEG_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R}$$

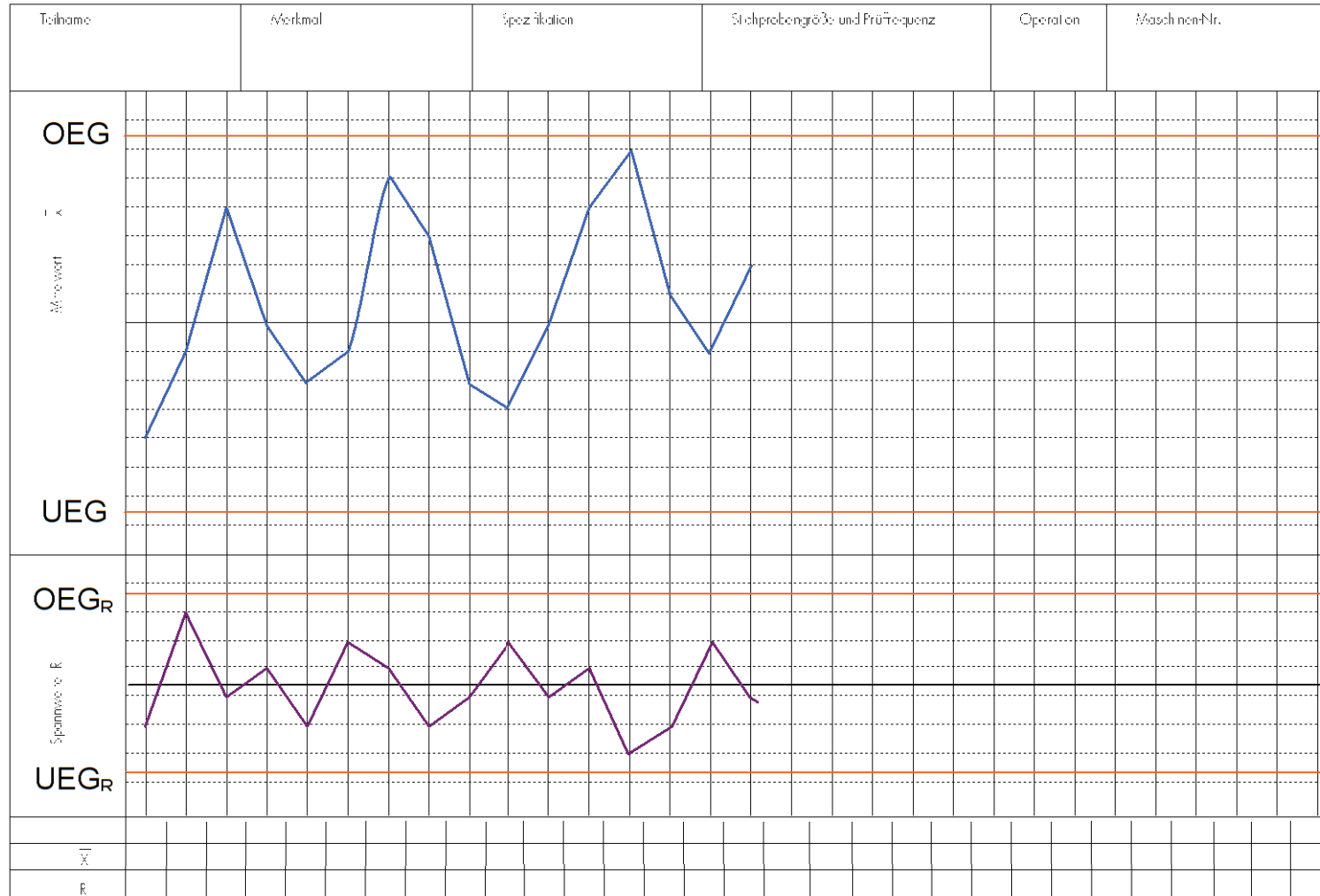
$$OEG_R = D_4\bar{R}$$

$$UEG_R = D_3\bar{R}$$

$\bar{s}$  und  $\bar{R}$  sind die arithmetischen Mittelwerte von  $s$  bzw.  $R$  aus den Stichproben des Vorlaufes

n	A2	D3	D4	A3	B3	B4
2	1,880	0	3,267	2,659	0	3,267
3	1,023	0	2,574	1,954	0	2,568
4	0,729	0	2,282	1,628	0	2,266
5	0,577	0	2,114	1,427	0	2,089
6	0,483	0	2,004	1,287	0,030	1,970
7	0,419	0,076	1,924	1,182	0,118	1,882
8	0,373	0,136	1,864	1,099	0,185	1,815
9	0,337	0,184	1,816	1,032	0,239	1,761
10	0,308	0,223	1,777	0,975	0,284	1,716

# Beispiel: Shewhart-Regelkarte





# Zweck der Regelkarten



- Eine Regelkarte ist ein Instrument zur Klassifizierung der Prozessstreuung.

