



# Gemeinsam sind sie stark

## Statistical Process Control bei kleinen Stückzahlen

Statistische Prozesslenkung funktioniert üblicherweise dann, wenn viele Messdaten zur Verfügung stehen. Werden von einem Produkt nur geringe Mengen produziert, gibt es vergleichsweise wenige Daten. Ein Hersteller von Bohr- und Fräszentren hat mit dem Aachener Werkzeugmaschinenlabor ein Vorgehen entwickelt, bei dem Prozessmerkmale gruppiert und ausgewertet werden. So lässt sich auch bei geringen Stückzahlen die Fähigkeit der Prozesse nachweisen.

Michael Wiederhold, Jonathan Greipel, Robert Schmitt und Renato Ottone



Aufgrund zunehmender individueller Kundenwünsche geht der Trend in der Produktion zu immer kleineren Stückzahlen. Das stellt Unternehmen vor Herausforderungen bei der Überwachung und Regelung ihrer Prozesse. Diese findet üblicherweise mit statistischen Methoden wie der Statistischen Prozesslenkung (Statistical Process Control, SPC) statt. Es wird eine große Anzahl an (Mess-)Daten benötigt, um signifikante Aussagen über Prozesse zu erhalten. Bei kleinen Stückzahlen ist jedoch nur eine geringe Anzahl an Daten verfügbar. Das erschwert den Einsatz von SPC [1]. Vielen Unternehmen fehlt daher die Basis, um sicherheits- und qualitätsrelevante Entscheidungen treffen zu können. Die Regelung ihrer Prozesse basiert auf den Erfahrungen der Maschinenbediener und nicht auf objektiven Beobachtungen.

Vor diesem Problem stand auch Alesamonti, ein mittelständischer italienischer Hersteller von 5-Achs-Bohr- und Fräszentren. Dort wird mit 46 Mitarbeitern jedes Jahr eine geringe zweistellige Anzahl an Maschinen hergestellt. Dementsprechend steht nur eine begrenzte Datenbasis zur Steigerung des Prozesswissens zur Verfügung, während gleichzeitig höchste Qualitätsanforderungen gelten und fehlerhafte Teile zu sehr hohen Ausschusskosten führen. Daher hatte es sich das Unternehmen zum Ziel gesetzt, die Stabilität der Prozesse nachzuweisen und Fähigkeitskennwerte zu ermitteln, um diese in der Auftragsplanung gemeinsam mit dem Kunden zu berücksichtigen.

### Fokus liegt auf dem Prozess

SPC wird in der heutigen Fertigungspraxis häufig als Statistical Product Control interpretiert. Es wird also nur ein einzelnes Qualitätsmerkmal eines bestimmten Produkts betrachtet. Bei kleinen Stückzahlen erhält man dementsprechend eine geringe Anzahl an Messdaten und SPC kann nicht angewendet werden. Betrachtet man dagegen Statistical Process Control im ursprünglichen Wortsinn, liegt der Fokus nicht auf einzelnen Qualitätsmerkmalen eines Produkts, sondern auf dem Prozess, der diese Qualitätsmerkmale fertigt. Oftmals finden sich gleiche oder ähnliche Qualitätsmerkmale bei unterschiedlichen Produkten bzw. auf dem gleichen Produkt mehrmals. Wenn diese ähnlichen Qualitätsmerkmale (mit unterschiedlichen, aber ähnlichen Nennmaßen, Materialien etc.) vom selben Prozess geschaffen wurden, lassen sie sich zu Prozessgruppen zusammenfassen (Bild 1). So erhält man eine große Anzahl an Messdaten.

In den Prozessgruppen kann es bei diesem Vorgehen vorkommen, dass unterschiedliche Nennmaße oder Zielwerte (Target Values) vorhanden sind. Das wird gelöst, indem nicht der tatsächliche Messwert, sondern immer nur die Abweichung vom Nennmaß oder Zielwert erfasst wird. Dieses Vorgehen wird auch als Deviation from Nominal (DNOM) bezeichnet.

