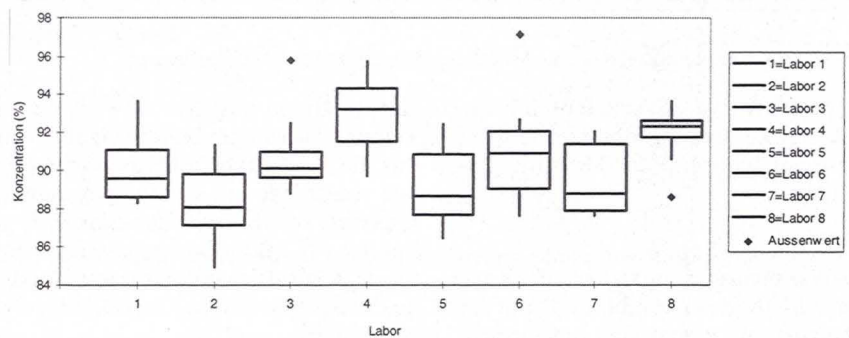


Christian Keller\* und Yves-Laurent Grize\*

# Visualisierungstechniken in der statistischen Qualitätskontrolle

■ *Durch den Wandel der Qualitätskontrolle werden Mitarbeiter gezwungen, effizienter zu arbeiten und komplexe Zusammenhänge selber zu beurteilen. Hilfestellung dabei geben Visualisierungstechniken, die im folgenden vorgestellt werden.*

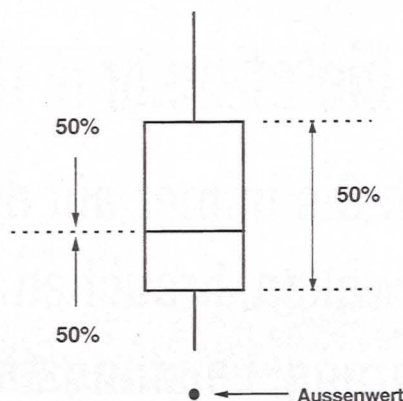


1 Parallele Boxplots (mit EasyStat 4.1) der Messergebnisse aus 8 Labors.

Die Qualitätskontrolle hat sich in den letzten zehn Jahren stark verändert. Nach einer früher produktorientierten Denkweise ist man heute zu einer prozessorientierten Qualitätskontrolle übergegangen. Qualität kann nicht mehr durch Inspektion allein, sondern vor allem durch Planung und Prozessüberwachung erreicht werden. Weiter ist das Streben nach ständiger Verbesserung heute eine Grundvoraussetzung für Qualität geworden.

Durch diesen Wandel der Qualitätskontrolle werden Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter gezwungen, effizienter zu arbeiten und oft komplexe Zusammenhänge selber zu beurteilen. Sie sind aufgefordert, aktiv mitzudenken und Ergebnisse schnell zu liefern. In diesem Zusammenhang kommen Techniken zur Visualisierung der Information, die in den Daten versteckt ist, eine besonders wichtige Rolle zu. Sie unterstützen das Beurteilungsvermögen, erleichtern die erforderliche Kommunikation und helfen, Probleme und deren Lösungen schneller zu entdecken. Mit der Entwicklung des Computers und immer anwenderfreundlicheren Benutzeroberflächen lassen sich letztlich aussagekräftige und informationsreiche Grafiken leicht erstellen.

In diesem Artikel werden vier in der Qualitätskontrolle wichtige Visualisie-



2 Schematische Darstellung eines Boxplots mit einer extremen Beobachtung.

rungstechniken vorgestellt: parallele Boxplots, Streudiagramm-Matrix sowie Kontroll- und Cusum-Karte. Alle diese Grafiken können schnell und einfach mit den validierten Excel-Makros EasyStat der Firma Aicos Technologies AG erzeugt werden.

