FRANKFURT UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Elektrische Messtechnik

Vorlesung 5

Prof. Dr. Peter Weber

Wintersemester 2026/27

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:

Mittwochs 08:15 h bis 09:45 h, Raum: Hung C 101

Donnerstags 08:15 h bis 09:45 h, Raum: Hung C 101

Start 12.10.2026

Ende 25.01.2027

CampUAS – Vorlesung (P. Weber):

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

Weber: Elektrische Messtechnik - WiSe 26/27

Enrollment Key: alessandrovolta

CampUAS – Labor (R. Michalik):

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

Michalik: Labor Elektrische Messtechnik - WiSe 26

Enrollment Key: MTLAB-2026

Labor (Herr Michalik):

Wichtig: Vorbesprechung Labor – Termin Kommt von Herrn Michalik

2. Semester TBD Raum: 8-205

3. Semester Montag 08:15 h bis 11:30 h Raum: 8-205

Terminorganisation bei Herrn Michalik

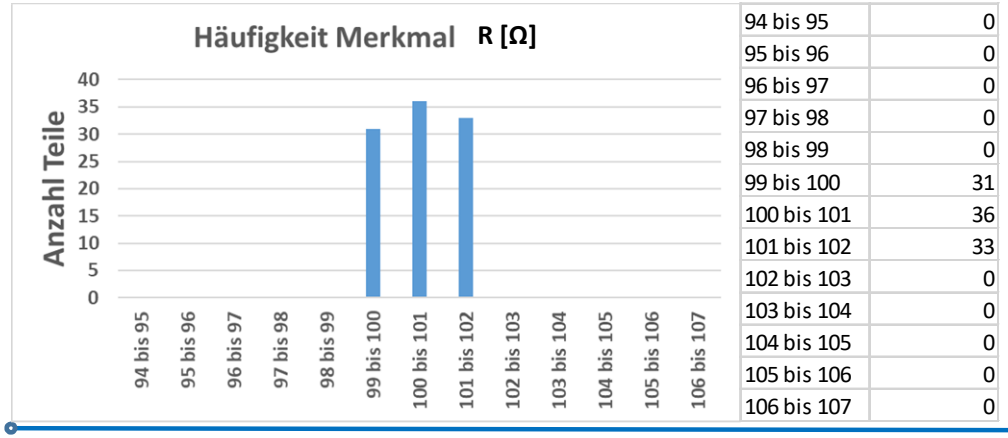
Bitte unbedingt in beiden Kursen einschreiben (auch bei Herrn Michalik).

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

Messung und Prozessstabilität

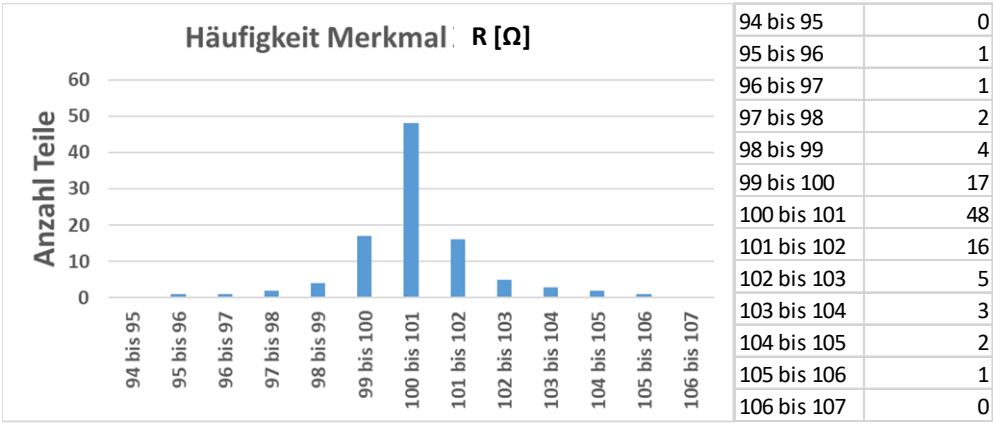
- Sie beziehen ein Bauteil von zwei Lieferanten.
- Mit R = (100,5 ± 1,5) Ω.
- Bei der Wareneingangsprüfung einer Charge messen Sie den Widerstand R und erhalten die unten dargestellten Verteilungen.
- Alle Teile Außerhalb der Spezifikation können Sie nicht verwenden und müssen Sie beim Lieferanten reklamieren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