Bei Alesamonti wurde als Pilotprozess für den Einsatz von SPC das Schleifen von Linearführungen von Werkzeugmaschinen ausgewählt. In diesem Prozess führten Schwankungen zu großen Aufwänden bei der manuellen Nacharbeit, und Messdaten sind seit dem Jahr 2009 ausreichend »»

dokumentiert. Für die Analyse wird die Äquidistanz, also der gleichbleibende Abstand zwischen je zwei parallelen Führungsflächen entlang des Bauteils mithilfe von Messuhren gemessen. Dafür werden zehn Messpunkte in gleichbleibendem Abstand entlang der gesamten Bauteillänge verteilt und jeweils der Abstand zwischen den Führungsflächen gemessen. Die erste Messung dient als Nullreferenz, bei allen weiteren werden die Abweichungen im Messblatt eingetragen. Speziell für diesen Einsatz konstruierte Vorrichtungen verhindern das Verkippen der Messuhr gegen die Messachse.

### Prozessmerkmale als Metadaten

Sind alle zehn Werte aufgenommen, wird die Spannweite der Messwerte bestimmt und als Wert für die Äquidistanz eingetragen. Um schließlich eine gruppierte Auswertung mittels SPC zu ermöglichen, ist es notwendig, mit den Messdaten auch die relevanten Prozessmerkmale als Metadaten aufzunehmen. Bei Alesamonti wurden

mit einem Ishikawa-Diagramm folgende relevante Prozessmerkmale identifiziert:

- Material: Gusseisen oder Stahl,
- Toleranzen: 15 oder 20 µm,
- Messprozess: zwei Bauarten von Messuhren,
- Führungspaar: B-A oder D-C oder F-E,
- Bauteillänge: zwischen 1500 und 10 500 mm.

Für die Untersuchung im Rahmen des Projekts wurden historische Messdaten ausgewertet. Um diese Daten für SPC nutzen zu können, musste entschieden werden, nach welchen Prozessmerkmalen gruppiert bzw. getrennt wird.

### Material (gruppieren):

Es existierten keine gesicherten Erkenntnisse über den Einfluss des Materials auf den Prozess. Daher wurde das Material hier zunächst gruppiert.

### Toleranzen (trennen):

Da es sich um einen mehrstufigen Prozess mit signifikantem Werkereinfluss handelt, war davon auszugehen, dass die Toleranzbreite ausgenutzt wird und der Prozess damit bei weiteren Toleranzen zu breiterer Streuung neigt. Daher wurde hier getrennt.

### Messprozess (entfällt):

Im ausgewerteten Zeitraum gab es eine eindeutige Zuordnung zwischen Toleranz und Messprozess. Im Rahmen dieser Untersuchung wurde der Messprozess daher nicht weiter betrachtet.

### Führungspaar

#### (gruppieren mit Einschränkung):

Auch hier besteht eine Abhängigkeit zur Toleranz. Die Führungspaares B-A und D-C sind immer mit 20 µm und das Führungspaar F-E immer mit 15 µm toleriert. Hier griff also die oben bereits festgelegte Trennung. Die Paare B-A und D-C wurden gruppiert, da sie am Bauteil symmetrisch angeordnet sind und so nicht von einem signifikanten Einfluss auszugehen war.

### Bauteillänge (gruppieren):

Bei der Bauteillänge gibt es keine festen Abgrenzungen. Beim Stand der Untersuchungen gab es 26 unterschiedliche Bauteillängen. Eine Trennung der Gruppen wäre hier zwischen Bauteilen über und solchen unter einer bestimmten Länge denkbar. Da keine

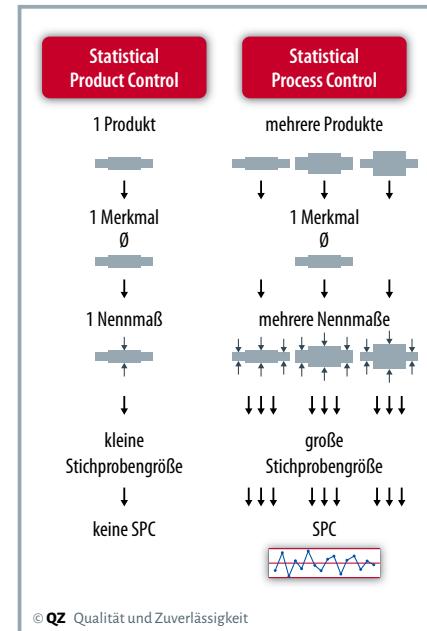


Bild 1. Gruppierung beim Einsatz von SPC für kleine Stückzahlen

Indizien für eine Längenabhängigkeit existierten, wurden alle Bauteillängen zu einer Gruppe zusammengefasst.

