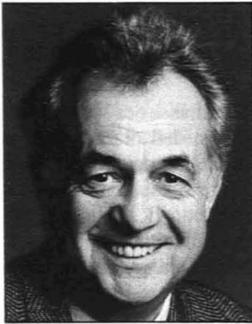




Die Bedeutung statistischer Methoden in der Qualitätssicherung



Josef GÖLLES, Mag. rer. nat., Dr. phil., aoUniv. Prof., Leiter des Institutes für angewandte Statistik der Forschungsgesellschaft Joanneum, Forschungsschwerpunkte: Technische Statistik (speziell Qualitätssicherung), Biometrie, Umweltforschung, Methoden der Markt- und Meinungsforschung.



Christine AIGNER, Dipl.-Ing., Jahrgang 1962, Studium der Technischen Mathematik an der TU-Graz mit vertiefter Ausbildung aus dem Fach »Statistik«. Mitarbeiterin von Prof. Gölles an der FGJ-Graz. Forschungsschwerpunkte: Stichprobentheorie, Biometrie, Qualitätssicherung.

Günter Menges wählte für sein Buch »Die Statistik« den Untertitel »Zwölf Stationen des statistischen Arbeitens«. Bei näherer Betrachtung der einzelnen Schritte einer statistischen Analyse wird klar, daß sich statistisches Arbeiten nicht ausschließlich im Bereich der Mathematischen Statistik durchführen läßt, sondern vielmehr, daß diese im Bereich der Angewandten Statistik die benötigten Methoden zur Lösung von Problemen zur Verfügung stellt, die in einem weiteren Kontext betrachtet und analysiert werden müssen. Dies gilt für alle Anwendungsgebiete der Statistik, sei es der Bereich der Biometrie, die Markt- und Meinungsforschung, die Sozialstatistik oder die Technische Statistik, und läßt sich analog auf das Gebiet der Qualitätssicherung übertragen, ein mittlerweile selbständiger Forschungsbereich, in dem sich Methoden des Managements, der Organisation, der Kalkulation und nicht zuletzt mathematisch-statistische Methoden — man spricht dort allgemein von Statistischer Qualitätskontrolle — vereinen.

Will man Menges »Stationen« in vier große Etappen zusammenfassen, so läßt sich die erste Aufgabenstellung, die er unter dem Titel »Spezifizieren« behandelt, dort einordnen, wo in anderem Zusammenhang von **Systemanalyse** gesprochen wird, die immer in Zusammenarbeit zwischen Anwender und Statistiker durchgeführt werden muß. Bereits in der zweiten Phase der **Versuchs- bzw. Erhebungsplanung und Datengewinnung**, bei Menges »Beobachten« und »Experimentieren«, stellt die Mathematische Statistik Methoden zur Verfügung, die in den Teilgebieten der Stichprobentheorie und des Design of Experiments entwickelt werden. Hierhin fällt auch der gesamte Problemkreis der Datenerfassung, die Menges unter »Verarbeiten« behandelt, ein Bereich, der aber bereits in die dritte Etappe überleitet, die **Datenanalyse**, die sich im Wesentlichen aus der Datenaufbereitung (»Beschreiben«, »Analysieren«), der Durchführung der Verfahren der Statistischen Inferenz (»Schätzen«, »Prüfen«) und dem »Präsentieren« der Ergebnisse zusammensetzt. Schließlich ist noch die **sachspezifische Entscheidungsfindung** zu bewerkstelligen, die außer dem »Entscheiden« und »Prognostizieren« auch noch das »Fehler abschätzen« beinhaltet.

Diese allgemeine Vorgangsweise zur Lösung von statistischen Problemstellungen findet sich auch in der Qualitätssicherung wieder, doch wie für jedes andere Gebiet der Angewandten Statistik bedurfte es einer langen zeitlichen Entwicklung, bis sich die Qualitätssicherung in der heutigen, alle Bereiche eines Unternehmens umspannenden Struktur präsentieren konnte.