Lieferant A



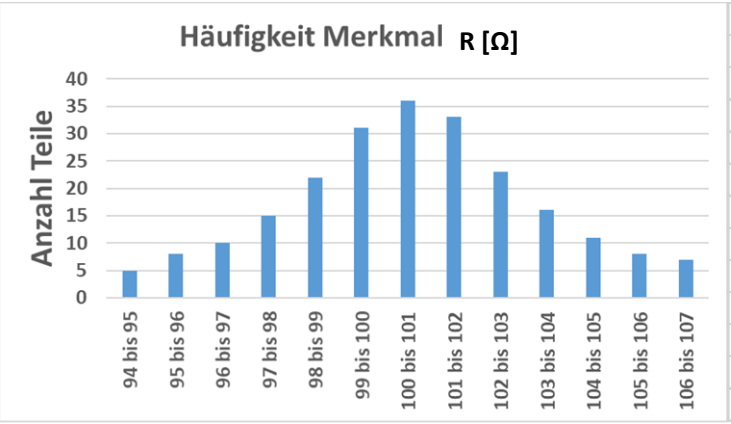
94 bis 95	0
95 bis 96	0
96 bis 97	0
97 bis 98	0
98 bis 99	0
99 bis 100	31
100 bis 101	36
101 bis 102	33
102 bis 103	0
103 bis 104	0
104 bis 105	0
105 bis 106	0
106 bis 107	0

Lieferant B



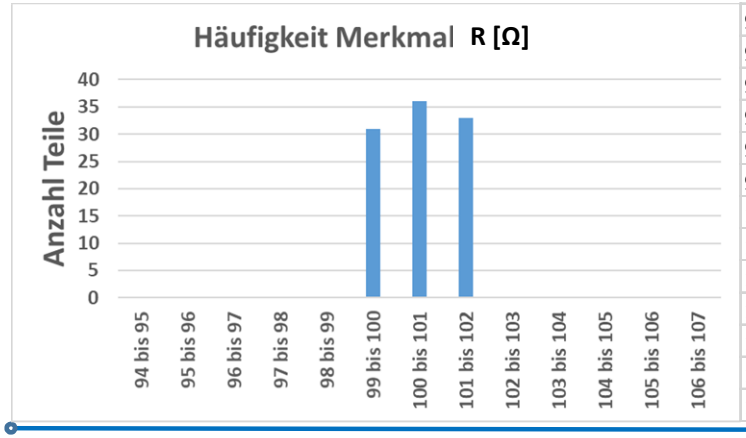
94 bis 95	0
95 bis 96	1
96 bis 97	1
97 bis 98	2
98 bis 99	4
99 bis 100	17
100 bis 101	48
101 bis 102	16
102 bis 103	5
103 bis 104	3
104 bis 105	2
105 bis 106	1
106 bis 107	0

Messung und Prozessstabilität



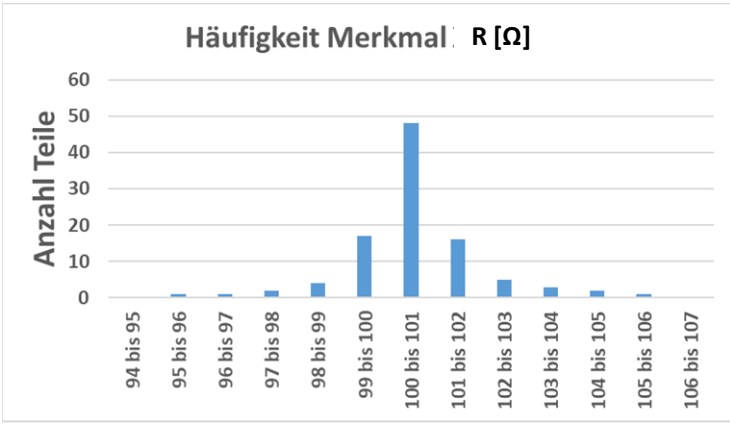
94 bis 95	5
95 bis 96	8
96 bis 97	10
97 bis 98	15
98 bis 99	22
99 bis 100	31
100 bis 101	36
101 bis 102	33
102 bis 103	23
103 bis 104	16
104 bis 105	11
105 bis 106	8
106 bis 107	7

Lieferant A



94 bis 95	0
95 bis 96	0
96 bis 97	0
97 bis 98	0
98 bis 99	0
99 bis 100	31
100 bis 101	36
101 bis 102	33
102 bis 103	0
103 bis 104	0
104 bis 105	0
105 bis 106	0
106 bis 107	0

