



ERFOLG MIT SPC

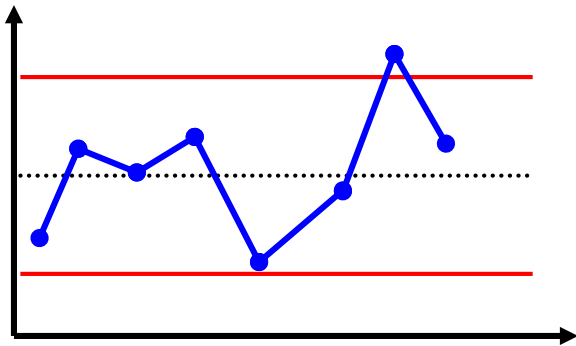
SINNVOLLE ANWENDUNG IN FERTIGUNG UND ADMINISTRATION

Verfasser: Alexander Frank

TQU AKADEMIE
Magirus-Deutz-Straße 18
89077 Ulm
Tel.: +49 731 14660-200
akademie@tqu-group.com
www.tquakademie.com

Statistische Prozessregelung/Regelkarten (SPC)

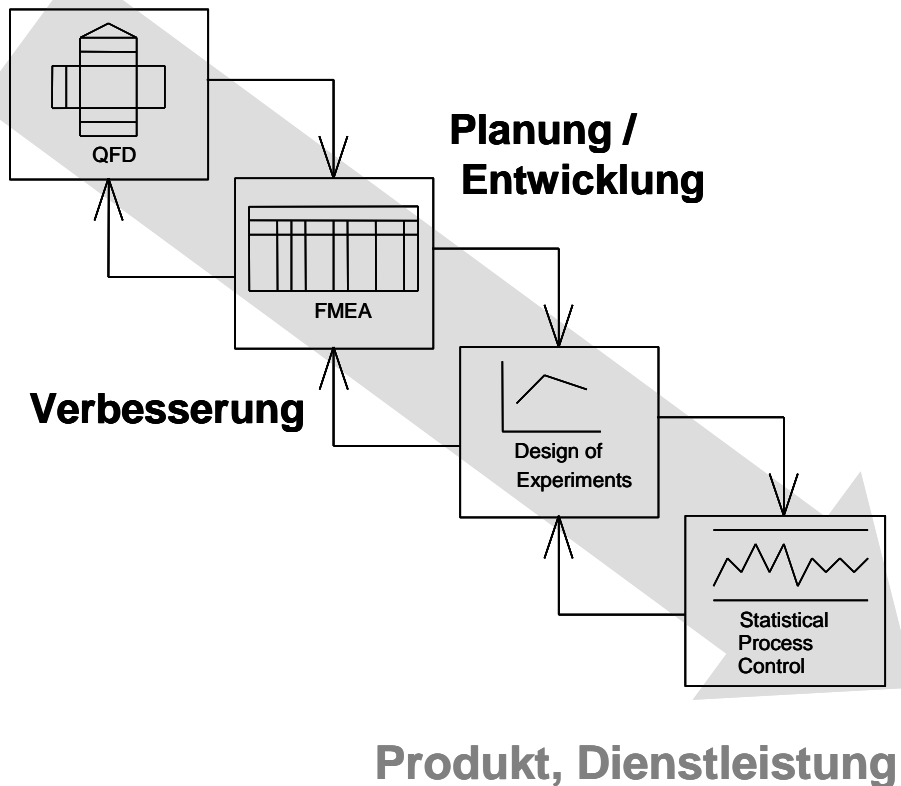
- Einführung in SPC
- Umsetzung von SPC
- Anwendungsphasen SPC



EINFÜHRUNG IN SPC

Einordnung von SPC/Regelkarten

Kundenforderungen



QFD

Kundenanforderungen in ein Produkt / eine Dienstleistung übersetzen

FMEA

Risikoanalyse hinsichtlich der Erfüllung der (Kunden-) Anforderungen

DOE

Produkte und Prozesse systematisch im Versuch optimieren

SPC

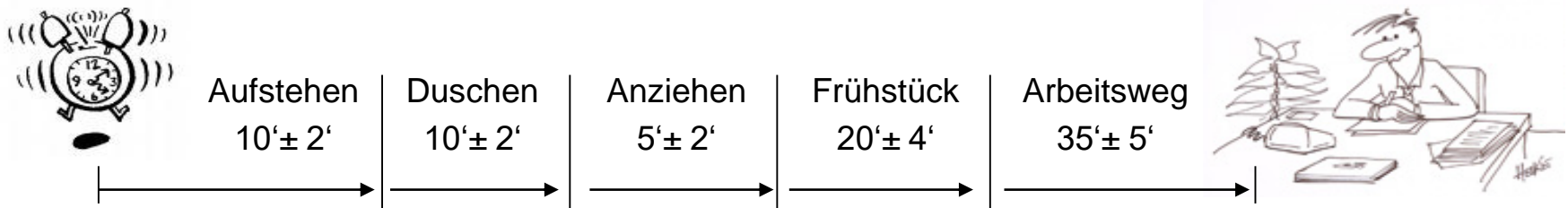
Prozesse nach statistischen Modellen regeln und verbessern

Das Phänomen der Streuung (Variation)

- Streuung ist ein natürliches Phänomen, das sich in der Natur, bei Experimenten, in Prozesssituationen und auch im Alltag beobachten lässt.

Beispiel aus dem Alltag

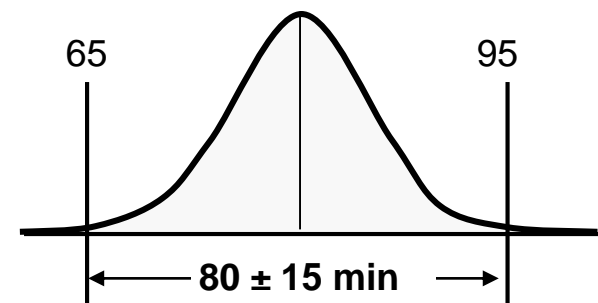
- Wenn Sie die Zeit messen vom Klingeln des Weckers bis zum Eintreffen am Arbeitsplatz, werden Sie feststellen, dass Sie dies nicht immer in der gleichen Zeit schaffen, auch wenn der Tätigkeitsablauf jeden Tag derselbe ist.



Ergebnis

Durchschnittlich benötigte Zeit: 80 min

Unterschiede von Tag zu Tag: ± 15 min



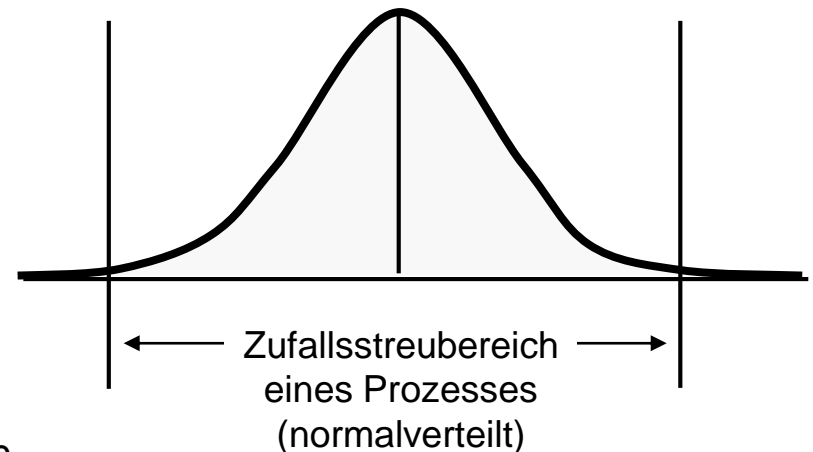
Variation von Prozessen

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.