1. Historische Entwicklung

Obwohl erste Ansätze dessen, was unter Qualitätssicherung verstanden wird, bereits im

Altertum oder im Mittelalter bei den Zünften in Form von behördlichen Kontrollen (Schauanstalten) erkennbar waren, gewann das Thema »Qualität« doch erst im Umfeld der industriellen Revolution und ihrer Folgen etwas von der Bedeutung, das es heute hat. Entwicklungen weg vom kleinen und mittleren Handwerksbetrieb hin zur Massenproduktion auf der Basis eines Konzeptes von »Produkten aus untereinander auswechselbaren Teilen« in vergleichsweise großen Unternehmen, wie sie durch das von Henry Ford eingeführte Fließbandssystem und die Ausbildung selbsttätiger Erzeugungsgaräte (vgl. Jacquard-Webstuhl) gefördert wurden, konnten erst durch das von Frederick W. Taylor entwickelte System eines wirtschaftlich durchdachten und zielbewußt organisierten Betriebsablaufes in ihren Möglichkeiten ausgeschöpft werden.

Die Grundidee, wie sie auch in seinem 1911 veröffentlichten Buch »The Principles of Scientific Management« beschrieben und von Taylor selbst in der Praxis erprobt wurde und Produktivitätssteigerungen von 200 — 300% bei gut eingeführten Unternehmen zur Folge hatte, besteht einerseits in der Optimierung der Produktionsmittel und andererseits in der Zerlegung des Fabrikationsvorganges in möglichst kleine Einzelschritte, für die dann die besten Produktionsmethoden zu verwenden

sind. Gedanklich entspricht dies den einer Systemanalyse zugrundeliegenden Prinzipien, was auch klar wird, wenn man die Definition eines Systems als »... Menge von Menschen, Maschinen und Methoden, die koordiniert sind, um eine Sammlung von spezifischen Funktionen zu erfüllen« (American National Standards Committee) betrachtet und bedenkt, daß die wichtigste Aufgabe einer Analyse gerade in der funktionalen Dekomposition dieses Systems besteht. Die Systemanalyse, wie sie speziell in der Statistik zur Anwendung kommt, war zu diesem Zeitpunkt noch nicht so weit ausgereift, daß sie in das Taylor'sche Gedankengut einfließen konnte, doch wir werden sehen, daß sie unmittelbar auf den genannten Prinzipien aufsetzen kann, um so zu einem integrierten Bestandteil eines Qualitätssicherungssystems zu werden.

Nicht nur in der vorindustriellen Zeit, sondern auch nach Taylor wurde als Instrument zur Gewährleistung von Qualität für den Kunden die hundertprozentige Produktprüfung eingesetzt, die auch auf die durch die Produktionssteigerungen oft mangelhaften Zulieferteile ausgedehnt wurde und so die erste Form einer Wareneingangs- und einer Endprüfung darstellte. Zu diesem Zeitpunkt hatte sich die Mathematische Statistik in den für die industrielle Fertigung wichtigsten Konzepten so weit entwickelt, daß die viel zu arbeitsintensiven Totalkontrollen über die Forcierung statistischer Verfahren durch Stichprobenprüfungen ersetzt werden konnten. Die wesentlichen Errungenschaften stellen die von W.A. Shewhart 1924 entwickelte »Control Chart« und seine in dem 1931 herausgegebenen Werk »Economic Control of Quality of Manufactured Product« diskutierten Stichprobenpläne dar, zwei Instrumente der Statistischen Qualitätskontrolle, die auch heute noch zentrale Elemente eines Qualitätssicherungssystems bilden.

