

# Elektrische Messtechnik

## Vorlesung 7

Prof. Dr. Peter Weber

Wintersemester 2025/26

Im Studiengang Elektro- und Informationstechnik (B.Eng.)

# Spielregeln in der Präsenz-Vorlesung

- Besuch der Vorlesungen erhöht die Chance auf eine gute Note bzw. Klausurbestehen
- Ihre Fragen und Anmerkungen gehen vor - Unterbrechen Sie mich gerne, wenn ich Ihre Meldung übersehen sollte
- Keine „Side Meetings“ in der Vorlesung - Paralleldiskussionen zu zweit verbreiten zu viel Unruhe
  - ➔ Fragen, Ideen oder Anmerkungen bitte immer in die große Runde – keine Hemmungen
  - ➔ Es gibt keine dummen Fragen - Niemand wird für eine Wortmeldung „augebuht“!
- Pünktlich erscheinen - Später hereintröpfelnde Teilnehmer verbreiten Unruhe
- Verlassen der Vorlesung bitte nur zur Pause oder zum Ende (logischerweise ausgenommen Toilettengänge)
- Am Ende der Vorlesung meinen letzten Satz vor dem Aufstehen abwarten.
- Telefone auf „leise“
- Ich wünsche mir immer Ihr Feedback – sofort in der Vorlesung oder gerne auch z.B. per mail

# Organisation

## Vorlesung:

Montag 08:15 h bis 11:30 h      Raum: Hung C-101

Start 13.07.2025 - Ende 26.01.2026

## Labor (Herr Michalik):

Montag 11:45 h bis 15:45 h      Raum: 8-205

Terminorganisation bei Herrn Michalik

### CampUAS – Vorlesung (P. Weber):

<https://campuas.frankfurt-university.de/course/view.php?id=4525>

Weber: Elektrische Messtechnik - WiSe 25/26

Enrollment Key: alessandrovolta

### CampUAS – Labor (R. Michalik):

<https://campuas.frankfurt-university.de/course/view.php?id=4433>

Michalik: Labor Elektrische Messtechnik - WiSe 25

Enrollment Key: MTLAB-WiSe2025

**Wichtig: Vorbesprechung Labor – Termin Kommt von Herrn Michalik**

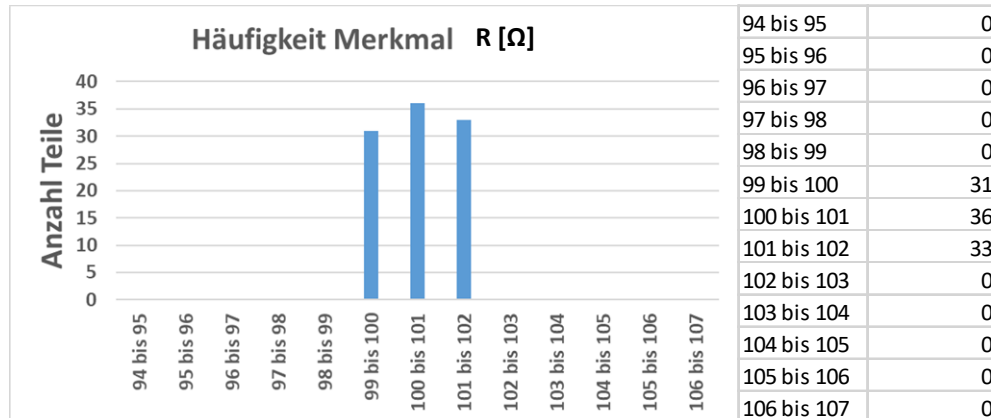
**Bitte unbedingt in beiden Kursen einschreiben (auch bei Herrn Michalik).**