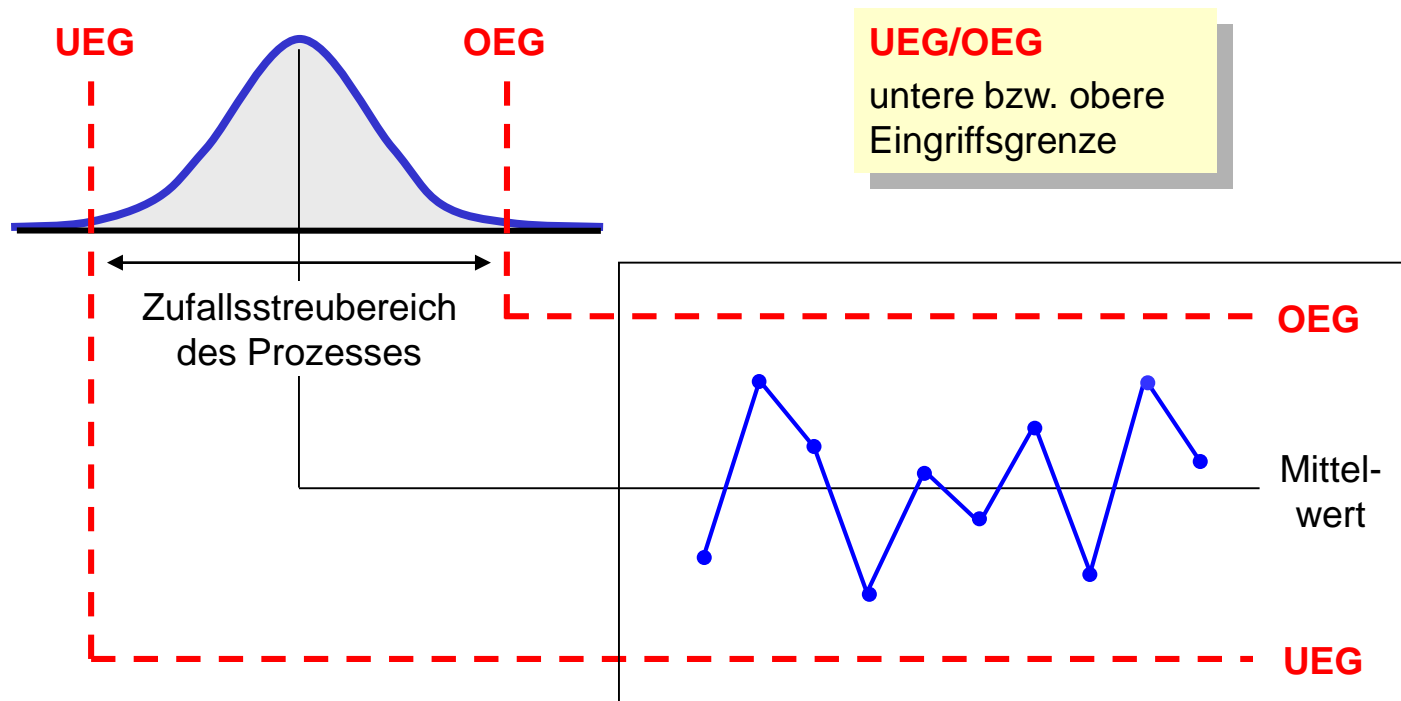
nicht-natürliche Prozessvariation

- 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.



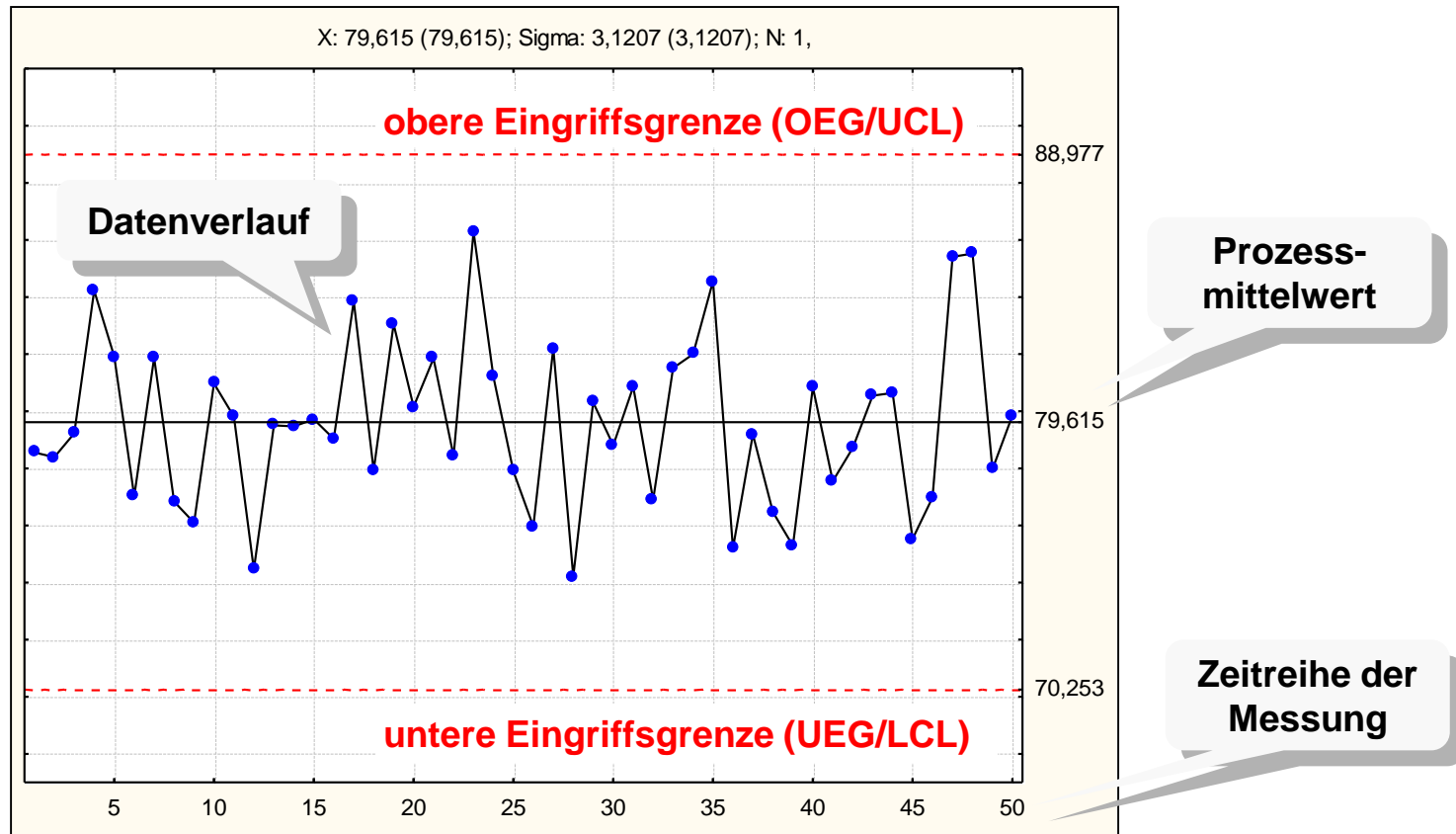
Zufallsstreuungsbereich und Regelkarten

- Der **Zufallsstreuungsbereich** oder die **natürliche Schwankungsbreite** einer Variable definiert die untere resp. die obere Eingriffsgrenze einer Regelkarte (**UEG/OEG**).