Lieferant B



94 bis 95	0
95 bis 96	1
96 bis 97	1
97 bis 98	2
98 bis 99	4
99 bis 100	17
100 bis 101	48
101 bis 102	16
102 bis 103	5
103 bis 104	3
104 bis 105	2
105 bis 106	1
106 bis 107	0

Evolution in der Prozessmesstechnik

Produktion

„Old-School“
- Messung am Ende der Produktionskette
- 100 % Prüfung
- aussortieren der Schlecht-Teile

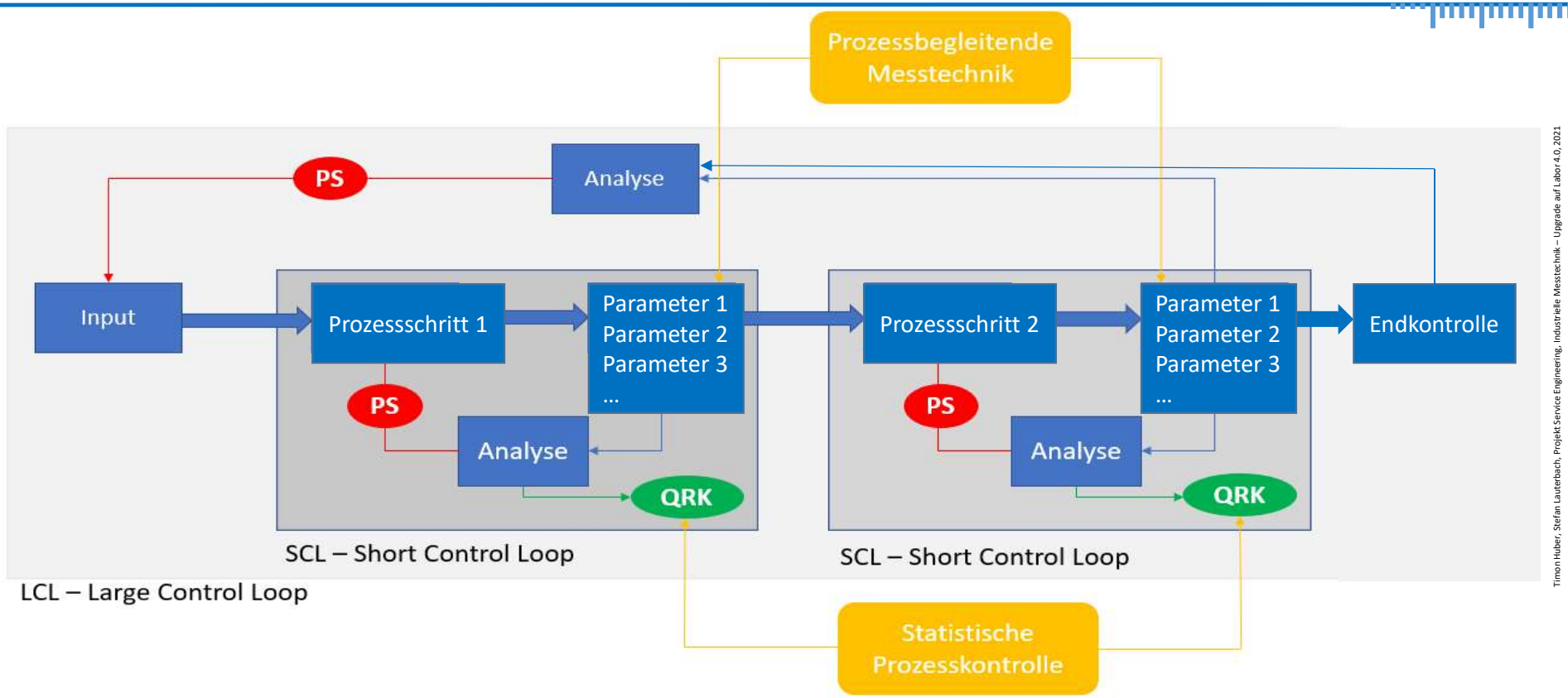
Heute
- Messung nach jedem Produktionsschritt
- Früherkennung von Trends
- Nutzung von Regelkarten
- Eingreifen im Prozess vor Out-Of-Spec Situation
- Stichprobengröße angepasst an Prozessstabilität

Maschinen und Anlagen

„Old-School“
- Regelmäßige Inspektion
- Austausch von Verschleißteilen nach Standzeit
- Reaktion bei Maschinenstillstand /-ausfall