**Sie verpassen sonst wichtige Infos bzw. werden bei der Laborterminvergabe nicht berücksichtigt**

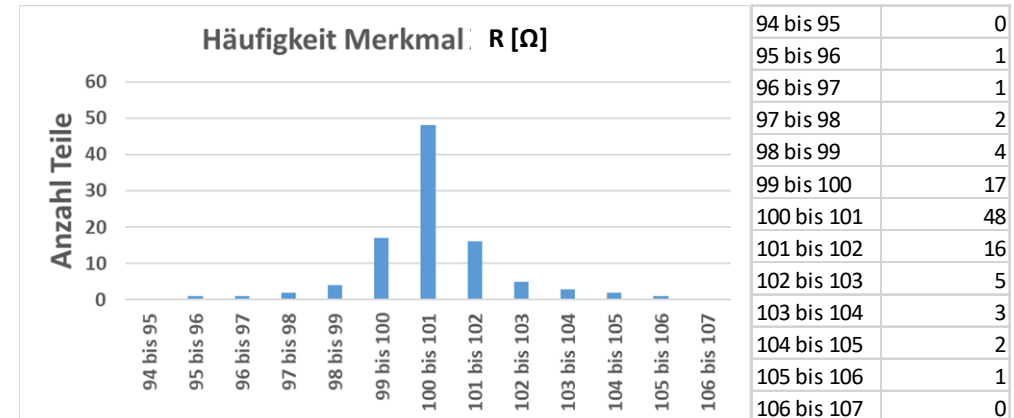
# Messung und Prozessstabilität

- Sie beziehen einen Widerstand von zwei Lieferanten.
- Mit  $R = (100,5 \pm 1,5) \Omega$ .
- Bei der Wareneingangsprüfung einer Charge messen Sie den Widerstand  $R$  und erhalten die unten dargestellten Verteilungen.
- Alle Teile Außerhalb der Spezifikation können Sie nicht verwenden und müssen Sie beim Lieferanten reklamieren
- Diskutieren Sie, welcher Lieferant der zuverlässigere ist und definieren Sie dafür mehrere Kriterien.