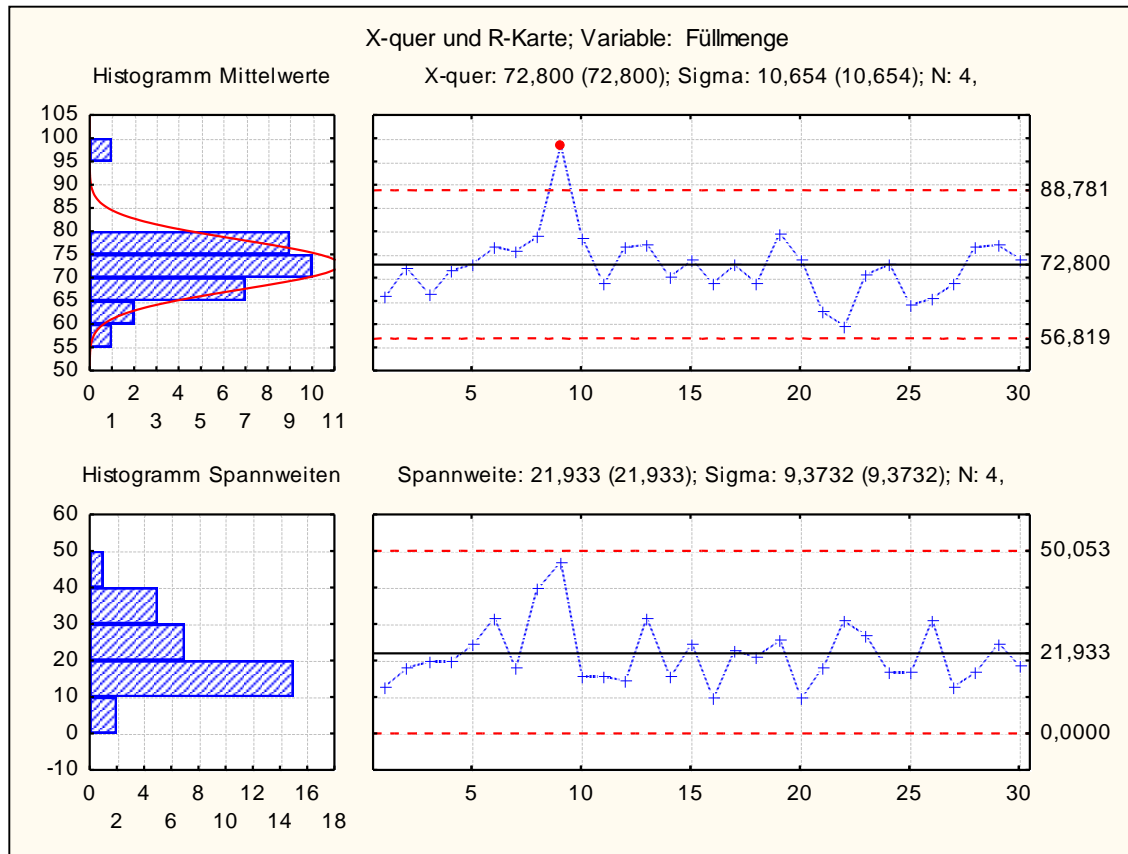
Komponenten einer Regelkarte (1)

Beispiel einer Einzelwert-Regelkarte (x-Karte/I-Karte)



Komponenten einer Regelkarte (2)

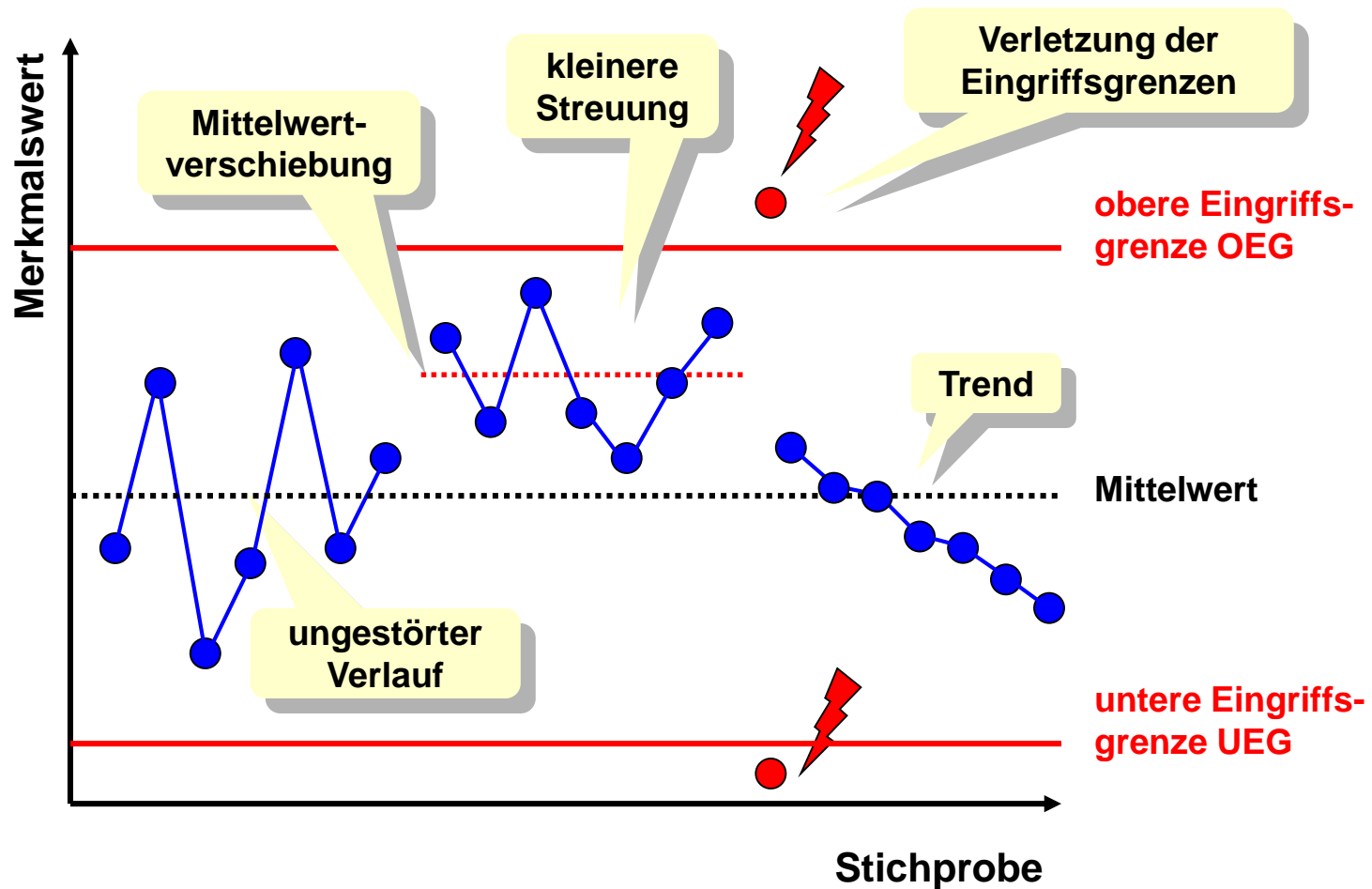
Beispiel einer Mittelwert/Range-Regelkarte (xq/R-Karte)



Darstellung der
Prozesslage mit
Zufallsstrebereich der
Stichprobenmittelwerte

Darstellung der
Prozessstreuung mit
Zufallsstrebereich der
Stichprobenspannweite

Beispiele weiterer nicht-zufälliger Ereignisse



Zweck von Regelkarten

- Eine Regelkarte /SPC ist ein **Instrument zur Klassifizierung der Prozessstreuung**.
- Basierend auf statistischen Prinzipien erlauben Regelkarten die **Identifizierung von nicht-zufälligen Mustern** im Datenverlauf und schaffen damit Ansatzpunkte zur Prozesssteuerung und Prozessverbesserung.