Aufgrund der geringen Anzahl an Werten bei kleinen Stückzahlen bot sich die Shewhart-Qualitätsregelkarte mit gleitendem Mittelwert und gleitender Spannweite mit einem Stichprobenumfang von zwei an. Da die Äquidistanz stets einen Zielwert von null besitzt, konnten die ermittelten Daten direkt ohne Anwendung des DNOM-Verfahrens in die Software eingetragen werden. Zusätzlich ist es sinnvoll, die für die Gruppierung infrage kommenden Prozessmerkmale als Metadaten aufzunehmen, um diese später noch zuordnen und Gruppierungen nachträglich anpassen zu können.

### Nachweis fähiger Prozesse

Im Folgenden wurden damit die zwei Regelkarten für Führungen mit 15 µm Toleranz und mit 20 µm Toleranz generiert. Weil in diesem Fall keine älteren Daten verfügbar waren, wurden die Parameter der Regelkarten (Mittelwerte und Streuungen) aus den vorhandenen Daten bestimmt. Das ist aus prozessregelungstechnischer Sicht nicht optimal, da somit Grenzen aus Stichproben bestimmt wurden, die nicht nachgewiesen stabil waren. Bei kleinen Stichproben geht es zu Beginn nicht anders.

Mit den Regelkarten ist es möglich, Ereignisse in Form von Prozesslage- >>>

## INFORMATION & SERVICE

### LITERATUR

1 Schmitt, R.; Lose, J.: Umfrage Prüfprozessmanagement – Aktueller Umgang mit Prüfprozessen im Unternehmen. Aachen 2011

### AUTOREN

Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Michael Wiederhold, geb. 1986, und M. Sc. Jonathan Greipel, geb. 1988, sind wissenschaftliche Mitarbeiter in der Abteilung Modellbasierter Systeme am Werkzeugmaschinenlabor (WZL) der RWTH Aachen.

Prof. Dr.-Ing. Robert Schmitt, geb. 1961, ist Direktor am WZL der RWTH Aachen sowie am Fraunhofer-Institut für Produktions-technologie (IPT).