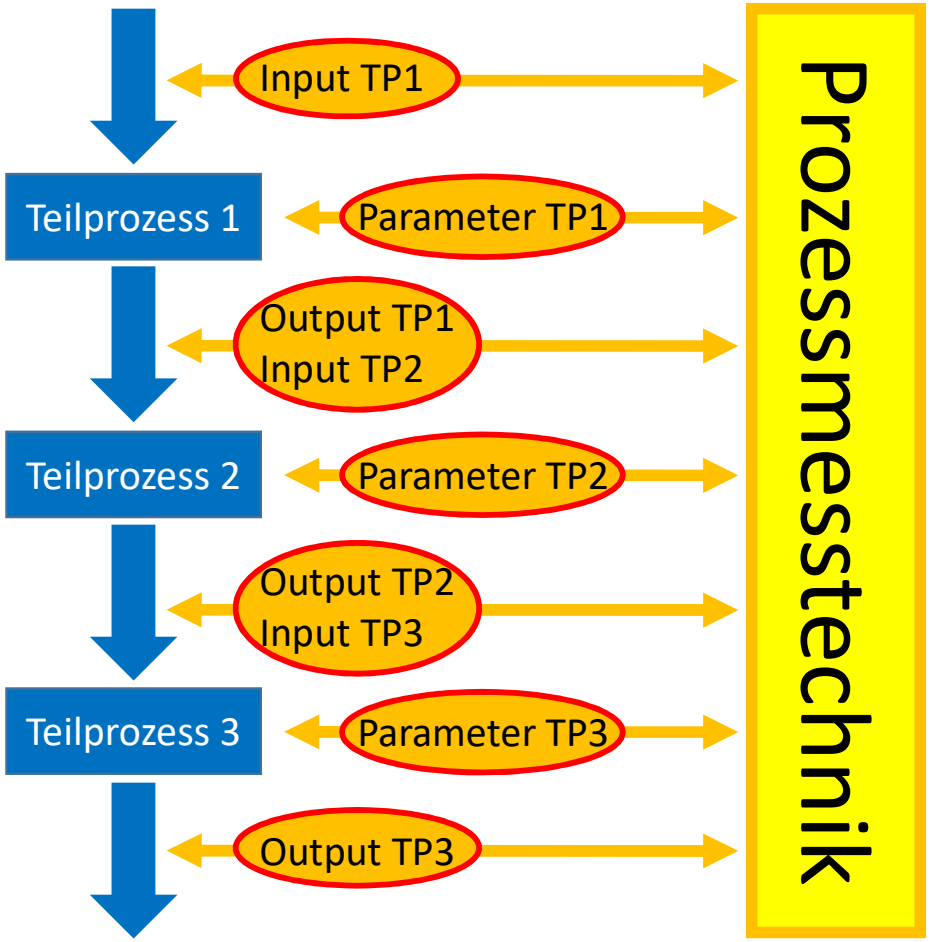
Heute
- Kontinuierliche Zustandsüberwachung
- Algorithmenbasierte Messdatenauswertung
- Bessere Lebensdauervorhersagen
- Früherkennung von Ausfällen
- Gezielte „predictive maintenance“

Regelkreise in der Produktion



QRK Qualitätsregelkarte — Gibt an welches Level → Prozessfähigkeit — Evtl. Maßnahmen ergreifen um Wunschlevel zu erreichen → PS Prozessstabilisierung

Prozessmesstechnik



Input-Parameter
Beschreiben Sollzustand des Bauteils vor dem Prozessschritt
Erforderlich für den folgenden Prozessschritt