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

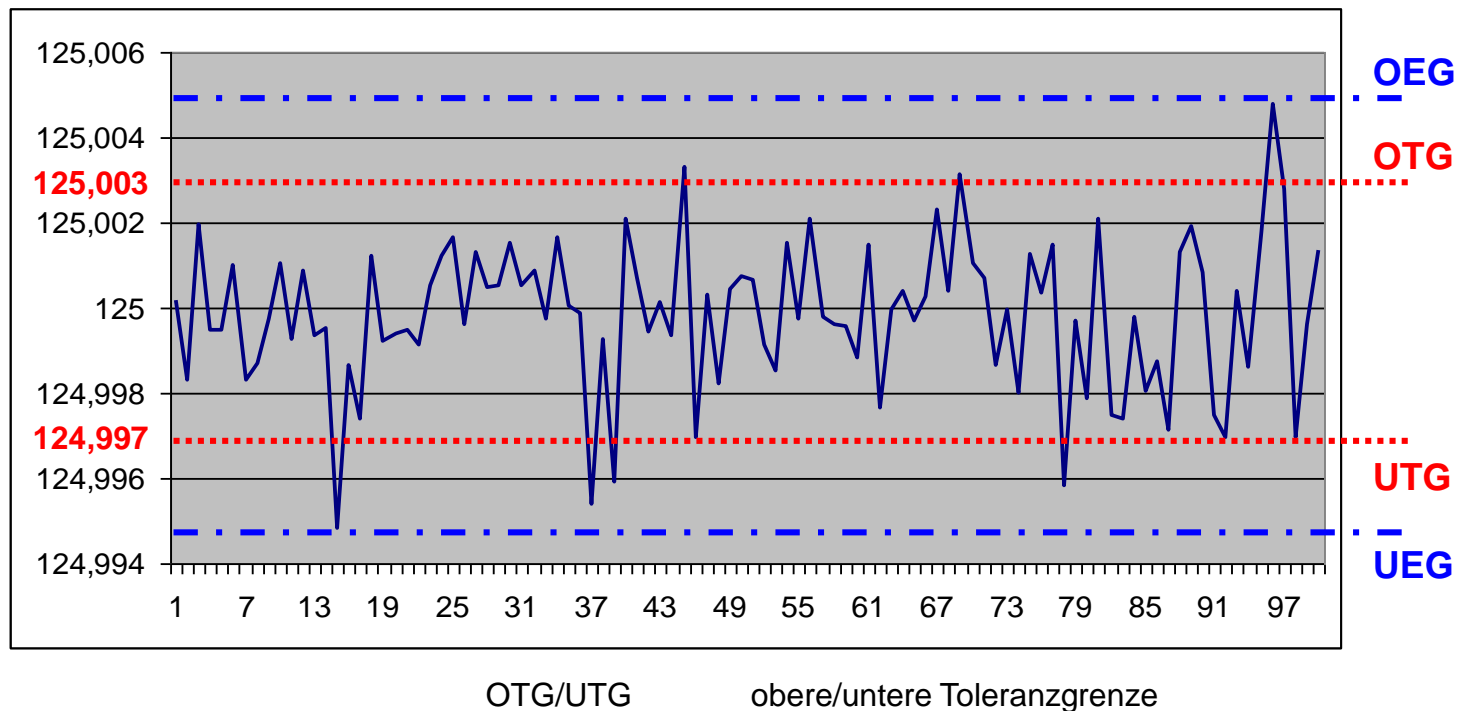
- Regelkarten sagen aus, **ob** ein Prozess außer Kontrolle ist – oder nicht.
 - Anhängig davon wird nachgeregelt/Untersuchungen eingeleitet – oder eben nicht.
- **Die Reaktion auf eine Situation außer Kontrolle (spezielle Ursachen) entscheidet wesentlich, ob ein SPC-Programm erfolgreich ist.**

Beispiele allgemeiner und spezieller Ursachen

Prozess	Streuung durch allgemeine Ursachen	Streuung durch spezielle Ursachen
Backprozess	Das Thermostat des Backofens gleicht leichte Temperaturschwankungen nicht aus.	Das Öffnen der Backofentür während dem Backen führt zu unnötigen Temperaturschwankungen.
Dokumentation von Kundeninformationen	Einem erfahrenen Mitarbeiter unterläuft ein Flüchtigkeitsfehler.	Einem neuen Mitarbeiter unterlaufen Fehler bei der Dateneingabe.
Spritzgussformung von Plastikspielzeug	Geringe Abweichungen bei Teilen eines Lieferanten führen von Charge zu Charge zu einer leichten Streuung in der Festigkeit des Endprodukts.	Die Verwendung von Musterteilen eines neuen Lieferanten führt zu einer sprunghaften Änderung in der Festigkeit und Einheitlichkeit des Endprodukts.