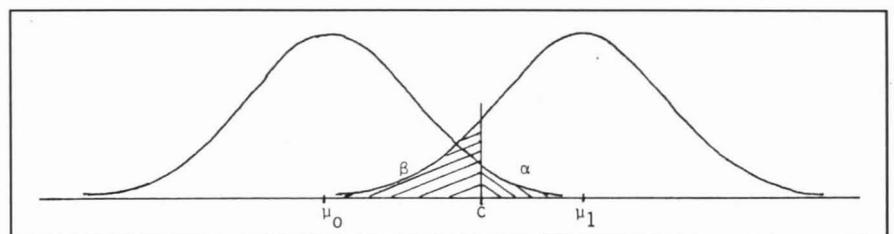


Abb. 1: Beispiel einer Testsituation



2. Stichprobenpläne

Die Kernpunkte in der dritten Phase einer statistischen Analyse stellen das »Schätzen« und »Prüfen« dar, woraus die mathematisch fundierten Ergebnisse der Analyse entstehen. Für die Statistische Qualitätskontrolle sind vor allem die Testverfahren relevant, denn sowohl Qualitätsregelkarten — der sich allgemein langsam durchsetzende, vorzuziehende Ausdruck für »Kontrollkarten« — als auch Stichprobenpläne lassen sich direkt aus entsprechenden statistischen Tests ableiten.

Die für die Qualitätskontrolle im Vordergrund stehenden **Parametertests** haben zur Aufgabe, zu überprüfen, ob ein eine Grundgesamtheit beschreibender Parameter δ gleich (kleiner oder gleich, größer oder gleich) einem vorgegebenen Wert ist — man spricht von der Nullhypothese $H_0: \delta = \delta_0$ des zweiseitigen Tests ($H_0: \delta < \delta_0, H_0: \delta > \delta_0$ des einseitigen Tests) — oder ob das Gegenteil der Fall ist — man spricht von der Alternative $H_1: \delta = \delta_0$ ($H_1: \delta > \delta_0, H_1: \delta < \delta_0$). Ein solcher Test basiert jeweils auf einer Teststatistik T, die über den entsprechenden empirischen Parameter, der sich aus einer Stichprobe vom Umfang n aus der Grundgesamtheit ergibt, unter der zugrundeliegenden Verteilung in der Grundgesamtheit berechnet wird. Überschreitet der Wert von T eine sich aus der Verteilung der Teststatistik und einem vorgegebenen Testniveau α ergebende Schranke c, dann wird die Hypothese verworfen, und die Wahrscheinlichkeit dafür, daß diese Entscheidung richtig ist, beträgt $(1 - \alpha) \cdot 100\%$, wobei für α meist 0,1, 0,05, 0,01 o.ä. gesetzt wird. Abb. 1 veranschaulicht die Situation des einseitigen Tests für eine Grundgesamtheit, in der die Merkmalswerte normalverteilt sind und der zu testende Parameter der Mittelwert μ der Grundgesamtheit ist, wobei das arithmetische Mittel \bar{x} als empirischer Parameter verwendet wird. Liegt in der Grundgesamtheit tatsächlich keine Verteilung um μ_0 vor, sondern hat eine Verschiebung zu μ_1 stattgefunden, wird aber aufgrund der Stichprobe H_0 nicht abgelehnt, so besteht ein Risiko von $\beta \cdot 100\%$, daß diese Entscheidung falsch war. Dieses Risiko wird als **Konsumentenrisiko** bezeichnet, während α **Produzentenrisiko** heißt. Letzteres wird natürlich umso größer, je weiter sich der tatsächliche Mittelwert μ der Gesamtheit vom

ursprünglich postulierten μ_0 entfernt hat, ein Zusammenhang, der in der **Operationscharakteristik (OC)** eines Tests dargestellt wird (Abb. 2).

Stichprobenpläne dienen nun dazu, im Zuge einer Wareneingangskontrolle oder einer Endprüfung für das prüfende Organ die Anzahl n der Einheiten zu bestimmen, die aus einem Los vom Umfang N zu kontrollieren sind, sowie einen kritischen Wert c, bei dessen Überschreitung das Los einer Totalkontrolle zu unterziehen ist. Dies entspricht genau der Situation eines statistischen Tests, so daß es möglich ist, den jeweils benötigten Stichprobenplan aus der OC zu ermitteln.

Prinzipiell unterscheidet man zwischen Stichprobenplänen für qualitative Merkmale, denen die Hypergeometrische Verteilung, die Binomialverteilung oder die Poisson-Verteilung zugrunde liegen, und Stichprobenplänen für variable Merkmale, die auf Basis der Normalverteilung tabelliert sind.