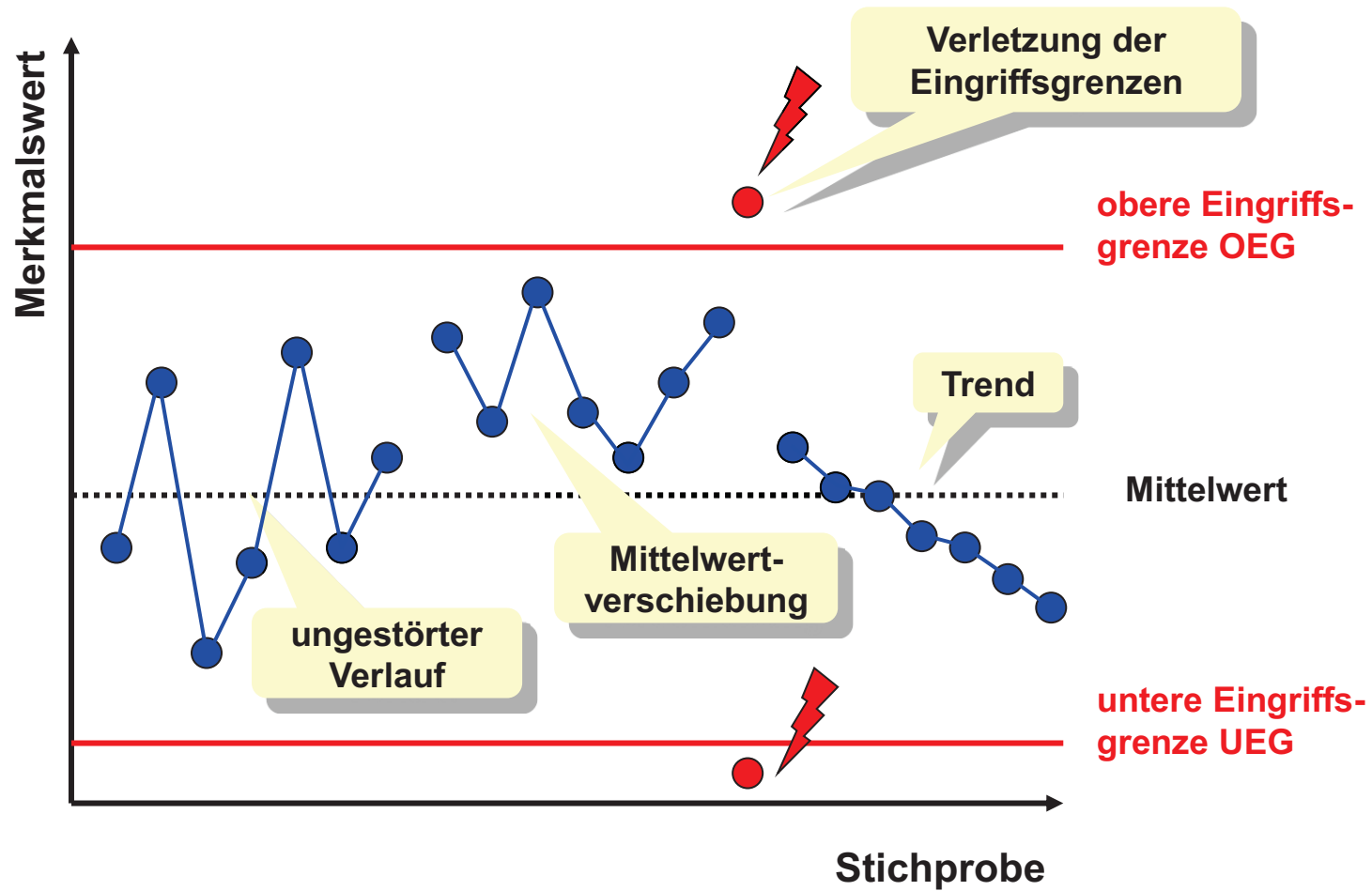
natürliche Variation	nicht-natürliche Variation
<ul style="list-style-type: none"><li>- Prozess ist in Kontrolle</li><li>- Prozess ist beherrscht</li><li>- Prozess zeigt erwartete Variation</li></ul> <p>→ <b>allgemeine Ursachen sind für die Variation verantwortlich</b></p>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Prozess ist außer Kontrolle</li><li>- Prozess ist nicht beherrscht</li><li>- Prozess zeigt unerwartetes Variation</li></ul> <p>→ <b>spezielle Ursachen sind für die Variation verantwortlich</b></p>

## Prozessverbesserung

- Regelkarten sagen aus, **wann** ein Prozess außer Kontrolle ist – **nicht aber warum**.
  - Aufmerksame Nutzung der Regelkarten kann **spezielle Ursachen** identifizieren.
- **Die Reaktion auf eine Situation außer Kontrolle (spezielle Ursachen) entscheidet wesentlich, ob ein SPC-Programm erfolgreich ist.**