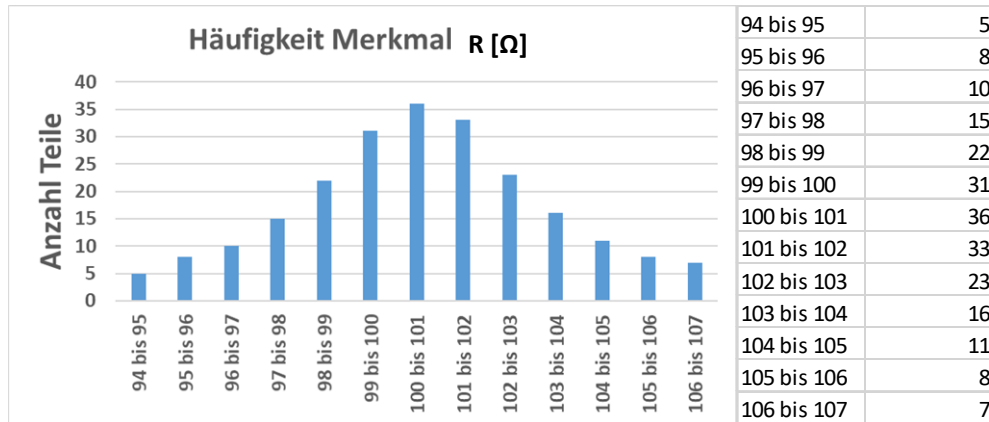
## Lieferant A



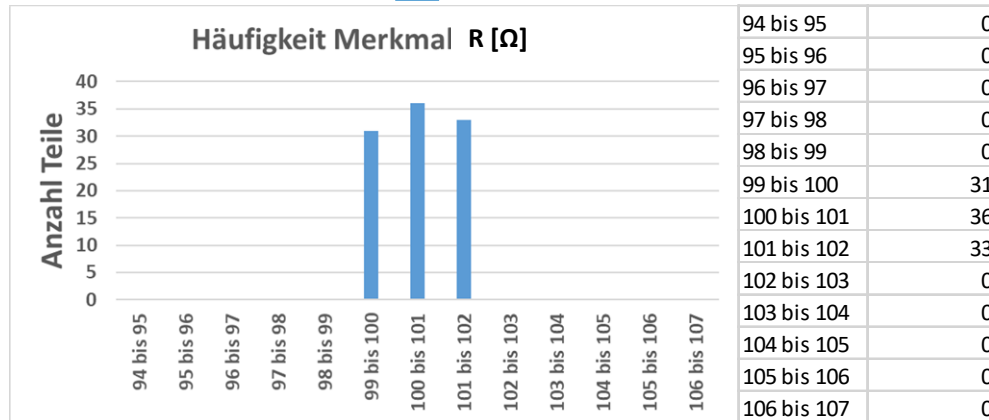
## Lieferant B



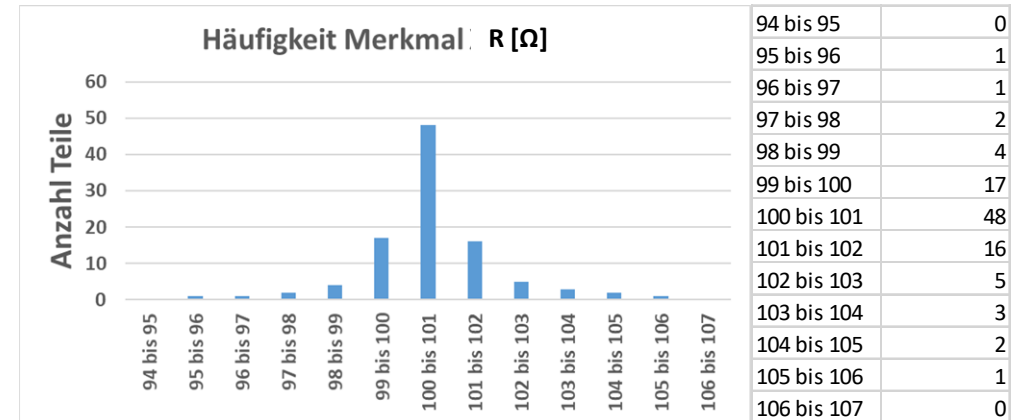
# Messung und Prozessstabilität



Lieferant A



Lieferant B



## Produktion

### „Old-School“

- Messung am Ende der Produktionskette
- 100 % Prüfung
- aussortieren der Schlecht-Teile

### Heute

- Messung nach jedem Produktionsschritt
- Früherkennung von Trends
- Nutzung von Regelkarten
- Eingreifen im Prozess vor Out-Of-Spec Situation
- Stichprobengröße angepasst an Prozessstabilität