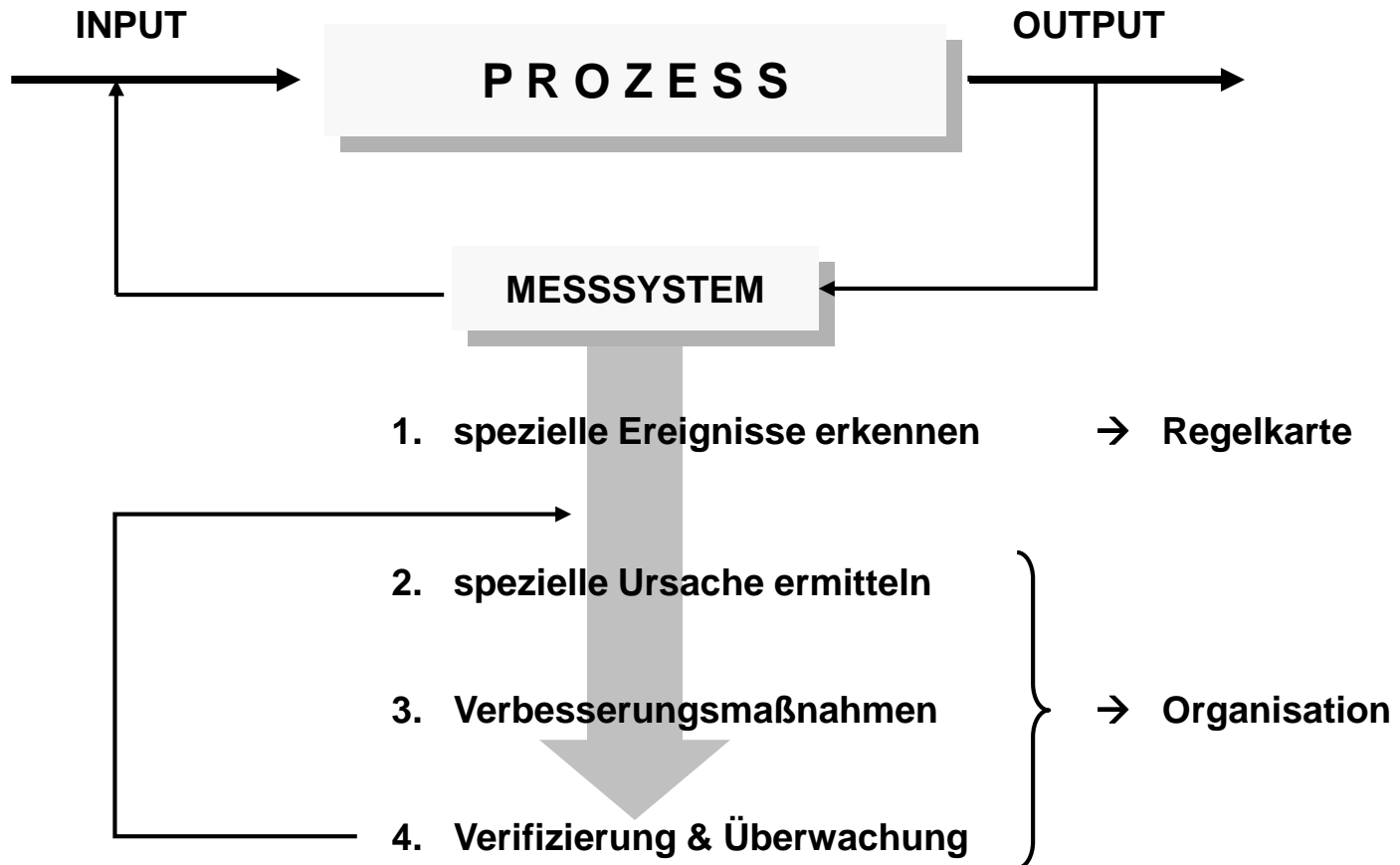
Quelle: Minitab-Hilfe

Keine Reaktion auf zufällige Ereignisse



Hier: **Kein Eingriff in den Prozess!!** Einige Ergebnisse liegen zwar außerhalb der Toleranz, aber immer noch im Zufallsstrebereich.
 Wird auf zufällige Schwankung reagiert, kommt es zu einer Übersteuerung des Prozesses und i.d.R. wird alles nur noch schlimmer.

Prozessverbesserung und Regelkarten



Anwendung von SPC in der Praxis

- 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! Sich fragen, ob SPC Sinn (noch) macht.
- Zögern Sie nicht, SPC wieder zu entfernen, wenn kein Nutzen mehr da ist – eine Regelkarte, die nie außer Kontrolle ist, ist wertlos!

→ bei **wenig Wissen über den Prozess**: SPC für die (kritischen) Output-Variablen

→ bei **bekanntem Prozess**: SPC für die (kritischen) Input-Variablen *

langfristiges Ziel: Sicherstellen Ergebnisse über die Steuerung der Inputfaktoren

* Mit statistischer Versuchsplanung (Design of Experiments/DoE) erhalten Sie math. Modelle, anhand derer Sie die Ergebnisse Y anhand der signifikanten Inputfaktoren $x_1 \dots x_n$ vorhersagen können: $Y = f(x_1 \dots x_n)$.

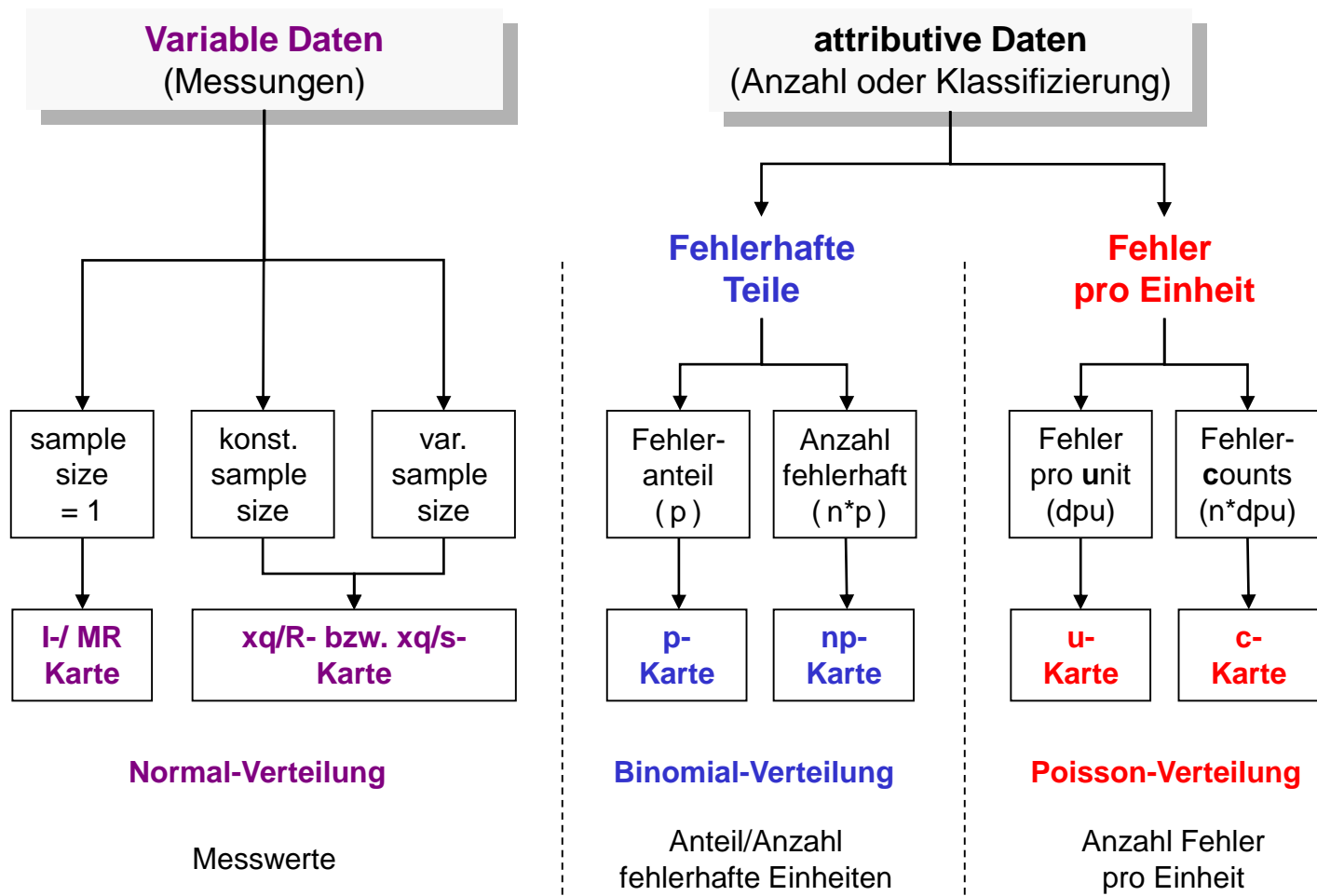
Vorteile von SPC-Systemen

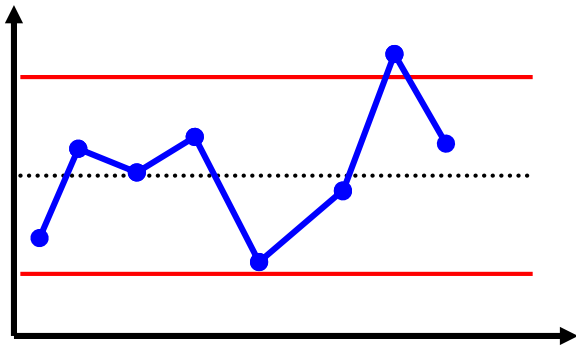
- erprobte Technik zur **Verbesserung von Prozessen**, zur **Vorbeugung von Fehlern** und zur **Erhöhung der Produktivität durch Qualität**
- liefert **diagnostische Information** (natürliche/unnatürliche Variation)
- **verhindert unnötige Eingriffe** in den Prozess durch die Unterscheidung von zufälliger und systematischer Streuung
- liefert Information über **Prozessfähigkeit** (als zusätzliche Information)
- schafft eine **gemeinsame Sprache** für die Diskussionen über die Prozessfähigkeit