# Eingriffe in den Prozess



# Vorteile von SPC-Systemen

---

- erprobte Technik zur **Verbesserung von Prozessen** und zur **Erhöhung der Produktivität durch Qualität**
- effektiv zur **Vorbeugung** von Defekten
- hilft zwischen zufälliger und systematischer Streuung (natürliche / unnatürliche Variation) zu unterscheiden und **verhindert unnötige Eingriffe** in den Prozess
- liefert **diagnostische Information** (nur in Kontrolle / außer Kontrolle)
- liefert Information über **Prozessfähigkeit** (als zusätzliche Information)
- schafft eine **gemeinsame Sprache** für die Diskussionen über die Prozessfähigkeit



# Anwendung von SPC

- Der Einsatz von Regelkarten ist nur bei Prozessen sinnvoll, die nicht völlig außer Kontrolle sind.
  - SPC soll auf Prozesse angewendet werden, die kritisch sind und nicht "sicher" gemacht werden können.
  - SPC nur anwenden, falls es notwendig ist!
  - Zögern Sie nicht, SPC wieder zu entfernen, wenn kein Nutzen mehr da ist – eine Regelkarte, die nie außer Kontrolle ist, ist sinnlos!
- bei **wenig Wissen über den Prozess**: SPC für die (kritischen) Output-Variablen
- bei **bekanntem Prozess**: SPC für die (kritischen) Input-Variablen
- Ziel:** Überwachung und Steuerung der Ergebnisse sowie der Inputfaktoren und langfristig Eliminierung der Notwendigkeit für SPC-Karten auf den Output (Sicherstellen der Prozessergebnisse über die Steuerung der Inputs).



# SPC-Vorgehensweise

- Prozess und Kenngrößen festlegen, **Auswahl** der geeigneten Messgröße
- Definition des **Punkts im Prozess**, an dem gemessen wird
- Festlegen des **Typs der Regelkarte**
- Erstellen einer Basis zur Bestimmung von rationalen Untergruppen (Linien, Werkzeuge, Schichtwechsel, Materialwechsel etc.)
- Bestimmen der **Stichprobengröße** und **Intervall der Stichprobenziehung**
- **Festlegen der Messmethode** / -kriterien
- **Fähigkeit des Messsystems** prüfen
- Fähigkeitsstudie (Vorlauf) zur **Ermittlung der Eingriffsgrenzen**
- Erstellen der **Formulare** zur Eintragung der Messungen (Software)
- Festlegen der **Prozeduren**
- **Schulung** der Prüfpersonen
- mit Eingriffsgrenzen arbeiten, Regelkarte auf Systematiken untersuchen





## Stichprobengröße

- Einzelwertkarte: natürliche Stichprobengröße 1
- Mittelwertkarte : 5, wenn möglich und angemessen
- Attributkarte: 30 oder mehr, abhängig vom (Fehler-)Prozentsatz  
(Faustregel: möchte Fehler 5 mal sehen)

## Stichprobenhäufigkeit

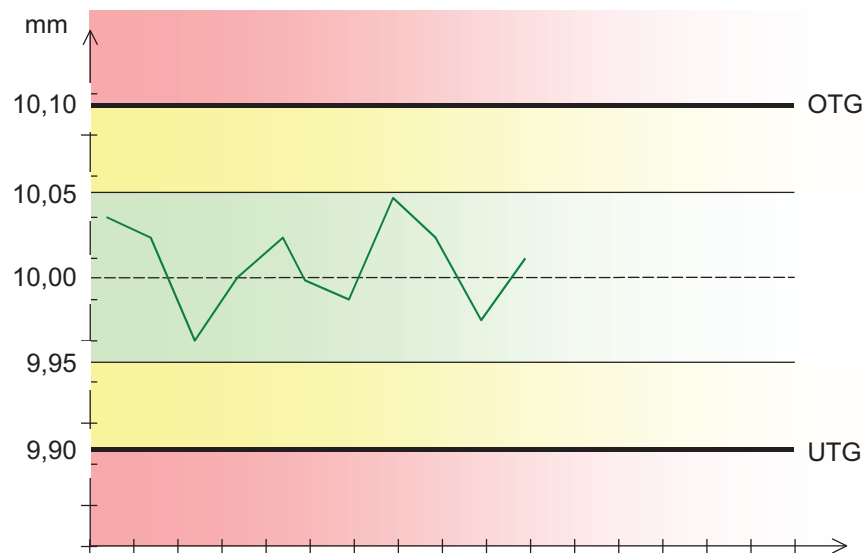
- nicht zu oft, nicht zu wenig
- im allgemeinen: je häufiger, je besser
- besser häufige Stichprobenziehung mit wenigen Teilen (z.B. 3 x 5 Teile pro Schicht und Linie), als grosse Stichproben alle 3 Monate
- online-Messsysteme erlauben "realtime"-Prozessregelung