## Maschinen und Anlagen

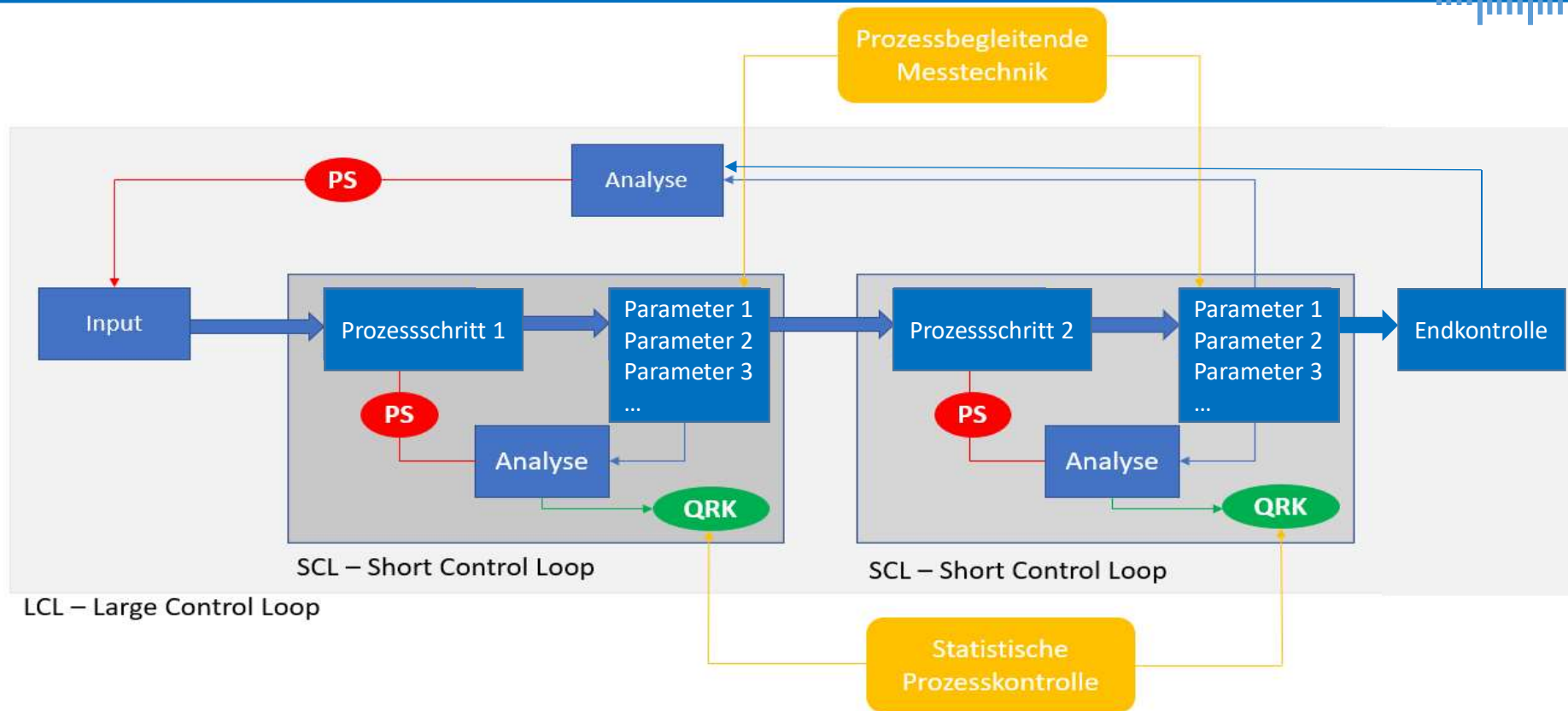
### „Old-School“

- Regelmäßige Inspektion
- Austausch von Verschleißteilen nach Standzeit
- Reaktion bei Maschinenstillstand /-ausfall

### Heute

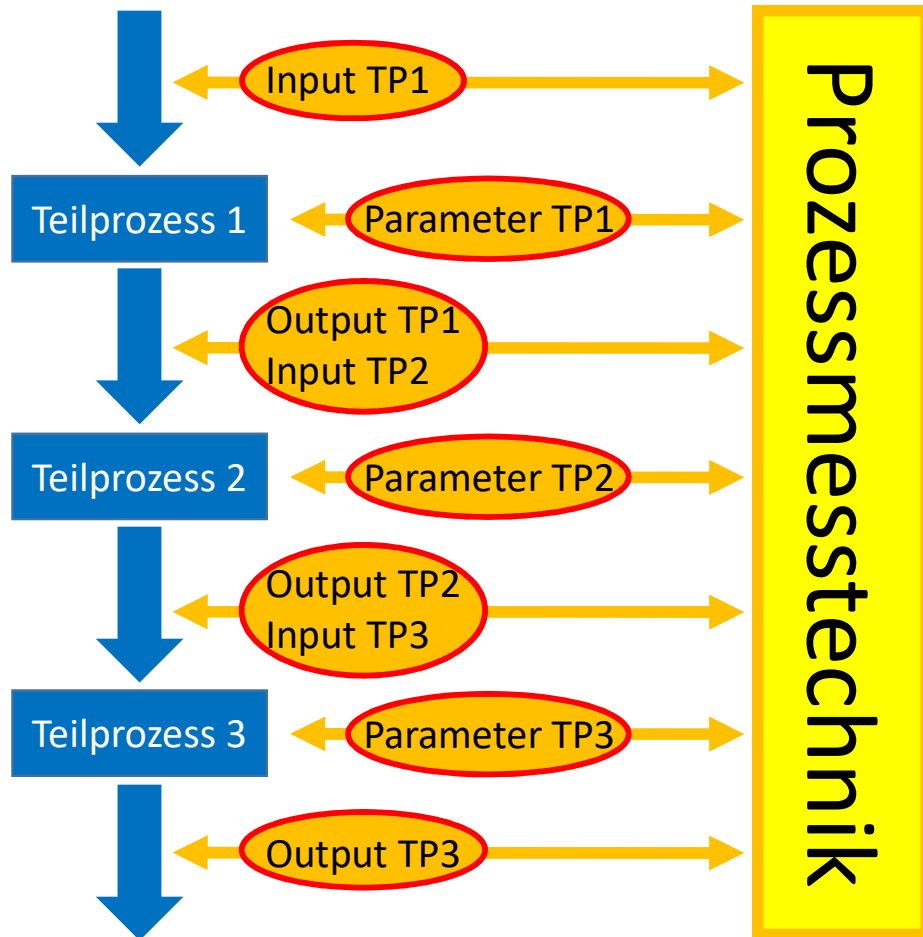
- Kontinuierliche Zustandsüberwachung
- Algorithmenbasierte Messdatenauswertung
- Bessere Lebensdauervorhersagen
- Früherkennung von Ausfällen
- Gezielte „predictive maintenance“

# Regelkreise in der Produktion



Timon Huber, Stefan Lauterbach, Projekt Service Engineering, Industrielle Messtechnik – Upgrade auf Labor 4.0, 2021





### Input-Parameter

Beschreiben Sollzustand des Bauteils vor dem Prozessschritt  
Erforderlich für den folgenden Prozessschritt

- Sauberkeit
- Freiheit von Graten
- ...