## Auswertung eines Ringversuches: Parallele Boxplots

■ **Problem:** Analysiert man eine Probe in verschiedenen Labors, wird man nie exakt das gleiche Ergebnis erhalten. Dies weist darauf hin, dass es zufällige oder systematische Einflussfaktoren gibt, die

zu Unterschieden zwischen Labors führen. Es gibt viele Gründe für solche Unterschiede, beispielsweise verschiedene Messapparaturen oder Umgebungseinflüsse. Zumindest ein Teil dieser Variation ist unvermeidlich.

■ **Fragestellungen:** Ringversuche sind Experimente, mit denen man versucht, solche Unterschiede zwischen Labors zu erkennen und zu quantifizieren [1].

Folgende Fragestellungen stehen dabei im Vordergrund:

1. Wie gross sind die Unterschiede innerhalb der Labors (Wiederholbarkeit) und zwischen den Labors (Reproduzierbarkeit)?

2. Gibt es systematische Unterschiede zwischen Labors?

Diese Fragen und praktische Überlegungen bestimmen den Aufbau eines Ringversuches. Im einfachsten Fall führt dies dazu, dass in einigen Labors Wiederholungsmessungen derselben Probe gemacht werden. Die Wiederholungen innerhalb eines Labors sollten dabei unter identischen Bedingungen durchgeführt werden.

■ **Technik:** Die statistische Auswertung eines Ringversuches besteht im Wesentlichen in der Zerlegung der gesamten Variabilität in einen Anteil innerhalb und zwischen Labors. Eine Varianzanalyse (ANOVA), wie sie etwa mit Excel durchgeführt werden kann, nimmt einem diese Arbeit ab. Vor jeder statistischen Auswertung empfiehlt es sich aber, die Daten zuerst mit geeigneten Techniken grafisch darzustellen. Für die Analyse von

\*Ch. Keller, Dr. Y.-L. Grize, Aicos Technologies AG, Efringerstrasse 32, CH-4057 Basel.

# Hinweis

In dieser Ausgabe ist ein Faltblatt der

**labworld-online GmbH**  
**D-79219 Staufen**

Telefon (07633) 98 16 70  
Telefax (07633) 98 16 92

eingeklebt.

Falls Sie das Faltblatt an dieser Stelle nicht mehr vorfinden sollten, fordern Sie

**Ihr persönliches Exemplar**

über die untenstehende Kennziffer an.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.

Ihr  
**LaborPraxis-Leserservice**

► **Kennziffer 101**

## QUALITÄTSKONTROLLE

Ringversuchen erweisen sich parallele Boxplots, wie sie in Abbildung 1 dargestellt sind, als besonders wertvoll. Ungeöhnliche Messergebnisse lassen sich damit schneller und sicherer als in Tabellen erkennen [2]. Zudem läßt sich die Variabilität zwischen und innerhalb der Labors visuell abschätzen.

■ Beispiel: Im Beispiel aus Abbildung 1 handelt es sich um eine Analyse einer Probe mit HPLC in acht verschiedenen Labors, wobei in jedem Labor zehn Bestimmungen durchgeführt wurden.

Ein Boxplot liefert eine kompakte grafische Darstellung von Messwerten. Im Kasten, dessen untere und obere Begrenzung durch die beiden Quartile definiert sind, liegt die Hälfte der Daten. Der Median wird als Linie innerhalb des Kastens gezeichnet. Im Bereich, der zwischen den Endpunkten der vertikalen Linien (Whiskers) liegt, befindet sich der grösste Teil der Messwerte. Falls extreme Beobachtungen, sogenannte Ausserwerte oder Ausreisser, vorhanden sind, werden diese separat als einzelne Punkte dargestellt (Abbildung 2).

■ Auswertung: Abbildung 1 zeigt, dass insbesondere die Labors 4 und 8 systematisch höhere Messwerte liefern. Zudem ist in Labor 8 die Streuung bedeutend kleiner als in den anderen Labors. Schliesslich fallen in den Labors 3, 6 und 8 drei extreme Werte auf, die stark von den übrigen Messungen der entsprechenden Labors abweichen. Der F-Test einer ANOVA würde aber nur zeigen, dass die Unterschiede zwischen den La-

bors statistisch signifikant sind. Damit wird aber die Frage, welche Labors besonders unterschiedlich sind, noch nicht beantwortet. Dagegen können die parallelen Boxplots schnell Auskunft darüber geben. Parallele Boxplots liefern somit viel wertvollere Informationen als nur das Resultat einer ANOVA. Sie ermöglichen Aussagen über die Verteilung der Daten und Vergleiche zwischen Gruppen (Labors).