- Sauberkeit von Oberflächen
- Viskosität der Lotpaste
- …

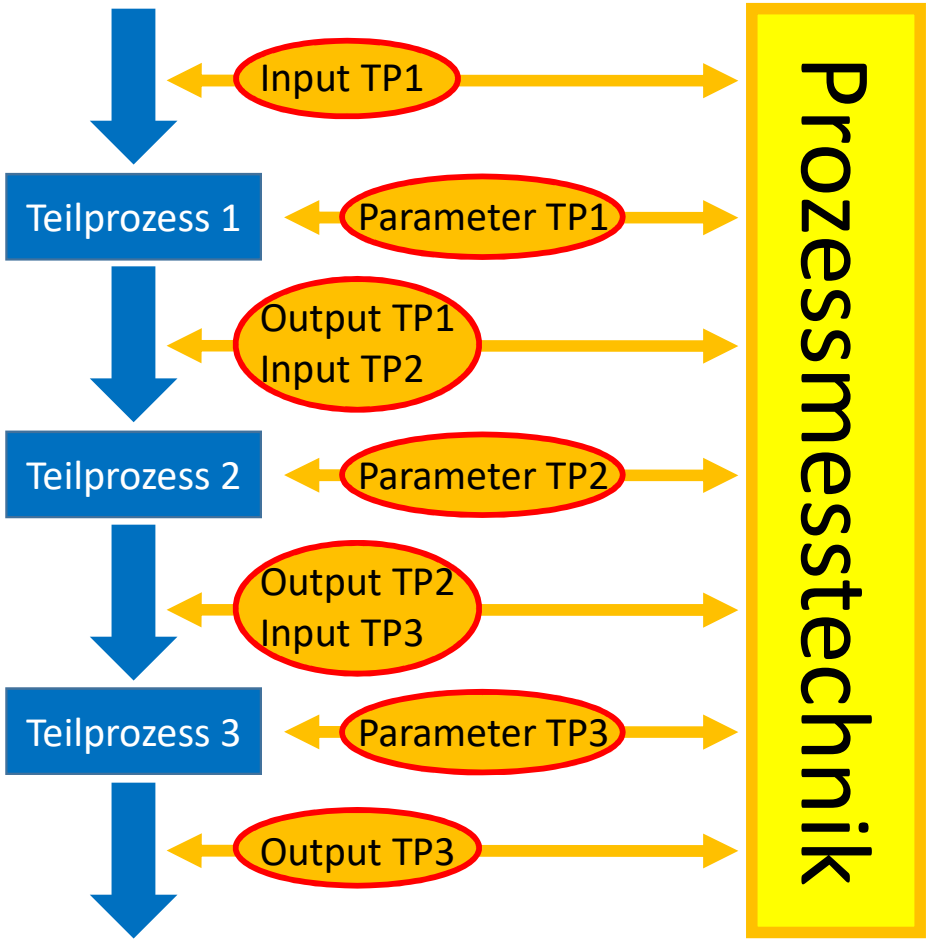
Prozess-Parameter
Sind Einflussgrößen, die das Output des Prozesses beeinflussen
Erforderlich für das Erreichen der finalen Spezifikationen

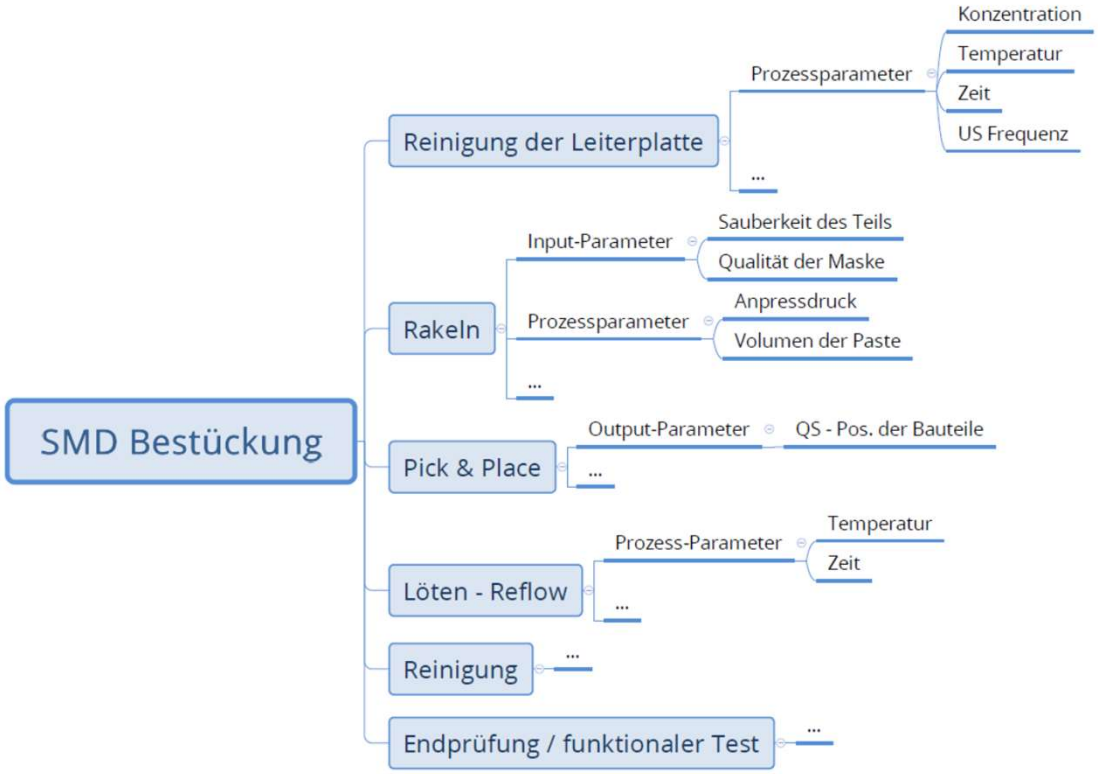
- Rakelgeschwindigkeit
- Temperatur Reflow Löten
- …