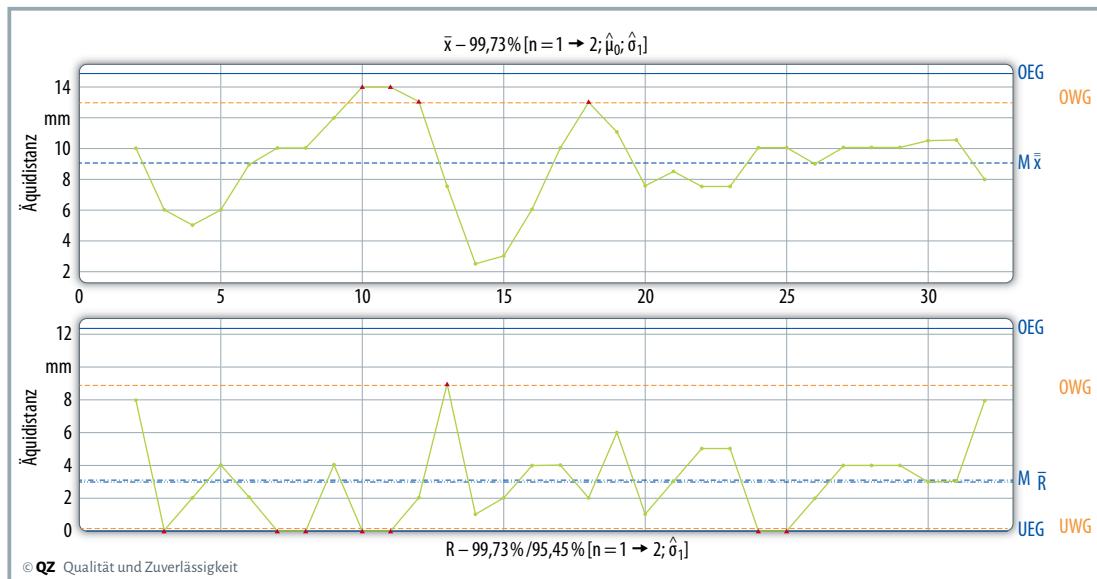
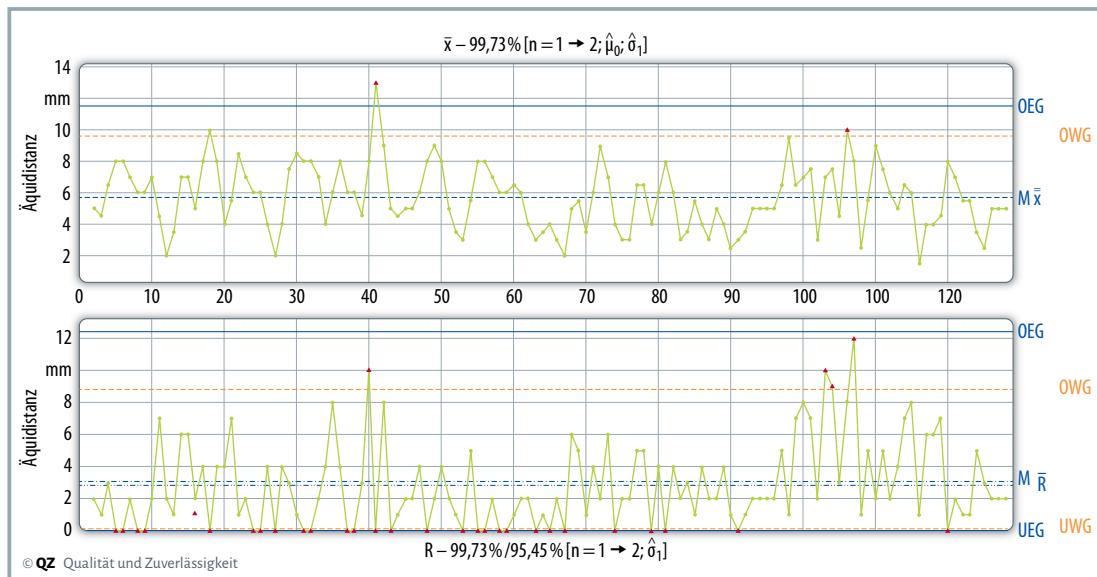
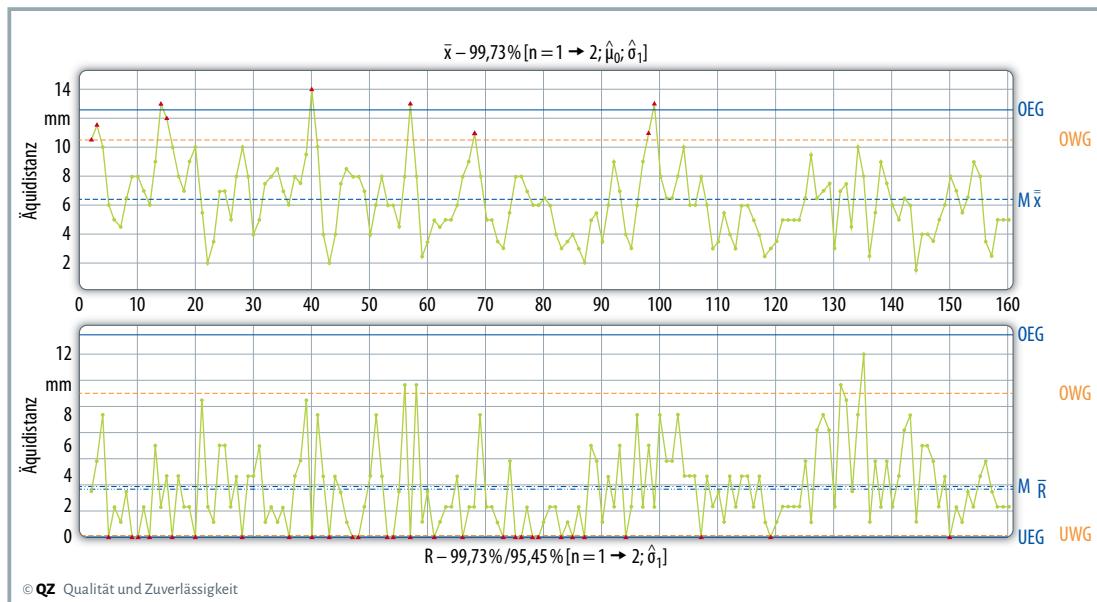
Renato Ottone, geb. 1947, ist Inhaber von Isonorm di Renato Ottone in Grana AT, Italien, vormals Leiter Forschung und Entwicklung bei Alesamonti Srl, Barasso VA, Italien.