"Statistical Process Control is, first and foremost, a way of thinking which happens to have some tools attached." *Quelle: Wheeler, Chambers, S. xiii*

übersetzt etwa: „Statistische Prozessregelung ist in erster Linie eine Denkweise, zu der auch noch einige Werkzeuge gehören.“

Die klassischen Regelkarten (Shewhart-Karten)





UMSETZUNG VON SPC

SPC-Vorgehensweise

- **Auswahl** der geeigneten Messgröße
- Definition des **Punkts im Prozess**, an dem gemessen wird
- Festlegen des **Typs der Regelkarte** in Anhängigkeit des Merkmals
- 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 zur **Ermittlung der Eingriffsgrenzen (Vorlauf)**
- Erstellen der **Formulare** zur Eintragung der Messungen
- Festlegen der **Prozeduren**
- **Schulung** der Prüfer

Vorlauf zur Festlegung der Eingriffsgrenzen

- Ermittlung der anfänglichen Eingriffsgrenzen durch eine **Kurzzeit-Fähigkeitsanalyse** (Vorlauf).
- Mindestens 30-50 Messungen (besser 100) zur Berechnung der Eingriffsgrenzen (Kontrolle über Vertrauensbereich/Konfidenzintervall).
- Eventuell Ermittlung und **Eliminierung spezieller Ursachen**.
- **Ausreißer** sollten nicht in die Berechnung der Eingriffsgrenzen einfließen.
- Eingriffsgrenzen werden fixiert und nicht ständig neu berechnet.
- Ziel ist es, den Prozess über die Zeit **kontinuierlich zu verbessern** und dann die Eingriffsgrenzen einzuengen.



Stichprobenauswahl

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)

→ Aus Sicht der Empfindlichkeit sollte der Stichprobenumfang möglichst groß sein.
Orientieren Sie sich an der Operationscharakteristik.

Stichprobenhäufigkeit

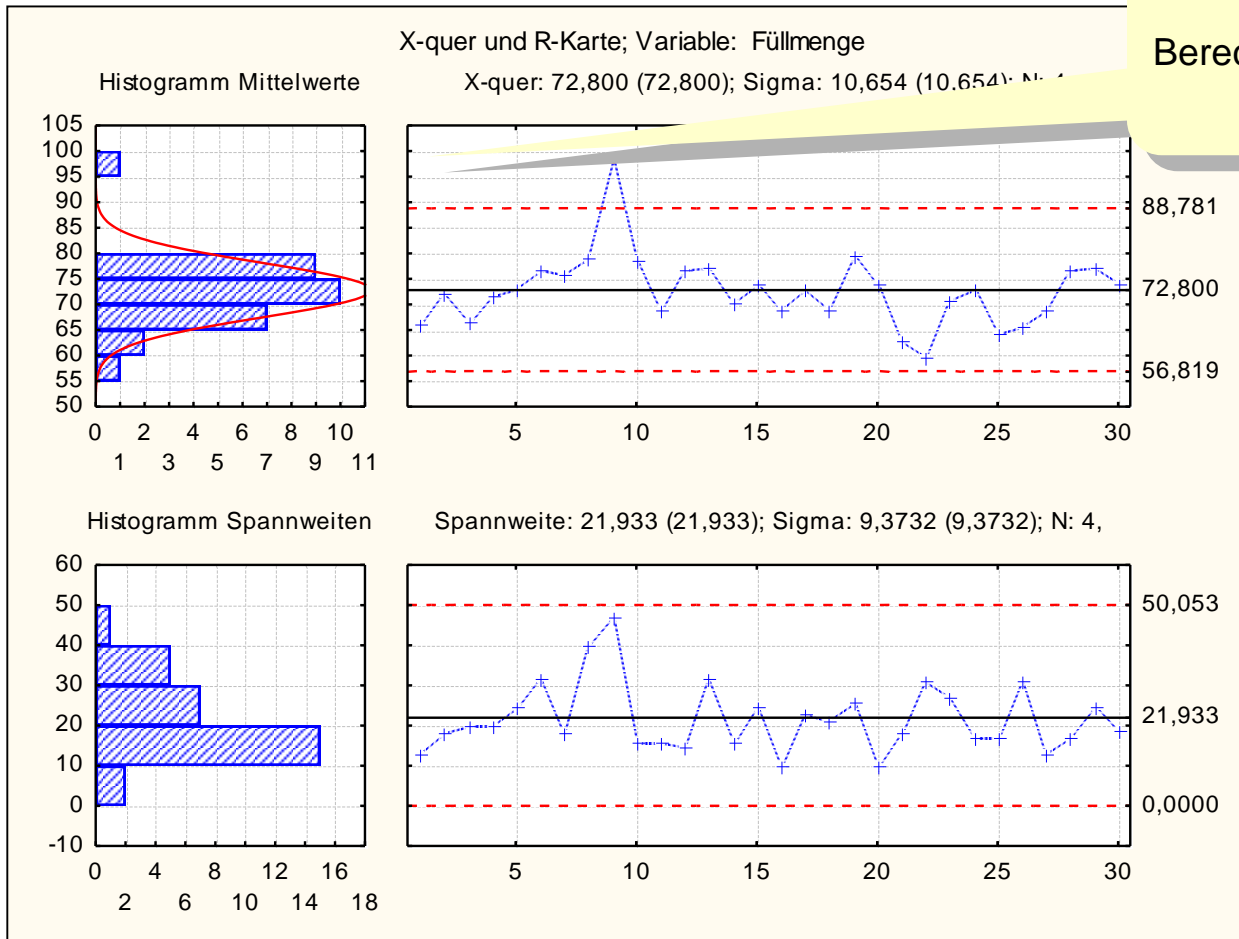
- nicht zu oft, nicht zu wenig – im allgemeinen: je häufiger, je besser
- besser häufige Stichprobenziehung mit wenigen Teilen (z.B. 3 * 5 Teile pro Schicht und Linie), als größere Stichproben alle 2 Wochen
- Empfehlenswert sind gleiche Zeitintervalle, z.B. alle 2h oder 1 x pro Schicht

Rationale Untergruppen (s. auch Prozessfähigkeit in Subgruppen)