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

- Dicke der Paste
- Position der Bauteile
- …

Beispiel Leiterplattenbestückung





Prozessregelkarten (Control Charts)

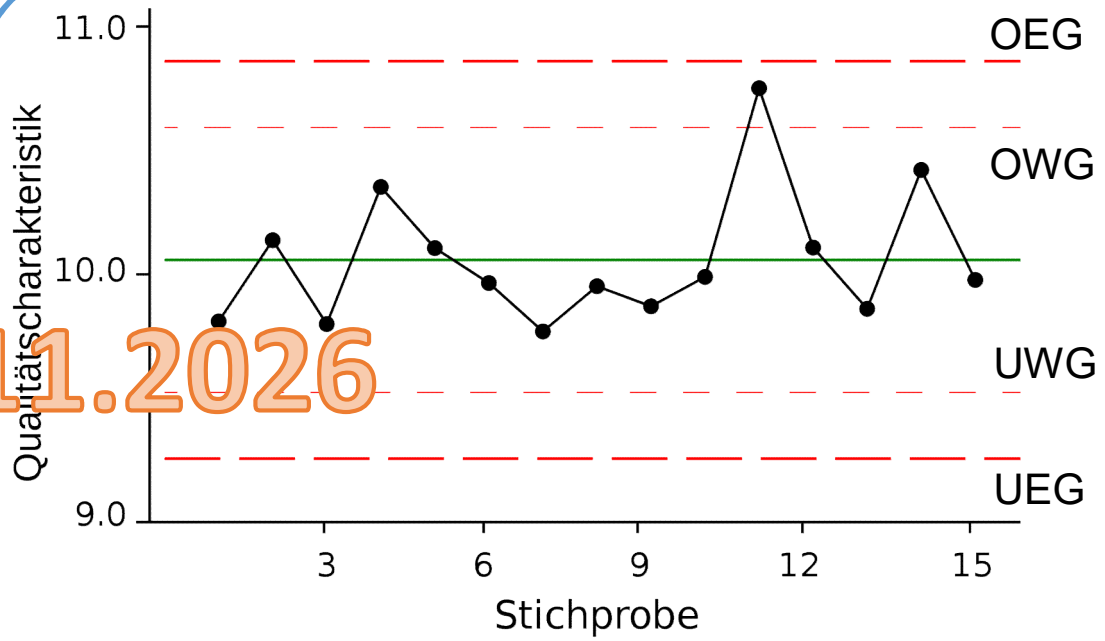
Funktion von Regelkarten

- 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

12.11.2026



Von derivative work: WikipediaMasterControlChart.svg: Der ursprünglich hochladende Benutzer war DanielPenfield in der Wikipedia auf Englisch - ControlChart.svg, Gemeinfrei, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=4141415

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 ± 3 Sigma der Häufigkeitsverteilung der dargestellten Stichprobenkenngröße