### KONTAKT

Michael Wiederhold  
T 0241 80-28211  
m.wiederhold@wzl.rwth-aachen.de

### QZ-ARCHIV

Diesen Beitrag finden Sie online:  
[www.qz-online.de/1263263](http://www.qz-online.de/1263263)



UEG: Untere Eingriffsgrenze; OEG: Obere Eingriffsgrenze; UWG: Untere Warngrenze; OWG: Obere Warngrenze;  $M\bar{x}$ : Mittelwert der gleitenden Mittelwerte;  $M\bar{R}$ : Mittelwert der gleitenden Spannweiten; R: Spannweite

oder Prozessstreuungsveränderungen zu entdecken. Diese dürften auf Basis des bisherigen Prozessverlaufs nur mit einer sehr geringen Wahrscheinlichkeit auftreten. Werden solche Ereignisse erkannt, ist mit hoher Wahrscheinlichkeit von einer

Veränderung des Prozesses auszugehen und dieser sollte näher untersucht und ggf. nachjustiert werden. Bei einigen Regelkarten waren mehrere Grenzüberschreitungen erkennbar (Bild 2). Bei näherer Untersuchung der Daten fiel auf, dass die-

## Systematische Gruppierung von Prozessen

Das von WZL und Alesamonti verwendete systematische Vorgehen befindet sich in der aktuellen Entwurfsversion der Norm ISO/WD 7870-8. Es gliedert sich in drei Schritte:

**Schritt 1:** Zunächst werden potenziell gruppierbare Prozesse identifiziert. Das können Prozesse sein, die dem gleichen Ablauf folgen, dabei aber die gleichen Merkmale mit unterschiedlichen Merkmalsausprägungen produzieren, wie Nennwert, Material, Messprozess, Werkzeug etc. Variierende Merkmale werden in einem Ishikawa-Diagramm zusammen mit ihrem möglichen Zustandsraum eingetragen.

**Schritt 2:** Anschließend wird bestimmt, ob ein Unterschied zwischen den Merkmalsausprägungen dazu führt, dass Prozesse sich signifikant unterschiedlich verhalten. Das kann durch Expertenwissen, Expertenworkshops, Simulation,

Vorversuche und Analyse historischer Messdaten bestimmt werden. Prozesse können anhand der Merkmale gruppiert und in einer Qualitätsregelkarte überwacht werden, wenn:

- keine signifikanten Unterschiede festgestellt oder vermutet werden,
  - signifikante Unterschiede als systematisch erkannt sind und kompensiert werden können und
  - keine sonstigen praktischen Erwägungen dagegensprechen.

**Schritt 3:** Im Verlauf einer SPC werden immer mehr Daten über den Prozess angesammelt. Das sollte dazu genutzt werden, periodisch die Validität der gebildeten Gruppen zu prüfen. Das gilt insbesondere, wenn häufig Eingriffsgrenzenüberschreitungen ausgelöst werden, denen keine Ursache zugeordnet werden kann. Hierfür ist die Speicherung der Daten mit Metadaten entscheidend.

se Grenzüberschreitungen fast immer dort auftraten, wo Bauteile mit einer Länge größer als 4 000 mm in die Karte eingetragen worden waren.