## rationale Untergruppen

- den Prozess zu erfassen versuchen, wenn er konsistent ist (kleines Zeitfenster)
- Ziel: möglichst wenig Streuung in der Untergruppe

# PreControl-Regelkarte

- Die PreControl Karte (Ampelkarte) wird eingesetzt um Prozesse oder Einflussparameter zu überwachen. Das Interesse liegt primär darin, Prozesse zu beobachten und weitere Erfahrungen zur Verbesserung zu gewinnen. Der Prozess wird in genügendem Abstand von den Toleranzgrenzen geführt, aber nicht möglichst genau in der Toleranzmitte.
- **Voraussetzung:** Prozessfähigkeit  $c_p > 2$
- **Vorgehen:** Aufteilung des Toleranzbereichs in 4 gleiche Abschnitte



# PreControl-Regelkarte



## Startbedingung:

- Fünf aufeinanderfolgende Teile werden geprüft. Die Ergebnisse müssen alle im grünen Bereich liegen.

## Laufbedingung:

- Es müssen 2-er Stichproben entnommen werden.
- Der zeitliche Abstand der Probenentnahme entspricht  $1/6$  der Zeit zwischen zwei Nachstellungen.

1. Teil	2. Teil	Massnahme
grün	grün	Prozess ohne Eingriff bis zur nächsten Stichprobe weiterlaufen lassen
grün	gelb	
gelb	grün	
gelb	gelb	Prozess unterbrechen, einstellen und Startbedingung wiederholen
ein Teil rot		

## Vorteile

- keine Statistikenkenntnisse notwendig
- einfache Handhabung
- zur Überwachung guter Prozesse geeignet
- passt sich im Prüfumfang der Prozessfähigkeit an



# Prozessfähigkeit ( $c_p$ / $c_{pk}$ )



- **Begriffsbestimmung**
  - Die Prozessfähigkeitsindizes  $c_p$  und  $c_{pk}$  beschreiben die Streuung eines Prozesses bzw. die Lage seines Mittelwertes bezüglich der Toleranzgrenzen.
  - Die Prozessfähigkeitsindizes  $c_p$  und  $c_{pk}$  geben Auskunft über die Beherrschtheit und Fähigkeit eines Prozesses.
  - Beherrschtheit bezieht sich auf die zeitliche Stabilität des Prozesses
  - Fähigkeit bezieht sich auf die Einhaltung der Toleranzen eines Prozesses.
  - Mit den Prozessfähigkeitsindizes kann beurteilt werden, wie viel Ausschuss ein Prozess produziert (falls NV verteilt).
- **Prozessfähigkeit als Kundenforderung**
  - Zwischen Kunden und Lieferanten vor allem im Automobilbereich werden vertragliche Vereinbarungen zur Prozessfähigkeit getroffen.
  - Dabei ist zu beachten, dass die klassischen Verfahren zur Prozessfähigkeitsberechnung in der Regel von normalverteilten Prozessen ausgehen.
  - Liegt keine Normalverteilung vor, sollte zur Vermeidung von Missverständnissen das Vorgehen zur Berechnung miteinander abgestimmt werden (DIN 55319).

# Kurzzeit- und Langzeitprozessfähigkeit



- Häufig (VDA) wird zwischen Prozessfähigkeitsuntersuchungen vor und nach Serienanlauf unterschieden.
- Der Unterschied zwischen diesen Methoden besteht in der Anzahl der untersuchten Teile und dem Untersuchungszeitraum.
- Die Berechnung der Fähigkeitswerte erfolgt mit identischen Formeln.