### Entdeckung von versteckten Zusammenhängen: Streudiagramm-Matrix

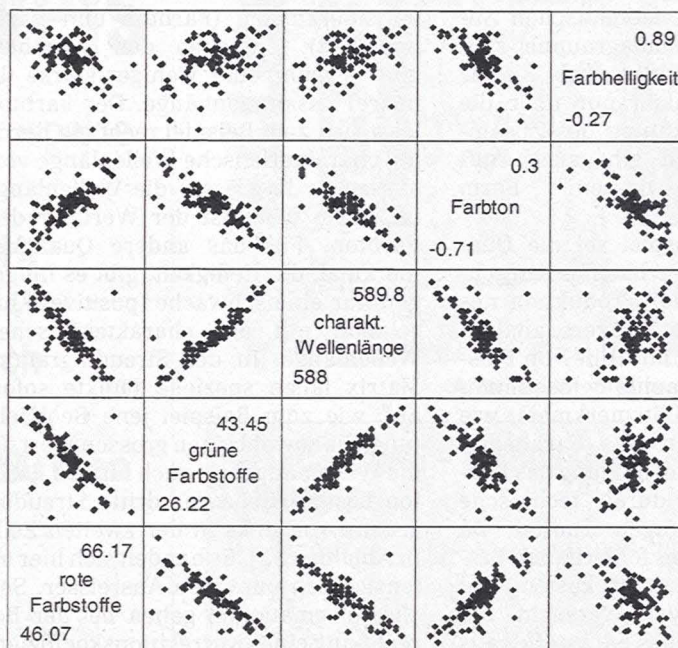
■ Problem: Vielfach werden für ein Objekt mehrere Qualitätsmerkmale bestimmt. In solchen multivariaten Situationen ist man daran interessiert, Zusammenhänge zwischen den Merkmalen zu finden, die zu neuen Erkenntnissen führen können.

■ Fragestellungen:

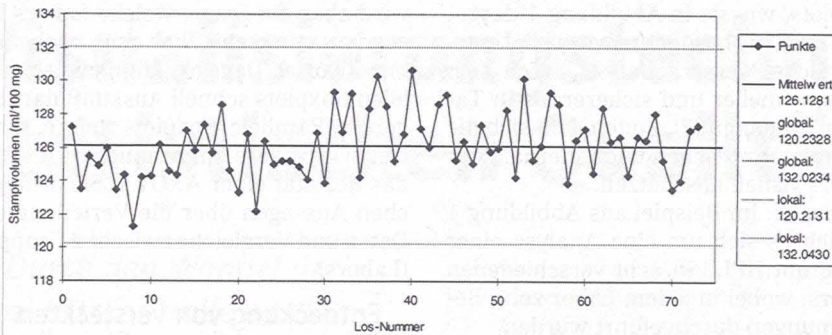
1. Lassen sich aufwendige Messungen vermeiden, ohne wesentlich an Information zu verlieren, falls zwischen einzelnen Qualitätsmerkmalen starke Korrelationen bestehen?

2. Kann durch die Kenntnis der Zusammenhänge zwischen Qualitätsmerkmalen und Prozessparametern ein Produkt optimiert und dessen Qualität verbessert werden?