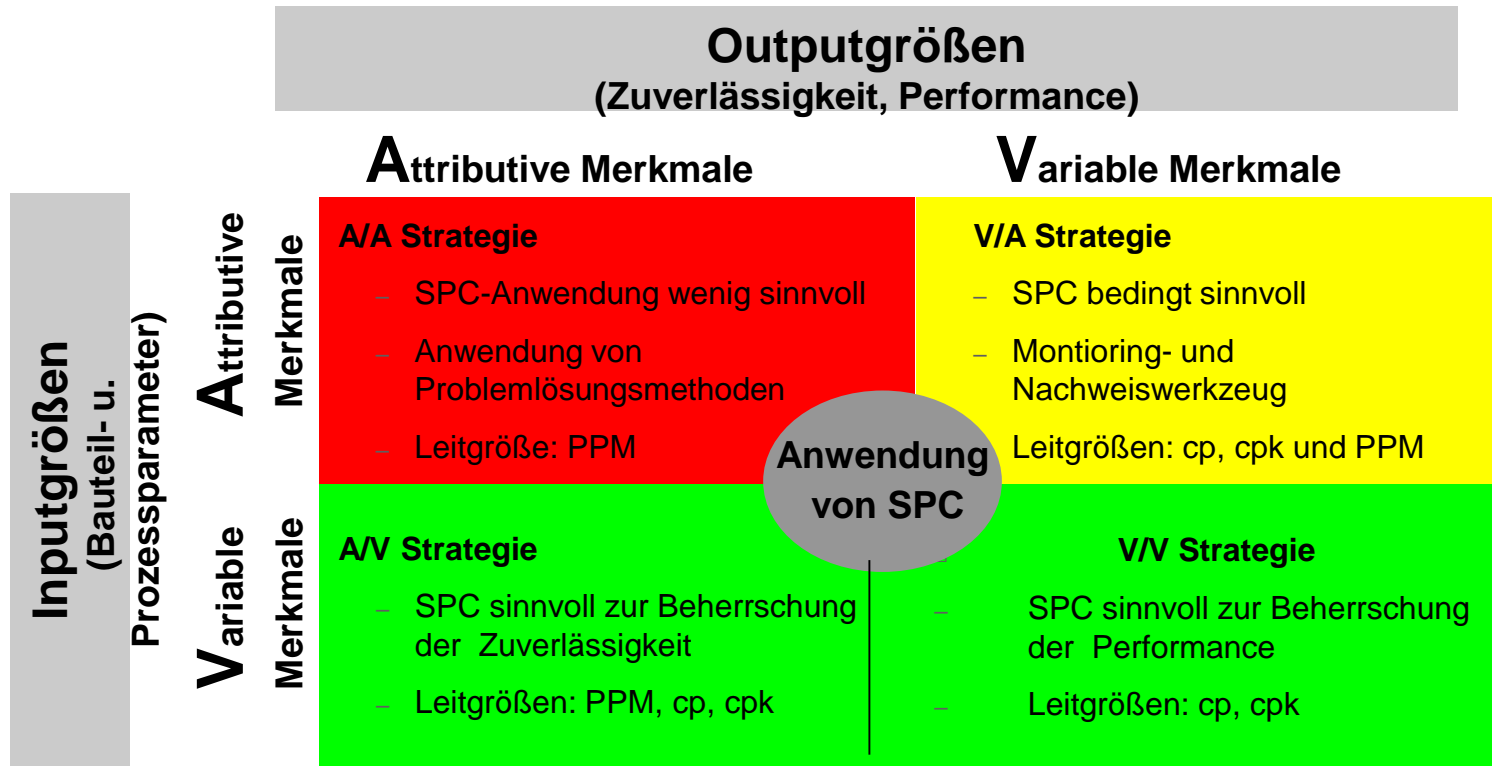
- Versuch den Prozess zu erfassen, wenn er konsistent ist (Störgrößen konstant)
- Ziel: ermitteln von (Mittelwert-) Unterschieden zwischen den Subgruppen, welche die Gesamtstreuung erhöhen.

Festlegen der Regelgrenzen

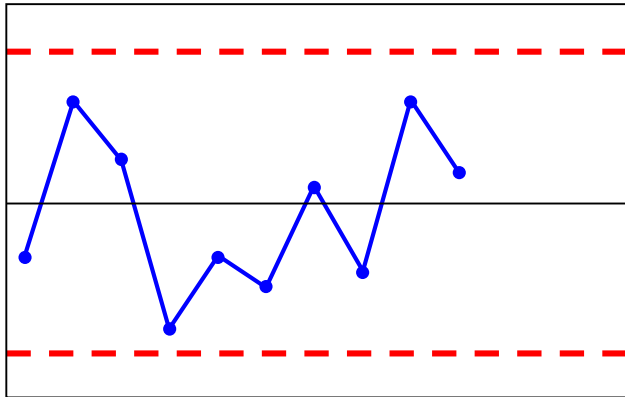
Ausreißer von der Berechnung der Regelgrenzen ausschließen.



Die sinnvolle Anwendung von SPC



Um SPC insgesamt sinnvoll als Werkzeug anzuwenden, ist es notwendig, die Zusammenhänge zwischen Output und Inputgrößen zu kennen. SPC hilft, rechtzeitig Veränderungen zu erkennen und geeignete Maßnahmen einzuleiten. Hierbei ist ebenso zwischen für den Kunden wichtige und den Prozess kritische Größen zu unterscheiden.



ANWENDUNGSPHASEN VON SPC

Phase I: SPC als Analyse-Tool

Prozesssituation

- Der Prozess zeigt **starke Variation**, die auf **spezielle Ursachen** zurückzuführen sind.
- Oft handelt es sich dabei um einen **neuen Prozess**, über dessen Einflussgrößen und deren Zusammenhänge **noch wenig bekannt** ist.

SPC-Strategie

- In dieser Phase wird SPC als **analytisches Tool** und **retrospektiv** genutzt, d.h. die Eingriffsgrenzen werden aus den gesammelten Stichproben berechnet, da es noch keine gültigen gibt.
- Da in dieser Phase der Prozessentwicklung mit **starker Variation** durch spezielle Ursachen zu rechnen ist, sind **Shewhart-Karten gut geeignet**,
- Ziel ist die **Stabilisierung** des Prozesses durch das **Abstellen spezieller Ursachen**, die **ARL** ist in dieser Phase **von geringer Bedeutung**.
- Wenn sich Phasen zeigen, in denen der Prozess nur noch **zufällige Variation** aufweist, können **für die Zukunft gültige Regelgrenzen** berechnet werden (> Phase II).

Phase I: SPC als Analyse-Tool

Vorgehen

- Es werden jeweils mind. **20-25 Stichproben á 3-5 Teile** entnommen. Wenn es keine Stichproben gibt, müssen mind. **60 Einzelmessungen** vorhanden sein.
- Die Daten werden in einer Mittelwert/Range- (**xq/R-**) oder einer Einzelwert/Moving Range-Karte (**x/MR**) dargestellt.
- Den **speziellen Ursachen** für alle Datenpunkte „außer Kontrolle“ muss nachgegangen werden. Das Augenmerk liegt bei **Ausreißern** und offensichtlichen **Mittelwert-Shifts**.
- Lassen sich Ausreißer und Mittelwertverschiebungen erklären, werden alle entsprechenden Werte für die **erneute Berechnung der Eingriffsgrenzen** unterdrückt.
- Durch die **engeren Regelgrenzen** liegen nun evtl. **neue Datenpunkte außerhalb**. Auch hier wird wiederum den speziellen Ursachen nachgegangen.
- Das Prozedere wird fortgesetzt, bis **alle verbleibenden Daten innerhalb UEG/OEG** zu liegen kommen und alle speziellen Ursachen idealerweise behoben sind.
- Es werden **nächste Stichprobensätze** entnommen und analog verfahren (wobei die von Ausreißern bereinigten Eingriffsgrenzen der vorgängigen Stichproben versuchsweise angewendet werden können).
- Dies wird fortgesetzt bis die **größten speziellen Ursachen** behoben sind und der Prozess **mehr oder weniger zufällig** streut.