### Prozess-Parameter

Sind Einflussgrößen, die das Output des Prozesses beeinflussen  
Erforderlich für das Erreichen der finalen Spezifikationen

- Vorschub, Schnittgeschwindigkeit
- Kühlschmiermitteltemperatur
- ...

### Output-Parameter

Beschreiben Sollzustand des Bauteils nach dem Prozessschritt  
Erforderlich für das Erreichen der finalen Spezifikationen

- Geometrie
- Rauheit der Oberflächen
- ...

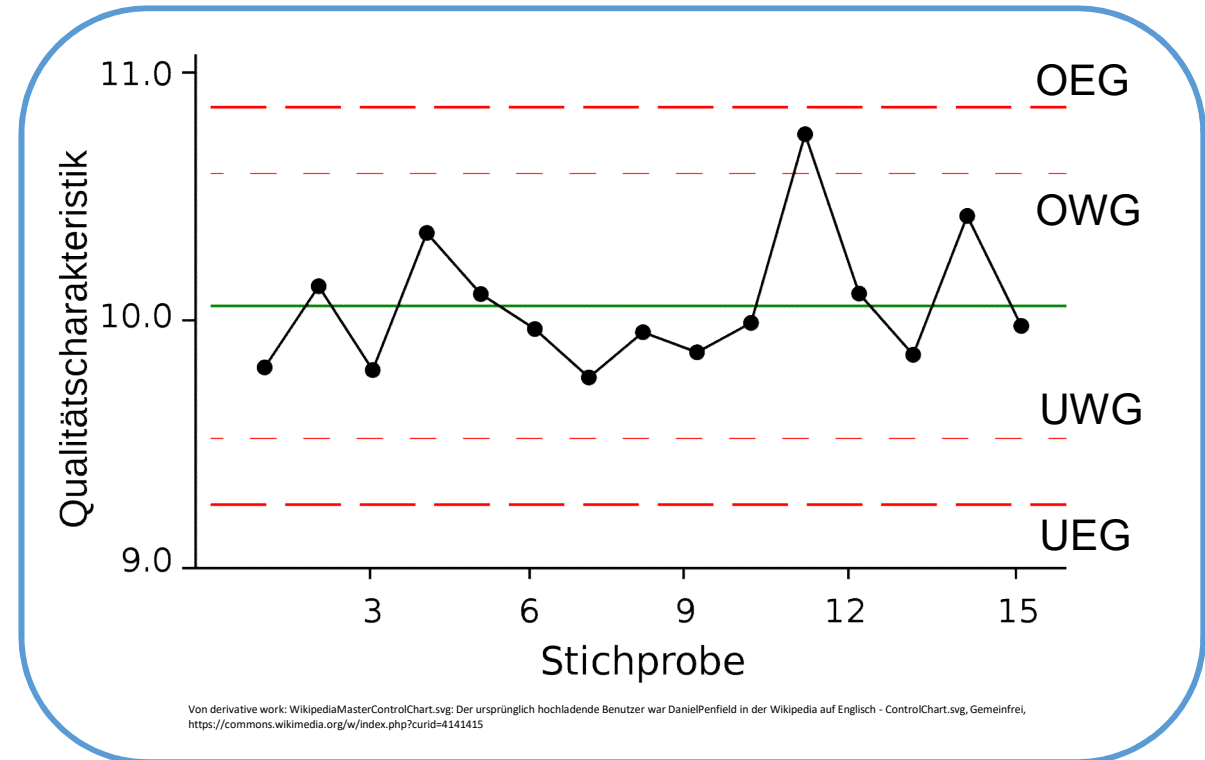
# Prozessregelkarten (Control Charts)

## Funktion von Regelkarten

- Messung von Schlüsselparametern jedes Prozesses
- Zeitnahe Darstellung des aktuellen Zustandes
- Vergleich mit dem Zustand in Vergangenheit
- Grenzen statistisch definiert durch die zuvor gemessenen Prozessdaten

## Nutzen

- Trends sofort sichtbar für Operator und Prozessingenieur
- Bei Abweichungen: Zeitnahe Ursachenforschung möglich
- Ausschuss wird verhindert, bevor er entsteht



**Die Grenzen der Regelkarte sind keine festen Spezifikationen, sondern spiegeln dynamisch die natürliche Streuung des Prozesses wieder**

O(U)EG: Obere (untere) Eingriffsgrenze, in der Regel Mittelwert  $\pm 3$  Sigma der Häufigkeitsverteilung der dargestellten Stichprobenkenngröße