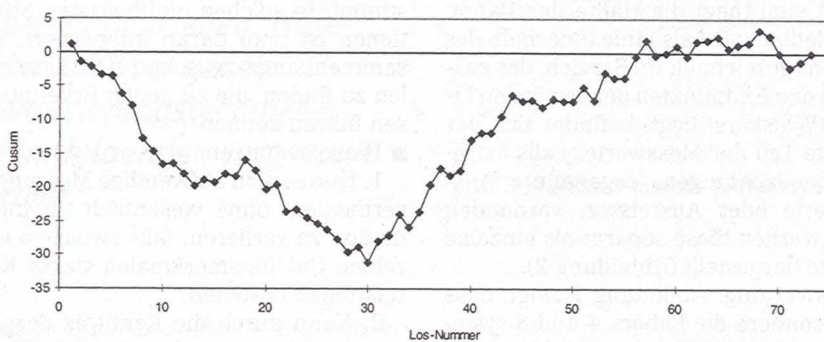
■ Technik: Ein Mass für den (linearen) Zusammenhang von zwei Grössen ist die Korrelation. Für multivariate Datensätze können die paarweise berechneten Korrelationskoeffizienten als Matrix ge-



**3 Streudiagramm-Matrix mit EasyStat 4.1.**



4 Kontrollkarte des Stampfvolumens von 73 Losen mit EasyStat 4.1.



5 Cusum-Karte der Daten aus Abbildung 4 mit EasyStat 4.1.

### Aufspüren von kleinen Prozessverschiebungen: Kontroll- und Cusum-Karte

■ Problem: Auf einen laufenden Prozess wirken zufällige und systematische Einflüsse, so dass ein an einem Produkt gemessenes Qualitätsmerkmal von seinem Sollwert abweichen kann. Zufällige Einflüsse sind die Summe vieler kleiner Einflüsse (Messfehler, externe Störungen), die ständig vorhanden und über die Zeit immer gleich sind. Sie bilden die natürliche Streuung und sind nicht zu beeinflussen. Dagegen sind systematische, nicht-zufällige Einflüsse (interne Störungen, Abnutzung) nicht vorhersehbar und treten unregelmässig auf.

■ Fragestellungen: Es ist die Aufgabe der statistischen Qualitäts- und Prozesskontrolle, solche Störungen zu entdecken und zu helfen, deren Ursachen zu finden. Typische Fragestellungen, die in diesem Zusammenhang auftreten, sind:

1. Befindet sich ein Prozess unter Kontrolle?
2. Hat eine Verschiebung des Prozessmittelwertes stattgefunden?

Wenn ja, möchte man den Zeitpunkt des Shifts identifizieren und die Ursachen, die dazu führten, bestimmen.

■ Technik: Um zu verhindern, dass ein Prozess Ergebnisse produziert, die nicht den Qualitätsanforderungen entsprechen, sollte er mit statistischer Prozesskontrolle laufend überwacht werden. Neben der statistischen Modellierung wie etwa durch Regression oder Zeitreihenanalyse helfen auch zwei wichtige grafische Werkzeuge, die oben formulierten Fragen zu beantworten: die Kontroll- und die Cusum-Karte [4]. Die kontinuierliche Anwendung dieser Techniken erlaubt die frühzeitige Erkennung von Prozessabweichungen. Dadurch kann Ausschuss vermieden werden, bevor er überhaupt entsteht.

■ Beispiel: Herstellung eines Medikamentes in Kapselform. Bei der Produktion muss darauf geachtet werden, dass eine genügend grosse Konzentration an Aktivsubstanz in den Kapseln erreicht wird, was aber durch das geringe Gewicht der Substanz erschwert wird. Die Aktivsubstanz wird deshalb mechanisch in die Kapselmatrix hineingestampft. Kontrolliert werden soll das Stampfvolumen (in ml/100 mg) des eingefüllten Pulvers.

■ Auswertung: Die Daten sind in Abbildung 4 als Kontrollkarte dargestellt. Die eingezeichneten Kontrollgrenzen geben den Bereich an, in dem die Werte liegen sollten, falls der Prozess unter statistischer Kontrolle ist. Liegt hinge-

schrieben werden. Eine isolierte Beurteilung dieser Zahlen kann aber häufig zu völlig falschen Interpretationen führen. Bedeutend nützlichere Eindrücke liefert die visuelle Darstellung der Beziehung mehrerer Grössen mit Hilfe einer Streudiagramm-Matrix. Sie besteht aus einer systematischen Anordnung aller Streudiagramme zwischen je zwei Variablen (Abb. 3). Die Grafik orientiert nicht nur über die Stärke und die Richtung des Zusammenhangs, sondern gibt auch Aufschluss über dessen Form (linear/nichtlinear).