Um die Stichprobenvorschrift aus der OC berechnen zu können, ist es notwendig, Eigenschaften, welche die OC bzw. der zugehörige Test haben sollen, im vorhinein anzugeben, wobei sich diese wiederum direkt aus den Anforderungen der Hersteller und Abnehmer des geprüften Produktes ableiten lassen.

Bei Stichprobenplänen für **qualitative Merkmale** stehen hier folgende Möglichkeiten zur Verfügung, die auch in Form von Stichprobensystemen tabelliert sind:

1) Vorgabe zweier Punkte der OC

Auf der Basis eines Verfahrens, das auf P. Peach und S.B. Littauer zurückgeht, können n und c bestimmt werden, wenn die zwei Punkte $p_{1-\alpha}$ und p_β , $0 \leq p_{1-\alpha}, p_\beta \leq 1$, vorgegeben werden, wobei mit einer Wahrscheinlichkeit von $\alpha \cdot 100\%$ das Los wegen zufällig schlechten Ausfalls der Stichprobe an den Produzenten zurückgeht, obwohl die Partie ausreichend gut ist, also nur einen Ausschußprozentsatz von $p_{1-\alpha} \cdot 100\%$ aufweist, und mit einer Wahrscheinlichkeit von $\beta \cdot 100\%$ der Konsument das Los annimmt, obwohl die Partie einen hohen Ausschußprozentsatz $p_\beta \cdot 100\%$ aufweist (vgl. Abb. 2).

$p_{1-\alpha}$ heißt in der Literatur annehmbare Qualitätsgrenzlage oder AQL-Wert (Acceptable Quality Level), p_β wird als rückzuweisende Qualitätsgrenzlage, LQ-Wert (Limiting Qua-

lity), LTPD-Wert (Lot Tolerance Percent Defective) oder RQL-Wert (Rejectable Quality Level) bezeichnet.

2) Vorgabe eines Punktes und der Steilheit der OC

Es liegt natürlich im Interesse des Verwenders eines Stichprobenplans, daß die zugehörige OC möglichst steil ist. Gibt man nun vor, wie groß die Steilheit des gewünschten Plans sein soll, so können auch über diese Eigenschaft der OC bei zusätzlicher Vorgabe eines Punktes Stichprobensysteme entwickelt werden. Das bei Philips benutzte Stichprobensystem verlangt die Vorgabe des Prüfungs- oder Kontrollpunktes $p_{0,5}$, der auch Indifferenzpunkt oder IQL-Wert (Indifference Quality Level) genannt wird.

3) Vorgabe eines Punktes und des Durchschlupfes

Für jeden Stichprobenplan kann der sogenannte Durchschlupf oder AOQ-Wert (Average Outgoing Quality) berechnet werden, also der mittlere Ausschußanteil nach der Prüfung, wenn die Vorgangsweise darin besteht, der Anweisung entsprechend Stichproben zu ziehen und bei Zurückweisung des Loses über eine Totalkontrolle alle fehlerhaften Einheiten auszusortieren. Dieser Anteil von fehlerhaften Einheiten, der nach der Kontrolle noch immer in einem Los zu erwarten ist, hängt natürlich vom tatsächlich vorhandenen Ausschußprozentsatz der Produktion ab und nimmt für einen bestimmten Wert p ein Maximum an. Gibt man nun umgekehrt diesen Punkt p der OC vor — man nennt p den AOQL-Wert (Average Outgoing Quality Limit) —, so kann auch auf diese Weise über die zusätzliche Festlegung eines zweiten Punktes, des AQL-Wertes, der zugehörige Stichprobenplan bestimmt werden.

4) Vorgabe eines Punktes und der durchschnittlichen Prüfanzahl

Eine weitere in Anwendung befindliche Möglichkeit besteht auch darin, zum AOQL-Wert die durchschnittliche Anzahl der zu prüfenden Stücke (ASN = Average Sample Number) festzulegen oder den gesuchten Stichprobenplan durch die Vorgabe der ASN und des LQ-Wertes zu ermitteln, wie es in den Stichprobensystemen von Dodge und Romig geschieht.