O(U)WG: Obere (untere) Warngrenze, in der Regel Mittelwert  $\pm 2$  Sigma der Häufigkeitsverteilung der dargestellten Stichprobenkenngröße

Im industriellen Alltag werden oft auch Mischformen verwendet, z.B. mit nur einer dynamischen Ober- und Untergrenze oder inklusive der statischen Spezifikationsgrenzen

# Prozessstabilität & Prozessfähigkeit

## Prozessregelkarten

Zeitliche Dynamik des Prozesses im Hinblick auf den dargestellten Parameter, unabhängig von Spezifikationsgrenzen:

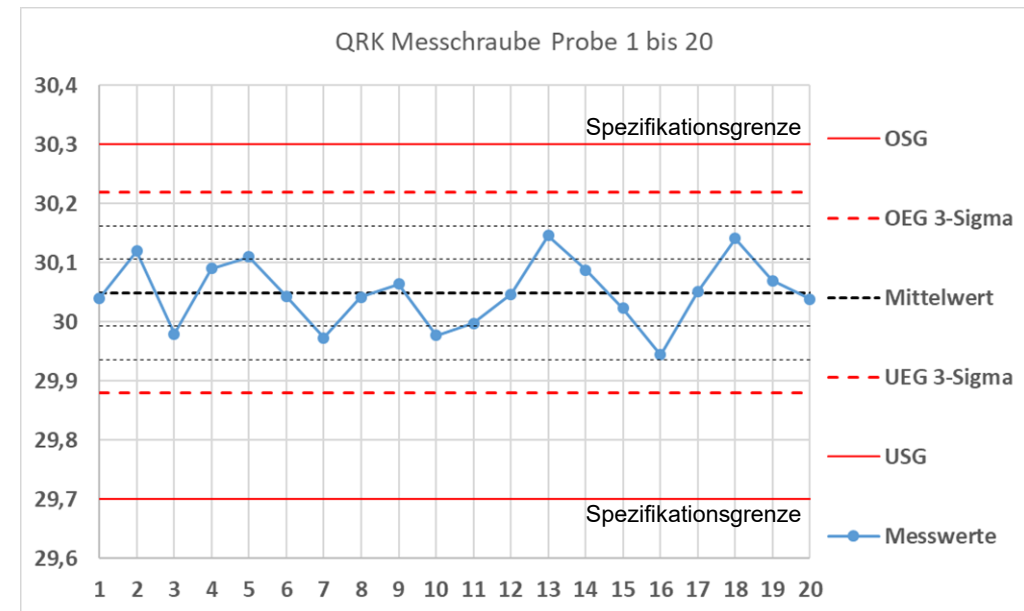
→ **Stabilität** des Prozesses

## Zentrale Frage aber auch,

wie gut liegt der betrachtete Parameter im Prozessfenster (zwischen oberer/unterer Spezifikation):

→ **Fähigkeit** des Prozesses

**Mit den Daten einer Regelkarte kann sofort auch die statistische Beurteilung der Prozessfähigkeit erfolgen.**



**Prozessfähigkeit hinsichtlich eines bestimmten Parameters ist...**

- ...das Verhältnis der Breite des Spezifikationsfensters (Toleranzbreite) zur natürlichen Streubreite des Prozesses
- ...unter Berücksichtigung einer möglichen Dezentrierung der Verteilung