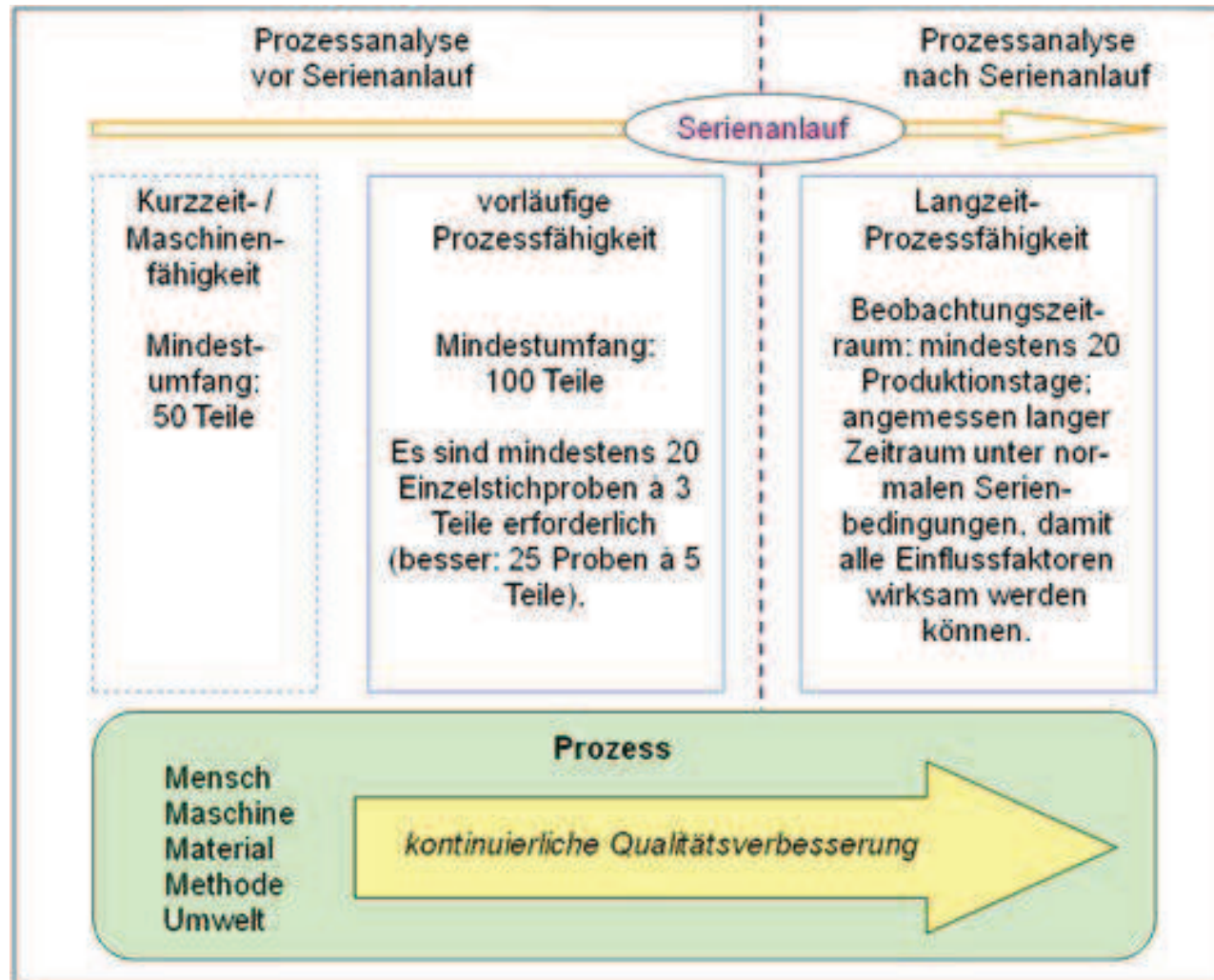
## **(kurzfristige / vorläufige) Prozessfähigkeit vor Serienanlauf**

- Kurzzeit- bzw. Maschinenfähigkeitsuntersuchung
  - → mind. 50 Teile, kurzfristig erhoben
- vorläufige Prozessfähigkeitsuntersuchung
  - → mind. 100 Teile, über Tage / Wochen erhoben

## **(langfristige) Prozessfähigkeit nach Serienanlauf**

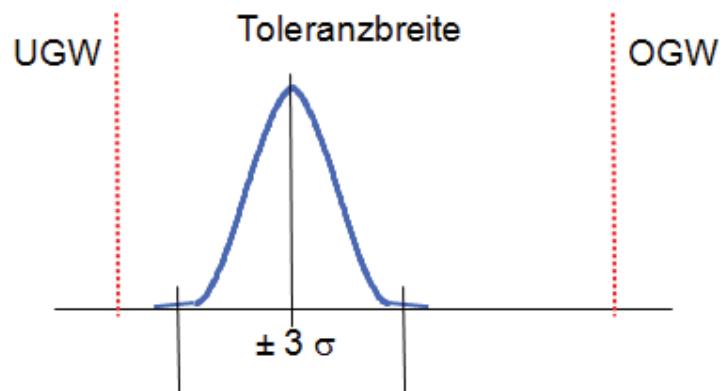
- Langzeit-Prozessfähigkeitsuntersuchung
  - → mind. 200 Teile, über Wochen / Monate erhoben

# Kurzzeit- und Langzeitprozessfähigkeit





- Der  $c_p$ -Index setzt die Toleranzbreite eines Prozesses ins Verhältnis zur Prozessstreuung  $6 \cdot \sigma$



$$c_p = \frac{OGW - UGW}{6 \cdot \sigma}$$

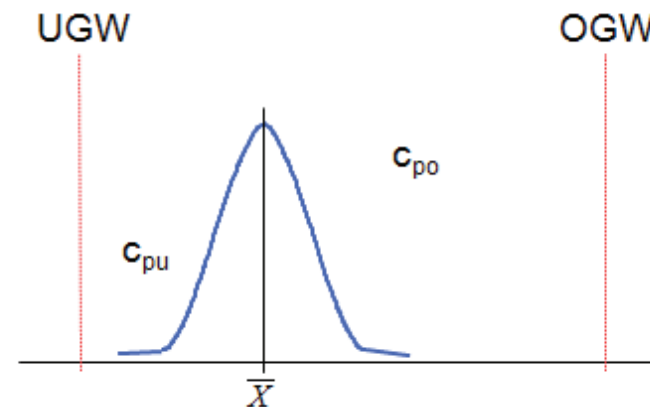
Was bedeutet ein  $c_p$ -Wert von 1?  
Was wird beim  $c_p$ -Wert nicht berücksichtigt?