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

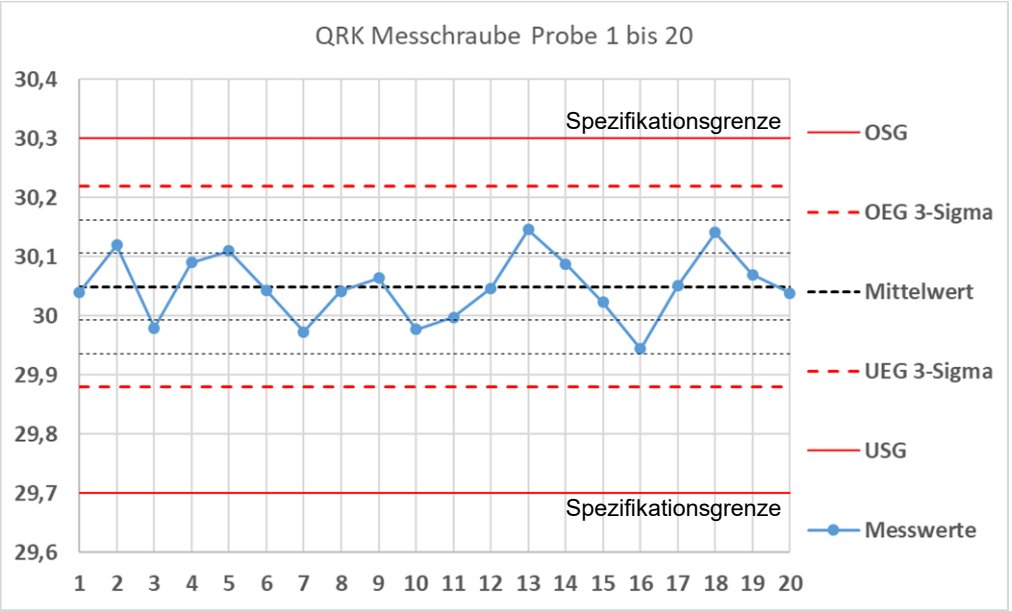
Im industriellen Alltag werden oft auch Mischformen verwendet, z.B. mit nur einer dynamischen Ober- und Untergrenze oder inklusive der statischen Spezifikationsgrenzen

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

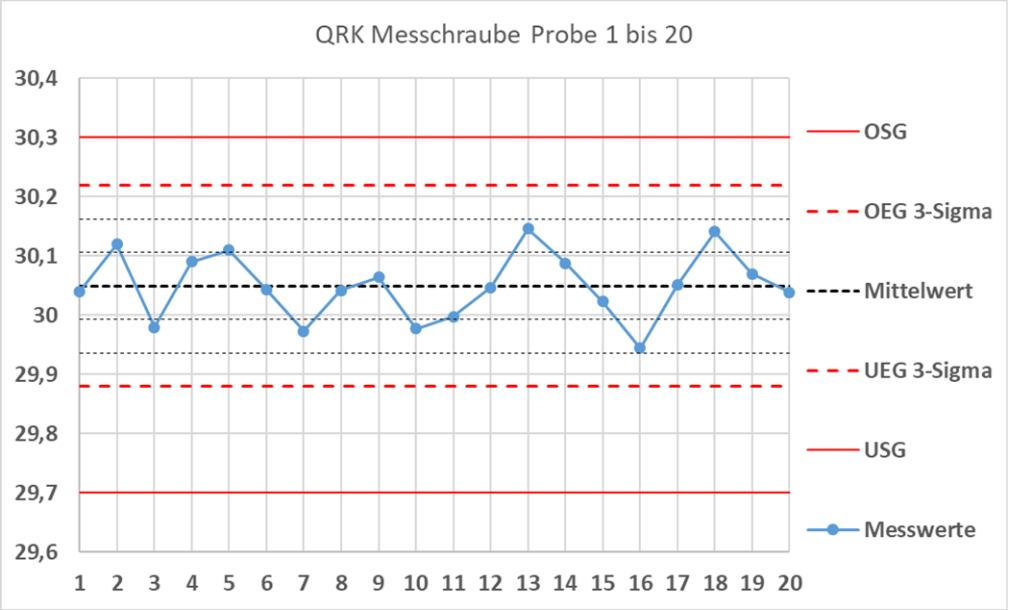
$$C_p = \frac{Toleranzbreite}{Prozessstreubreite}$$

Prozessfähigkeit

$$C_{pk} = Min(C_{po}; C_{pu})$$

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

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



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

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

- Der Wert und die Aussagekraft des cpk-Wertes hängt von der Wahl der Prozesstreubreite 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 cpk-Wert, desto besser die Prozessfähigkeit.
- Bei einem cp-Wert von 1 ist die Prozessstreubreite gleich der Toleranzbreite.