# Prozessfähigkeit

## Prozesspotential

$$C_p = \frac{\text{Toleranzbreite}}{\text{Prozessstreuung}}$$

## Prozessfähigkeit

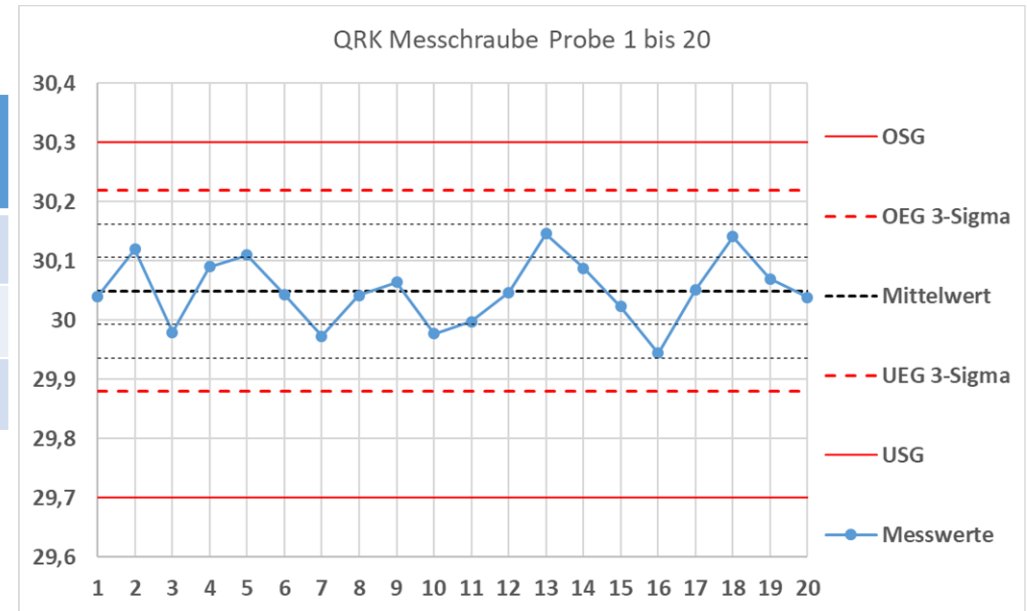
$$C_{pk} = \min(C_{po}; C_{pu})$$

$$C_{po} = \frac{\text{Obere Toleranzgrenze} - \text{Mittelwert}}{\text{halbe Prozessstreuung}}$$

$$C_{pu} = \frac{\text{Mittelwert} - \text{Untere Toleranzgrenze}}{\text{halbe Prozessstreuung}}$$

Untere der Annahme, dass  
die Prozessstreuung auf  
2 x 3 Sigma festgelegt ist

$C_{pk}$	ppm	Sigma Level
1,00	2699	3
1,33	66	4
2	0,002	6



- Der Wert und die Aussagekraft des  $c_{pk}$ -Wertes hängt von der Wahl der Prozessstreuung ab.
- Üblich sind Streubreiten von 6 Sigma (d.h. 3 mal die doppelte Standardabweichung).
- Darüber hinaus setzen sich unterschiedliche Branchen typischerweise unterschiedliche Prozessfähigkeitsziele.
- Je größer der  $c_{pk}$ -Wert, desto besser die Prozessfähigkeit.
- Bei einem  $c_p$ -Wert von 1 ist die Prozessstreuung gleich der Toleranzbreite.

# Anmerkung zur Standardabweichung

**WICHTIG:** Es gibt zwei Formeln für die Berechnung der Standardabweichung

## Standardabweichung einer Grundgesamtheit:

Beispiel: Sie messen an einer Anzahl von N verschiedenen Bauteilen ein bestimmtes Merkmal, um die Streuung des Prozesses bei diesen N Bauteilen zu bestimmen. Dann bilden die N vielen Bauteile die Grundgesamtheit. Sie nutzen die Formel

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

Zwar handelt es sich hier möglicherweise um eine Stichprobe aus der Produktion. Mittelwert und Standardabweichung werden aber nur für die „physisch“ vorliegenden und gemessenen Bauteile berechnet. Damit handelt es sich statistisch betrachtet nicht um eine Stichprobe, sondern um eine Grundgesamtheit (nämlich die der tatsächlich gemessenen Bauteile).

## Abschätzung der Standardabweichung für eine Grundgesamtheit aus einer Stichprobe:

Beispiel: Sie messen an ein und demselben Bauteil ein bestimmtes Merkmal N mal, um das Merkmal möglichst genau zu bestimmen. In diesem Falle handelt es sich um eine Stichprobe. Den wahren Wert des Merkmals würden Sie nur durch Mittelung unendlich vieler Messungen erhalten. Sie schätzen also hier die Standardabweichung mithilfe der Stichprobe ab und nutzen die Formel