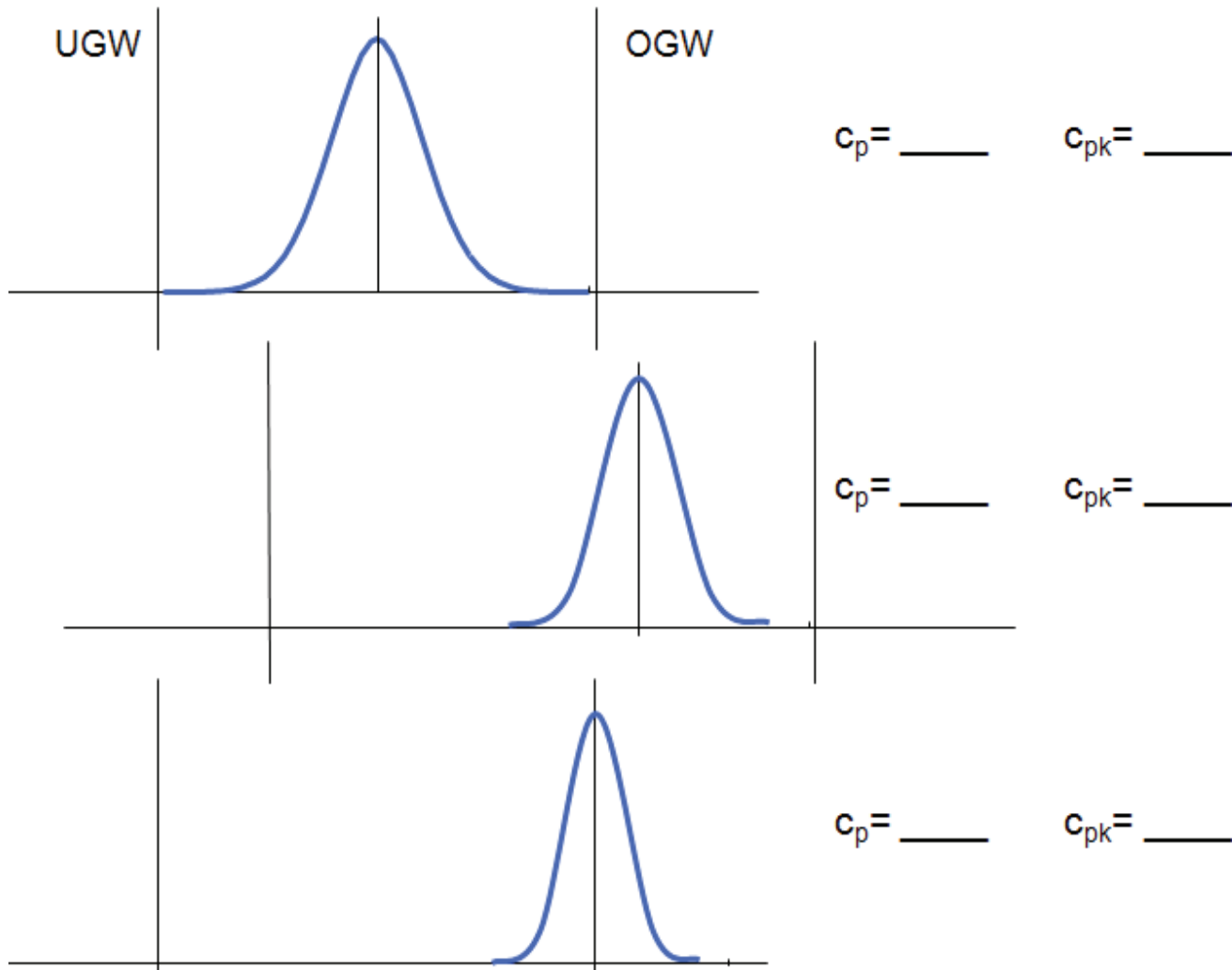
- Die Berechnung von  $c_p$ -Index ist nicht ausreichend für die Beurteilung der Qualitätsefähigkeit eines Prozesses, da die Lage des Mittelwerts nicht berücksichtigt wird.
- Der  $c_{pk}$ -Wert setzt den Abstand des Mittelwerts zur näher gelegenen Toleranzgrenze ins Verhältnis zur halben Prozessstreuung und berücksichtigt damit die momentane Lage des Prozessmittelwerts zu den Toleranz- oder Spezifikationsgrenzen.
- **Voraussetzung** ist, dass der Prozess zumindest annähernd **normalverteilt** ist.