■ Beispiel: Als Beispiel sei die Qualitätsanalyse eines Farbstoffes betrachtet [3]. Während der Produktion des Farbstoffes werden mehrere analytische Eigenschaften mit Hilfe von Flüssigkeitschromatographie bestimmt. Verschiedene Qualitätsmerkmale, wie Farbstärke, Farbton oder Farbhelligkeit, werden nach Beendigung des Herstellungsprozesses durch technische oder visuelle Messungen ermittelt. Da die Korrekturen eines fehlerhaften Batches nach der Produktion kosten- und zeitintensiv sind, wird versucht, die Qualitätsmerkmale des Farbstoffes aus den analytischen Eigenschaften

während der Produktion vorherzusagen.

Abbildung 3 zeigt die Streudiagramm-Matrix von drei analytischen Messungen (Summe der roten und der grünen Farbstoffe sowie der charakteristischen Wellenlänge) und zwei Qualitätsmerkmalen (Farbton und Farbhelligkeit). Zwischen den Variablen gibt es mehr oder weniger starke (lineare) Zusammenhänge. Der Farbton lässt sich zum Beispiel recht gut durch die charakteristische Wellenlänge voraussagen. Je grösser die Wellenlänge ist, desto tiefer ist der Wert für den Farbton. Für das andere Qualitätsmerkmal, die Helligkeit, gibt es hingegen nur eine schwache (positive) Korrelation mit der charakteristischen Wellenlänge. In der Streudiagramm-Matrix fallen spezielle Punkte sofort auf, wie zum Beispiel jene Beobachtung, die sowohl einen grossen Wert für die Wellenlänge wie auch für den Farbton besitzt (siehe das dritte Streudiagramm von links in der zweiten Zeile in Abbildung 3). Es handelt sich hier offensichtlich um einen Ausreisser. Solche Informationen gehen bei der Berechnung eines Korrelationskoeffizienten verloren.

gen ein Punkt ausserhalb dieser Kontrollgrenzen, deutet dies auf eine Prozessstörung hin.

Vielfach werden zwei Typen von Kontrollgrenzen berechnet, die entweder auf der globalen Variabilität (Standardabweichung aller Beobachtungen) oder auf der lokalen Variabilität (mittlere Differenz aufeinanderfolgender Werte) beruhen. Unterscheiden sich die beiden Grenzen, liegt ein Hinweis auf Prozessabweichungen, wie beispielsweise Trends oder Zyklen, vor. In unserem Beispiel sind die beiden Kontrollgrenzen nahezu identisch und liegen übereinander. Der Prozess scheint unter Kontrolle zu sein; alle Punkte befinden sich klar innerhalb der Kontrollgrenzen.

Bei der Prozesskontrolle ist es wichtig, auch geringe Abweichungen über einen längeren Zeitraum frühzeitig erkennen zu können. Dazu eignen sich insbesondere Kontrollkarten mit Gedächtnis, wie beispielsweise die Cusum-Karte in Abbildung 5. Sie benützt die Prozessvergangenheit, indem die Abweichungen vom Prozessmittelwert oder Sollwert kumulativ aufsummiert werden. So können auch kleine, aber andauernde Abweichungen vom Sollwert schnell erkannt werden. Ein Wendepunkt wie in Abbildung 5 liefert einen starken Hinweis, dass bei Losnummer 30 eine Verschiebung des Prozessmittelwertes stattgefunden hat. Mit der gewöhnlichen Kontrollkarte in Abbildung

4 sind solche kleine Verschiebungen hingegen nur undeutlich festzustellen.

Im vorliegenden Beispiel konnte auch tatsächlich eine Ursache für die Prozessverschiebung gefunden werden. Nachfragen haben ergeben, dass gerade nach der Partie 30 das Kühlwasser von Leitungs- auf Flusswasser umgestellt wurde. Die Temperatur von Leitungswasser schwankt weniger als die von Flusswasser. Die Produktion wurde fortan vollständig mit Leitungswasser gekühlt, was die Schwierigkeiten mit dem Stampfvolumen tatsächlich eliminierte.