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

24.11.2025

# Kontinuierliche Verbesserung

**Ziel: Prozesse sollen im Produktionsablauf kontinuierlich stabiler werden**

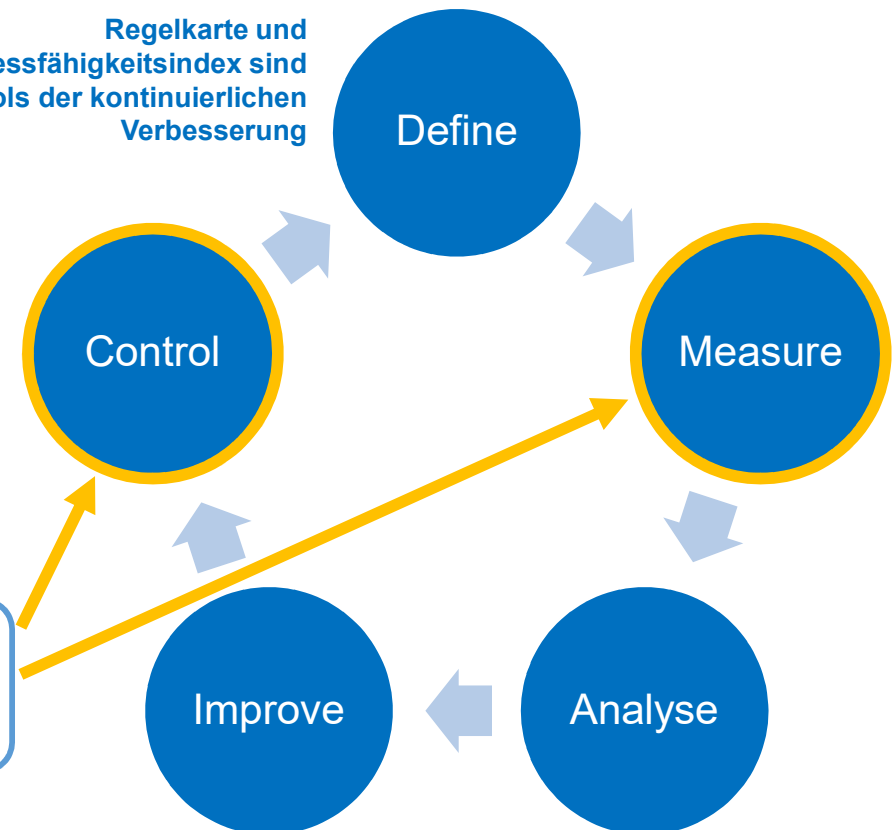
- Reduktion der Herstellkosten
- Reduktion der Durchlaufzeit
- Verbesserung der Qualität

**Beispiel: DMAIC Kreislauf**

- Definiere ein Prozess-Ziel
- **Messe den Ist-Zustand**
- Analysiere das Messergebnis
- Verbessere auf Basis von Messung und Analyse
- **Kontrolliere den Effekt der Verbesserung**
- Definiere das nächste Prozess-Ziel...

**Entscheidend für die kontinuierliche Verbesserung ist das Vorhandensein adäquater (fähiger) Messsysteme für die relevanten Prozessparameter.**

Regelkarte und  
Prozessfähigkeitsindex sind  
wichtige Tools der kontinuierlichen  
Verbesserung



# Übungsaufgabe Prozessstabilität

Stichprobe	Messwert [mm]
1	1000,2
2	999,8
3	1000,7
4	1000,1
5	1001,5
6	1000,5
7	1001,3
8	1001,9
9	1001,8
10	1002,2

In Ihrem Produktionsbereich wird eine Maschinenkomponente mit einer Soll-Länge von 1000,0 mm gefertigt. Die zulässige Toleranz für den Einbau in der Maschine beträgt  $\pm 3,0$  mm. Aus der laufenden Fertigung wird jedes fünfte Teil entnommen und auf einem Koordinatenmessgerät prozessbegleitend vermessen. Zu Beginn der Frühschicht sehen sie sich die Ergebnisse der letzten Schicht (10 Stichproben) an. Sie sind in der nebenstehenden Tabelle angegeben.

- Bewerten Sie den Prozess ad hoc auf der Basis der in der Tabelle angegebenen Werte (qualitativ, ohne weitere statistische Auswertung).
- Berechnen Sie den Mittelwert der Stichprobe mit der entsprechenden Formel aus der Vorlesung „von Hand“.
- Berechnen Sie die Standardabweichung der Stichprobe mit der entsprechenden Formel aus der Vorlesung „von Hand“.
- Zeichnen Sie eine Regelkarte, welche die typischen bzw. relevanten Informationen enthält. Legen sie die einschlägigen Grenzen auf der Basis von  $\pm 3\sigma$  an. Zeichnen Sie auch die Spezifikationsgrenzen ein.
- Bestimmen Sie den Prozessfähigkeitsindex des Prozesses.
- Bestimmen Sie das Prozesspotential.
- Welche Schlüsse ziehen Sie nun, da Sie Regelkarte, Prozessfähigkeit und Prozesspotential vor Augen haben?
- Welche Messunsicherheit sollte die zur Prüfung verwendete KMG höchstens haben?