Kontinuierliche Verbesserung

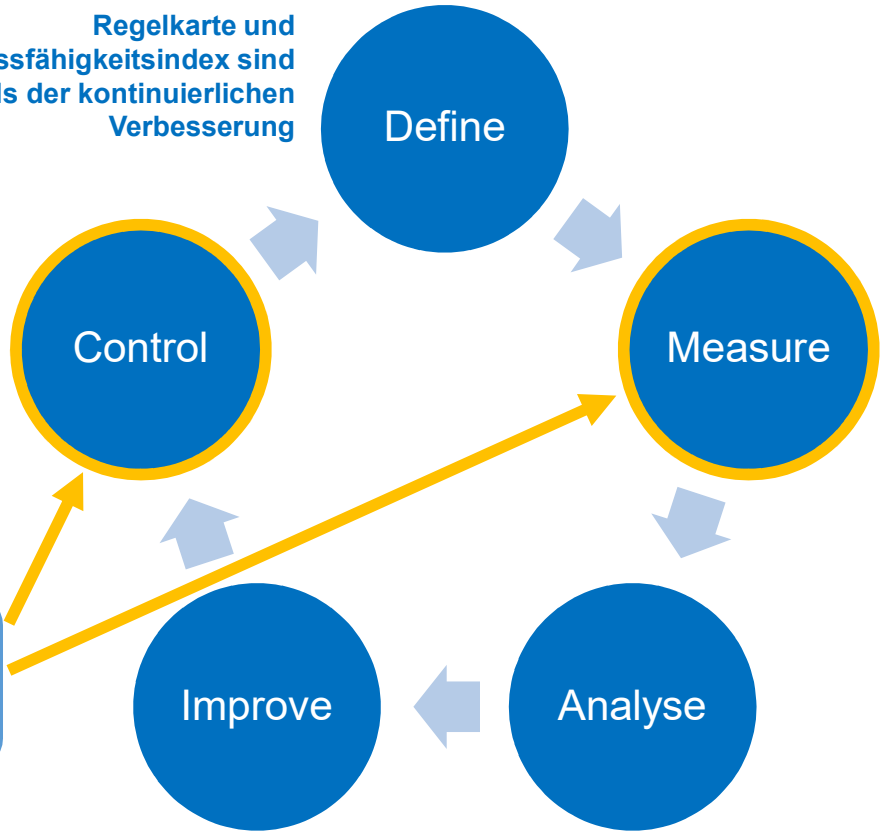
Ziel: Prozesse sollen im Produktionsablauf kontinuierlich stabiler werden

- 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…

Regelkarte und Prozessfähigkeitsindex sind wichtige Tools der kontinuierlichen Verbesserung



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

Elektrische Messtechnik

Zustandsüberwachung von Maschinen

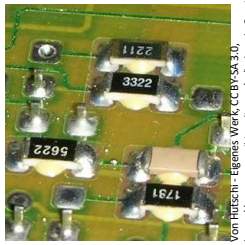
- Regelung von Maschinen
- Automatisierung
- Funktionskontrolle
- Instandhaltung



https://www.ubisoft.com/de-de/game/star-trek/bridge-crew

Parametererfassung in Prozessen

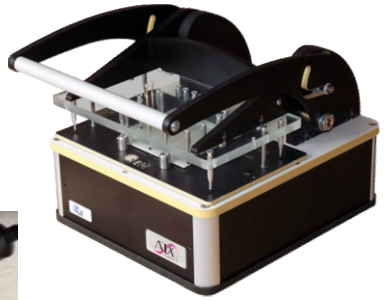
- Statistical Process Control (SPC)
- Regelkartenerstellung
- Prozessregelung
- Automatisierung



Von Hütsch - Eigenes Werk, CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3632266

Qualitätskontrolle von Produkten

- Warenausgangsprüfung
- Zwischenprüfungen
- Messen von Kundenspezifikationen
- Funktionale Prüfung



https://www.se-ndh.de/produkte/testadapter

Produktentwicklung und Labor

- Testen von Prototypen
- Laboraufbauten
- Machbarkeitsstudien



https://www.elektormagazine.de/news/

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 ±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.

a) Bewerten Sie den Prozess ad hoc auf der Basis der in der Tabelle angegebenen Werte (qualitativ, ohne weitere statistische Auswertung).
b) Berechnen Sie den Mittelwert der Stichprobe mit der entsprechenden Formel aus der Vorlesung „von Hand“.
c) Berechnen Sie die Standardabweichung der Stichprobe mit der entsprechenden Formel aus der Vorlesung „von Hand“.
d) Zeichnen Sie eine Regelgarte, 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.
e) Bestimmen Sie den Prozessfähigkeitsindex des Prozesses.
f) Bestimmen Sie das Prozesspotential.
g) Welche Schlüsse ziehen Sie nun, da Sie Regelkarte, Prozessfähigkeit und Prozesspotential vor Augen haben?
h) Welche Messunsicherheit sollte die zur Prüfung verwendete KMG höchstens haben?