Das auf dem AQL-Wert als übergeordnetem Gesichtspunkt basierende Stichprobensystem wurde 1963 als ABC-STD-105 eingeführt, aus dem sich zahlreiche Normen ableiten, u.a. auch die in Österreich verwendete ÖNORM A 6649.

Die Stichprobenpläne nach ISO/DIS 3951 für **quantitative Merkmale** sind als Standards oder Normen in Form von Tabellen erhältlich. Sie setzen voraus, daß das betrachtete Merkmal annähernd normalverteilt ist und werden dann verwendet als

1) (\bar{x}, σ) -Pläne, bei denen die Standardabweichung σ der Grundgesamtheit bekannt sein muß,

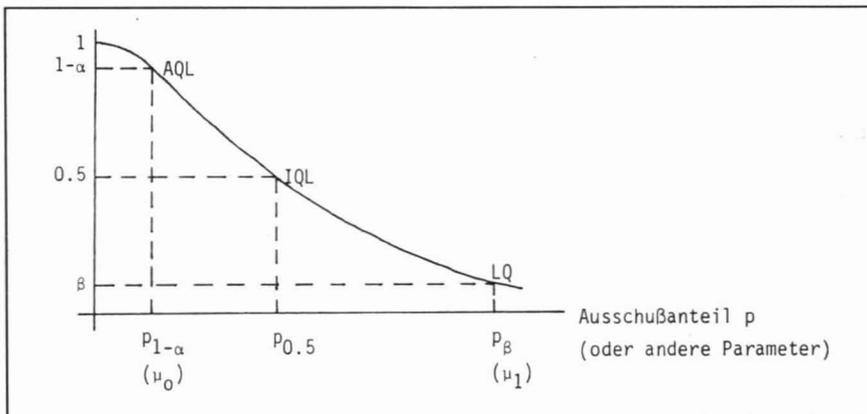


Abb. 2: Die Operationscharakteristik (OC)



- 2) (\bar{x}, s) -Pläne, bei denen σ durch die empirische Standardabweichung s geschätzt wird,
- 3) (\bar{x}, \bar{R}) -Pläne, bei denen σ durch die mittlere Spannweite \bar{R} von Unterstichproben geschätzt wird.

Bisher war ausschließlich die Rede von einfachen Stichprobenplänen, denen also zugrunde liegt, daß aus jedem Los eine einzige Stichprobe vom Umfang n gezogen wird und dies zur Entscheidung über Annahme oder Rückweisung des Loses führt.

Es kann jedoch gezeigt werden, daß durch folgende Vorgangsweise der im Durchschnitt benötigte Stichprobenumfang pro Los zum Teil erheblich geringer wird als der Stichprobenumfang eines einfachen Stichprobenplanes: Man entnimmt dem Los eine Stichprobe vom Umfang n und vergleicht den Wert der Teststatistik mit zwei Grenzen c und d . Liegt er unter c , so kann das Los angenommen werden, liegt er über d , muß das Los zurückgewiesen werden, und nur für den Fall, daß der Wert zwischen c und d liegt, wird dem Los eine zweite Stichprobe vom Umfang n entnommen, die dann eine endgültige Entscheidung herbeiführt.

Eine solche Anweisung heißt doppelter Stichprobenplan, und es liegt natürlich nahe, dieses Konzept weiter auf dreifache, vierfache, ... Stichprobenpläne auszudehnen. Die Mathematische Statistik liefert durch die auf Abraham Wald zurückgehende Theorie der sequentiellen Testverfahren, insbesondere des sequentiellen Quotiententests, die nötigen Methoden zur Entwicklung von **sequentiellen Stichprobenplänen**, für die gezeigt wurde, daß die zugehörigen durchschnittlichen Stichprobenumfänge im Vergleich zu nicht-sequentiellen Verfahren minimal sind.