$$c_{pk} = \min \left( \frac{OGW - \bar{x}}{3 \cdot \sigma} ; \frac{\bar{x} - UGW}{3 \cdot \sigma} \right)$$



- Ist der  $c_{pk}$ -Index kleiner als der  $c_p$ -Index so bedeutet dies, dass der Mittelwert der Verteilung außerhalb der Toleranzmitte liegt.
- Ein  $c_{pk}$ -Wert von 1 bedeutet, dass 99,73 % aller Ergebnisse innerhalb der Toleranzgrenzen des Prozesses liegen (Mittelwert  $\pm 3 s$ ).

# Beispiele für Fähigkeitsindizes



# Beherrscht und fähig



beherrscht     fähig

beherrscht → Bezug zum Mittelwert  
fähig → Bezug zur Streuung



beherrscht     fähig



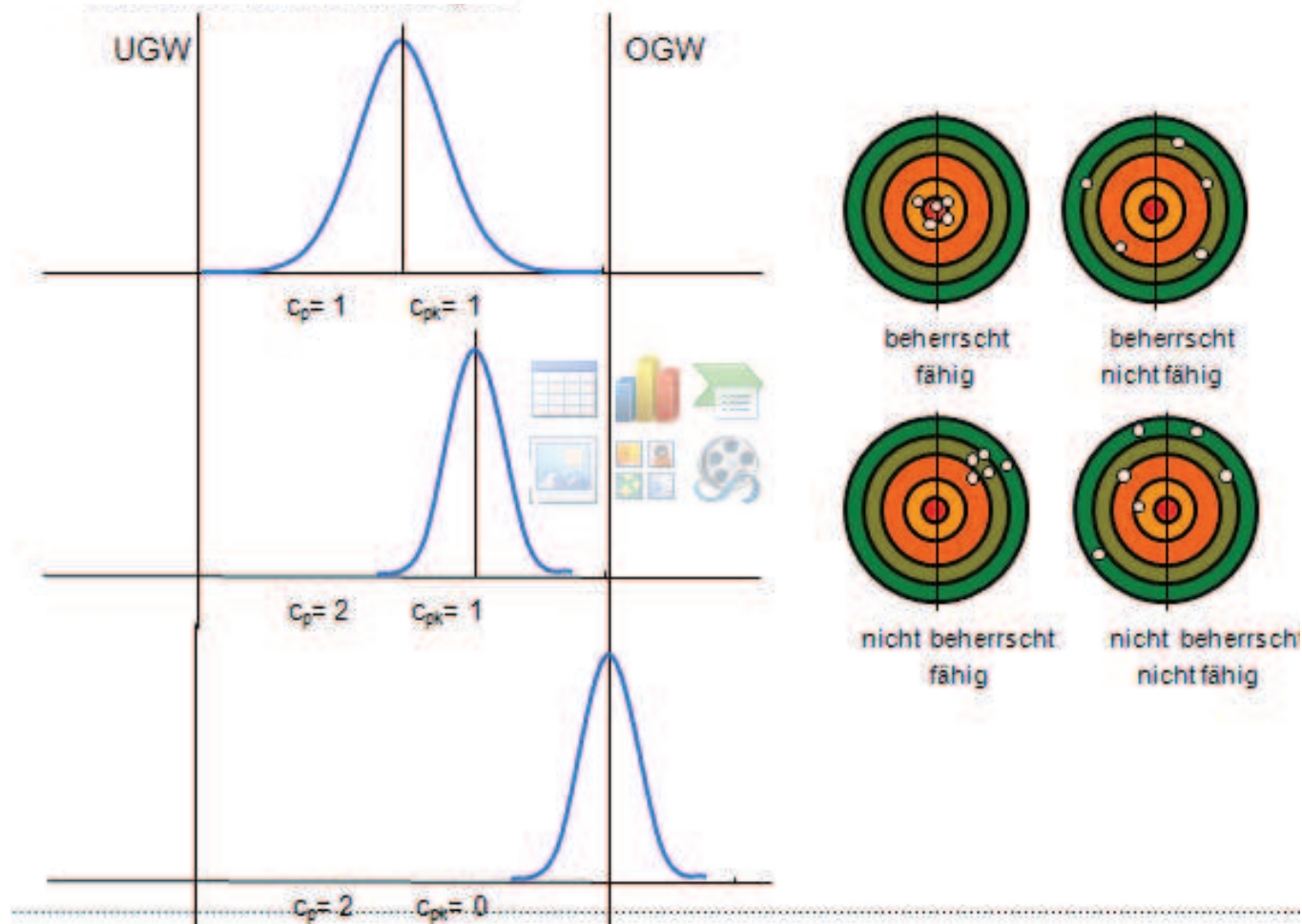
beherrscht     fähig



beherrscht     fähig

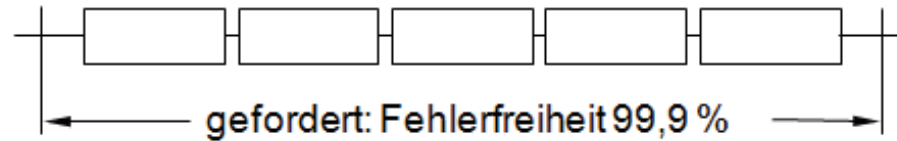


# Lösungen





# Prozessfähigkeit in Prozessketten



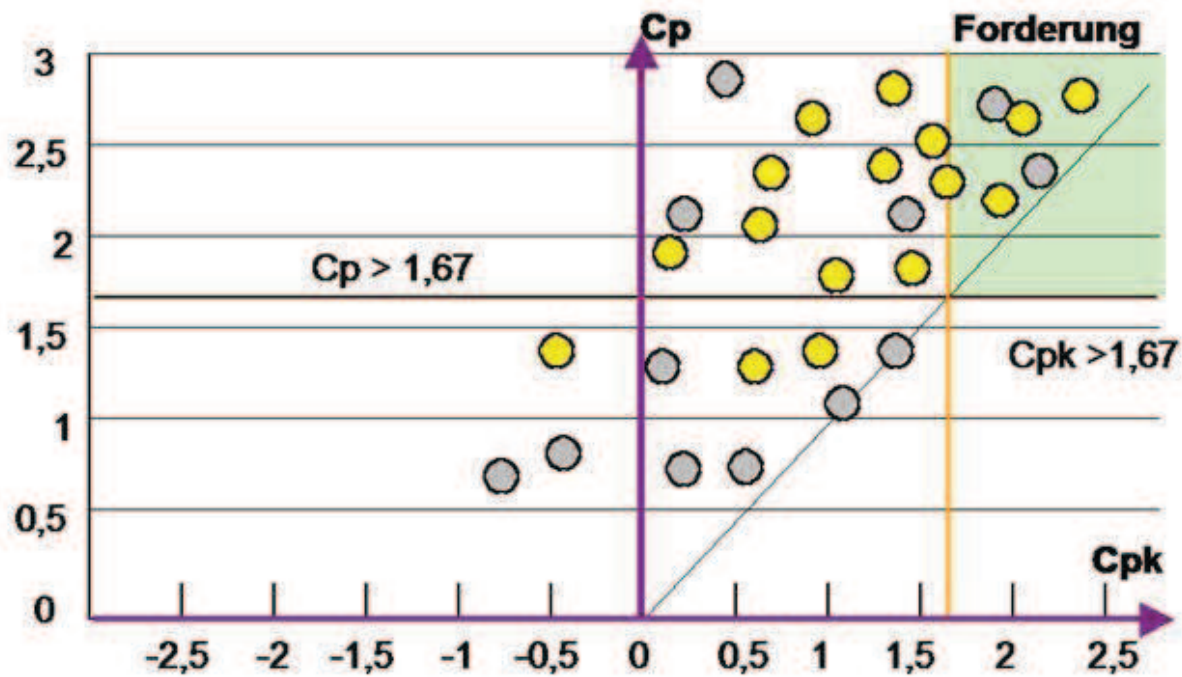
Prozesskette	gefordert je Stufe	bedeutet	Fähigkeit $c_p$