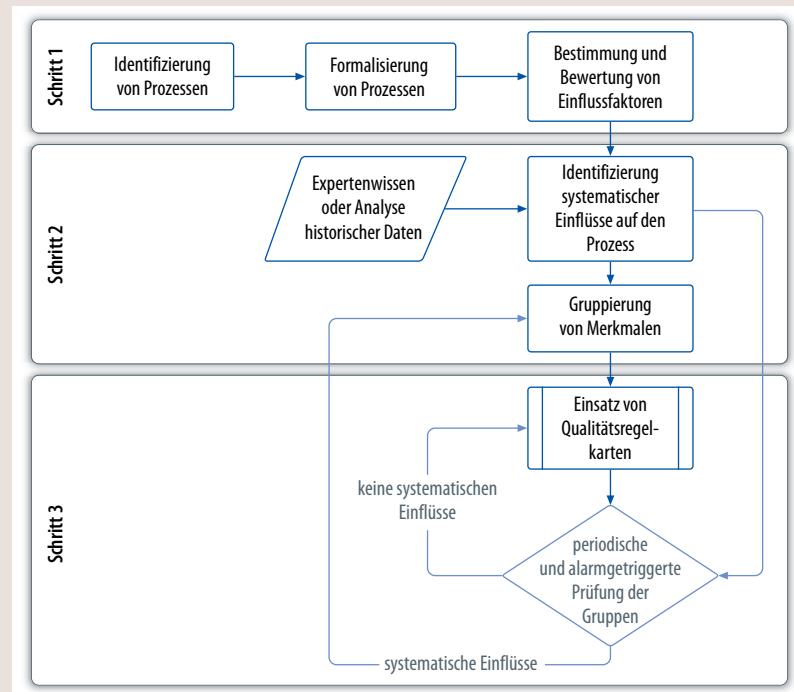
Daraus folgte die Vermutung, dass der Prozess sich bei unterschiedlichen Längen doch signifikant anders verhält und dies zu Unregelmäßigkeiten in der Regelkarte führt. Daher wurden probeweise die Daten nach der Bauteillänge größer oder kleiner als 4 000 mm getrennt und die entsprechenden Regelkarten erstellt. Dabei zeigte sich, dass der überwiegende Teil der Grenzüberschreitungen für Längen kleiner als 4 000 mm verschwindet (Bild 3).

Vergleicht man diese Grenzüberschreitungen mit der Qualitätsregelkarte für Längen größer als 4 000 mm, fällt sofort auf, dass die Mittellage der Daten gegenüber der anderen Gruppe deutlich zu größeren Werten hin verschoben ist (Bild 4). Daraus ergibt sich auch eine Verschiebung der Eingriffsgrenzen. Es liegt der Verdacht nahe, dass verschiedene Bauteillängen keine homogene Gruppe bilden. Das lässt sich mithilfe eines statistischen Tests auf Mittellage nachweisen. Daher wurden die verschiedenen Bauteillängen im weiteren Verlauf in getrennten Regelkarten beobachtet. Legt man die Regelkarten zugrunde, konnten die Datensätze als stabil eingestuft werden und Prozessfähigkeitskennwerte ermittelt werden. Für Längen unter 4 000 mm betrug dieser  $c_{pk}=1,7$  und für Längen größer als 4 000 mm  $c_{pk}=1,04$ .

## Genug Daten für Prozessbetrachtung

Es zeigt sich, dass auch für Bauteile und Merkmale, die in kleiner Stückzahl gefertigt werden, ausreichend große Datenmengen gebildet werden können. Eine Überwachung mithilfe einer Qualitätsregelkarte ist so möglich. Dafür muss von einer Produktmerkmals- zu einer Prozessmerkmalsbe trachtung umgedacht und ähnliche Merkmale zusammengefasst werden, die vom gleichen Prozess gefertigt wurden.

Alesamonti konnte die Fähigkeit seiner Prozesse nachweisen und damit gegenüber seinen Kunden Mehrwert generieren und seine interne Auftrags- und Kostenplanung optimieren. Die Beobachtung des signifikanten Einflusses der Länge wurde genutzt, um die Aufspannung der Werkstücke zu optimieren und längenunabhängiger zu machen. ■



#### Vorgehen zur Identifizierung und Gruppierung ähnlicher Merkmale