Phase II: SPC als Monitoring-Tool/-System

Prozesssituation

- Der Prozess hat sich gegenüber der Phase I **stark stabilisiert** und zeigt in etwa die **zu erwartende Variation**. Die **starken Einflüsse** sind **bekannt** und **beherrscht**.
- Gelegentlich treten **spezielle Ursachen** auf, die i.d.R. zu **kleineren Mittelwertverschiebungen** führen.

SPC-Strategie

- In dieser Phase wird SPC **prospektiv** genutzt, d.h. die Eingriffsgrenzen werden aus einem historischen, stabilen Prozessverlauf berechnet (Vorlauf) und der zukünftige Prozessverlauf wird daran gemessen; **ARL ist wichtiges Kriterium**.
- Mit der kontinuierlichen Prozessverbesserung interessieren zunehmend auch **kleinere Abweichungen**, so dass **Shewhart-Karten zu unsensibel** werden und **CUSUM- oder EWMA-Karten** zum Einsatz kommen (ggf. in Kombination mit Shewhart-Karte).
- Im Vordergrund steht die **Prozess-Überwachung** und **-Steuerung**. Hauptsächliches Ziel ist die Korrektur von kleinen Abweichungen von einem kritischen Zielwert (durch z.T. schon bekannte spezielle Ursachen) durch Nachregelung des Prozesses.
- Zudem bietet SPC eine gute Basis zum **Nachweis der Prozessfähigkeit** sowie auch in dieser Phase **Ansatzpunkte zur weiteren Prozessverbesserung**.

Phase II: SPC als Monitoring-Tool/-System

Voraussetzungen für Phase 2

- Mittelwert und Streuung des Prozesses sind bekannt und \pm stabil.
- Prozess ist mit hoher Wahrscheinlichkeit „in Kontrolle“.
- Gelegentlich auftretende spezielle Ursachen führen kaum zu größeren Störungen.

Wahl der Regelkarte

Wenn Shifts $< 1,5*s$ erkannt werden sollen, sind Shewhart-Karten nicht mehr geeignet. Zwar werden diese durch die Anwendung der Run-Tests sensibler, doch die ARL(0) wird dadurch negativ beeinflusst und die Wahrscheinlichkeit eines Fehlalarms steigt.

Beispiel: Shewhart-Karte alleine \rightarrow ARL(0) = 370

Shewhart-Karte mit Western Electric Rules* \rightarrow ARL(0) = 91

\rightarrow Bei der Shewhart-Karte mit den Western Electric Rules ist durchschnittlich alle 91 Stichproben mit einem falschen out-of-control-Signal zu rechnen.

* WE-Rules: 1 Wert $> 3*s$ / 2 von 3 $> 2*s$ / 4 von 5 $> 1*s$ / 8 Werte auf 1 Seite

Phase II: SPC als Monitoring-Tool/-System

Initiale Berechnung der Regelgrenzen

- Zur Berechnung der Regelgrenzen sind mind. 25 Stichproben (mit $n = 3$, besser $n = 5$). Gewisse Autoren empfehlen hingegen 200-300 Einzelmesswerte.
- Nachdem gültige Regelgrenzen etabliert wurden, beginnt die Phase II: Die Regelgrenzen sind zukunftsgerichtet und dienen der Überwachung künftigen Produktion.

Review der Regelgrenzen

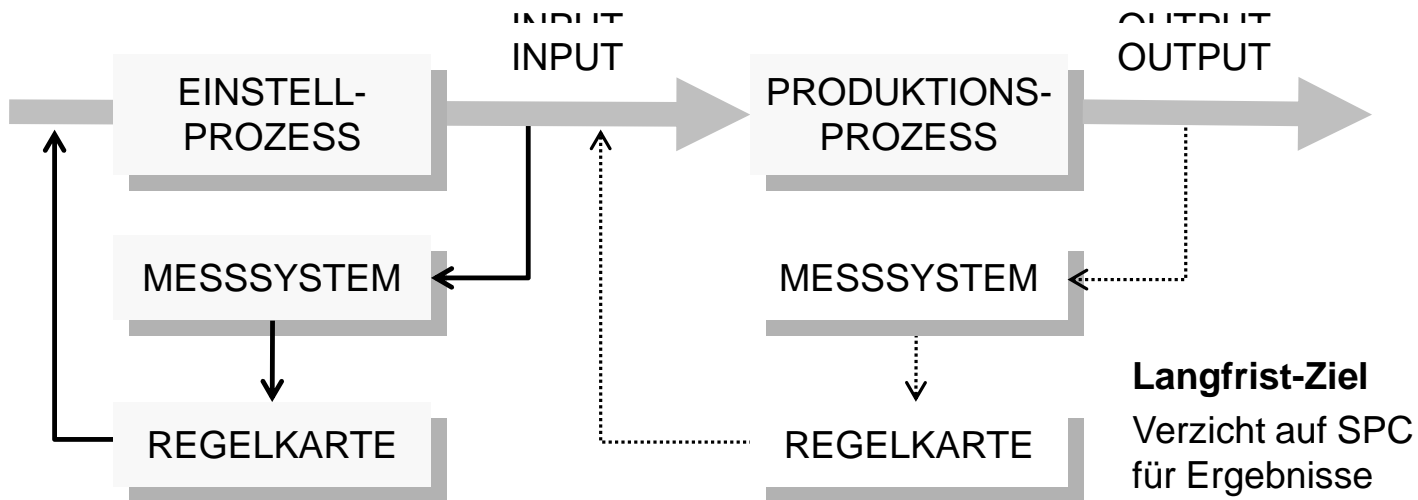
- Damit SPC effektiv bleibt, sind regelmäßige Reviews der Eingriffsgrenzen (Prozessstreuung) und der Mittellinie (Prozessmittelwert) nötig.
- Reviews sollten zeitlich oder stichprobengesteuert stattfinden.
- Die Regelgrenzen werden jedoch nur angepasst, wenn der Prozess sich signifikant verändert/verbessert hat.

Stichprobenumfang und Frequenz der Stichprobenziehung

- Stichprobenumfang n unbedingt in Zusammenhang mit $OC/ARL(\delta)$ betrachten.
- Die Frequenz ist abhängig von technischen (Häufigkeit und Art des Fehlertretens) und ökonomischen Kriterien (Prüfaufwand vs. Nachkontrollen und Ausschuss).

SPC als Frühwarn-System

- Als Frühwarn-System kann SPC dann bezeichnet werden, wenn die Inputfaktoren eines Prozesses mit SPC überwacht werden und nicht das Ergebnis/das End-Produkt bei der End-Kontrolle.
- Das setzt voraus, dass die Zusammenhänge zwischen den Inputfaktoren und dem Prozessergebnis bekannt sind ($Y = f(x_1, \dots, x_n)$) und für die kritischen Inputfaktoren Toleranzen abgeleitet wurden.
- Die Zusammenhänge $Y = f(x_1, \dots, x_n)$ lassen sich durch statistische Versuchsplanung/Design of Experiments (DoE) ermitteln.





Akzente setzen