1 Stufe	99,900 %	10 : 10.000	1,10
2 Stufen	99,950 %	6 : 10.000	1,15
3 Stufen	99,967 %	3 : 10.000	1,20
5 Stufen	99,980 %	2 : 10.000	1,23
7 Stufen	99,986 %	1 : 10.000	1,30
10 Stufen	99,990 %	0,8 : 10.000	1,32
20 Stufen	99,995 %	0,6 : 10.000	1,50

Annahme: Die Prozesse arbeiten normalverteilt

$$\rightarrow c_p = (\text{OGW} - \text{UGW}) / 6 \sigma$$

$$\text{Anforderung je Stufe} = \sqrt{\frac{\text{Stufen}}{\text{Gesamtanforderung}}}$$

# Potenzialanalyse bei Fertigungsprozessen



$$C_p = (OT - UT) / 6s$$

$$C_{pk} = (OT - xq) / 3s \text{ oder } (xq - UT) / 3s$$

○ Werk 1

● Werk 2

# Vergleichstabelle CpK - ppm



Prozessfähigkeits-Index (CpK)	Parts per million	Prozent
2	0,001	
1,67	0,272	0,000027
1,5	3,5	0,0003
1,4	13	0,0013
1,33	33	0,0033
1,1	483	0,0483
1	1350	0,1350
0,8	8198	0,8198
0,66	23852	2,3852
0,5	66807	6,6807
0,3	184060	18,4060
0,1	382089	38,2089