### Weitere Methoden

Neben den in diesem Artikel erklärten Methoden stehen zahlreiche weitere und für die Qualitätskontrolle relevante Visualisierungstechniken zur Verfügung. Insbesondere zu erwähnen sind

- Stamm- und Blatt-Darstellung,
- Histogramm,
- Quantil-Plot sowie
- Stratifikation.

Wegen ihrer Effizienz bilden diese zusammen mit den drei Methoden aus diesem Artikel die sogenannten „sieben glorreichen Werkzeuge“ der Qualitätssicherung [5].

Alle diese Techniken sowie weitere statistische Routine-Auswertungen sind in den sehr benutzerfreundlichen und validierten Excel-Makros EasyStat implementiert [6].

### Fazit

Entscheidungen müssen auf objektiven Informationen und überprüfbarem Wissen basieren. Statistische und andere quantitative Methoden helfen, die Information, die in den Daten enthalten ist, zu extrahieren. Durch die Visualisierung kann diese einfach und direkt lesbar gemacht werden. Einfache statistische Techniken helfen

- Daten zu verstehen und Informationen darin zu erkennen,
- klare Dokumentationen zu erstellen,
- Qualität zu beurteilen,
- Arbeitsprozesse zu beherrschen,
- fundierte Aussagen zu formulieren und
- rational zu arbeiten.

### Literatur

- [1] Schmidli, H. und Grize, Y. L. (1996), Messen wir alle gleich gut? Ringversuche!, Qualität 7+8, S. 48-53.
- [2] Keller, C. (1999), Ausreisser – und dann?, Qualität und Zuverlässigkeit 1, S. 91-96.
- [3] Weihs, C. und Jessenberger, J. (1999), Statistische Methoden zur Qualitätssicherung und -optimierung, Wiley-VCH, Weinheim.
- [4] Grize, Y. L. (1994), Kontrollkarten und was sie aussagen, Bulletin der Schweizerischen Arbeitsgemeinschaft für Qualitätsförderung (SAQ), Vol. 1, S. 18-23 und Vol. 2, S. 24-29.
- [5] Flühler, H. (1992), Die sieben Glorreichen, Chimia 46, S. 251-254.
- [6] EasyStat Version 4.1 Benutzeranleitung (1999), AICOS Technologies AG, Efringerstrasse 32, CH-4057 Basel.

Weiter Informationen 302

# Beilagenhinweis

Einem Teil der Auflage liegen Prospekte der Firmen

**CLONTECH Laboratories GmbH,**  
69126 Heidelberg (Kennziffer 54)

**SCAT GmbH, 65451 Kelsterbach**  
(Kennziffer 55)

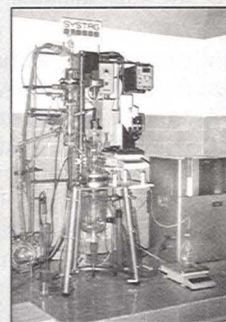
und **Dionex Austria GmbH, A-1230 Wien**  
(Kennziffer 56), bei.

Wir bitten um Beachtung.

**KALORI-  
METRIE**

**SysCalo**

Das heisseste  
Reaktions-  
kalorimeter -  
von Low cost  
bis High end!



61191 Rosbach/Deutschland  
Fax ++49 (0)6003 92 201  
Internet: <http://www.systag.ch>

**SYSTAG**

▲ Weitere Informationen über Kennziffer 57

**NITROSAMINE – NITROSAMINE – NITROSAMINE  
ANALYTIK DETEKTOREN**

ISCONLAB GmbH Heidelberg · DAP-P-03.136-00-97-02  
<http://members.aol.com/Isconlab> · E-Mail: [Isconlab@aol.com](mailto:Isconlab@aol.com)  
Telefon (0 62 21) 83 48 99

▲ Weitere Informationen über Kennziffer 58