Natürlich liegt es im Interesse jedes Herstellers, die Kosten, die ihm für den Fall der Annahme oder Ablehnung des Loses sowie für die Prüfung selbst entstehen, minimal zu hal-

ten, was durch einen weiteren Ansatz für alle beschriebenen Stichprobenpläne möglich ist, indem über das Minimax-Regret-Prinzip **kostenoptimale Stichprobenpläne** entwickelt werden. Dazu ist allerdings die Kenntnis einer entsprechenden Verlustfunktion erforderlich. Eine weitere Möglichkeit, die Kosten für die Stichprobenprüfung zu senken, stellen **Reihenstichprobenpläne (Chain Sampling Inspection Plans)**, wie sie von Dodge entwickelt wurden, dar. Sie sind besonders bei zerstörender Prüfung oder teuren Tests von Vorteil, da sie durch Einbeziehung der Ergebnisse vorangegangener Stichprobenprüfungen mit sehr kleinen Stichprobenumfängen arbeiten können.

3. Qualitätsregelung eines Prozesses

Eine offensichtliche Eigenschaft von Losprüfungen durch Stichproben nach Fertigstellung eines Produktes besteht darin, daß der entsprechende Produktionsplan bereits vollzogen ist und eventuelle Korrekturen nur mehr in Form von Aussortieren des Loses vorgenommen werden können. Hier liegt es nun nahe, nach Methoden zu suchen, die es erlauben, bereits während der Fertigung steuernd in den jeweiligen Prozeß einzugreifen, um zu verhindern, daß es überhaupt zu einem Ausschußanteil kommt.

Ein Verfahren, das die Mathematische Statistik zu diesem Zweck zur Verfügung stellt, ist die Entwicklung von **Qualitätsregelkarten (QRK)**, die ebenso wie Stichprobenpläne aus den entsprechenden statistischen Tests abgeleitet werden kann. Man bestimmt für den Prozeßparameter entweder über einen vorgegebenen Sollwert oder auf der Basis von Stichproben aus einem Vorlauf die oberen und unteren Testschranken c sowohl für $\alpha = 0,05$, die man als Warngrenzen bezeichnet, als auch für $\alpha = 0,01$, welche als Eingriffsgrenzen festgelegt werden.

Werden nun der laufenden Produktion kleine Stichproben entnommen, die entsprechenden empirischen Parameter berechnet und mit den Grenzen verglichen, so kann bei Überschreiten der Warngrenzen sofort eine neue Stichprobe gezogen und damit der Prozeß neuerlich kontrolliert werden. Ein Überschreiten der Eingriffsgrenzen soll zu einem sofortigen Anhalten des Prozesses führen, um die Ursache der Abweichungen vom Soll-Zustand herauszufinden und nicht unnötig viel Ausschuß zu produzieren.

Zur größeren Anschaulichkeit und Praktikabilität am Ort des Geschehens stellt man die Grenzen auf Qualitätsregelkarten graphisch dar; auf den QRK werden dann zu Dokumentationszwecken die jeweiligen Stichprobenergebnisse eingetragen (Abb. 3).

Am meisten in Verwendung befinden sich Qualitätsregelkarten für normalverteilte Grundgesamtheiten, also solche, die voraussetzen, daß das jeweils beobachtete variable Merkmal im Prozeß normalverteilt ist. Die Parameter, für welche die QRK dann erstellt werden, sind Mittelwert und Standardabweichung der zugrundeliegenden Verteilung, und man erhält sogenannte Mittelwert- und Streuungskarten. Damit können Lage und Variation des Prozesses überwacht werden, wobei diese der einfacheren Berechnung wegen auch über Median- und Spannweitenkarten kontrolliert werden können. Um nicht für jeden Prozeß zwei QRK führen zu müssen, werden vielfach auch Extremwertkarten verwendet, in welche die Einzelwerte der Stichproben direkt eingetragen werden. Das bringt den Vorteil der gleichzeitigen Überwachung von Lage und Streuung sowie der einfacheren Handhabung, aber den Nachteil der geringeren Empfindlichkeit gegenüber den zuerst erwähnten Karten mit sich.

Ebenso tabelliert sind QRK für qualitative Merkmale, die auf der Binomial- oder der Poisson-Verteilung beruhen und die Anzahl

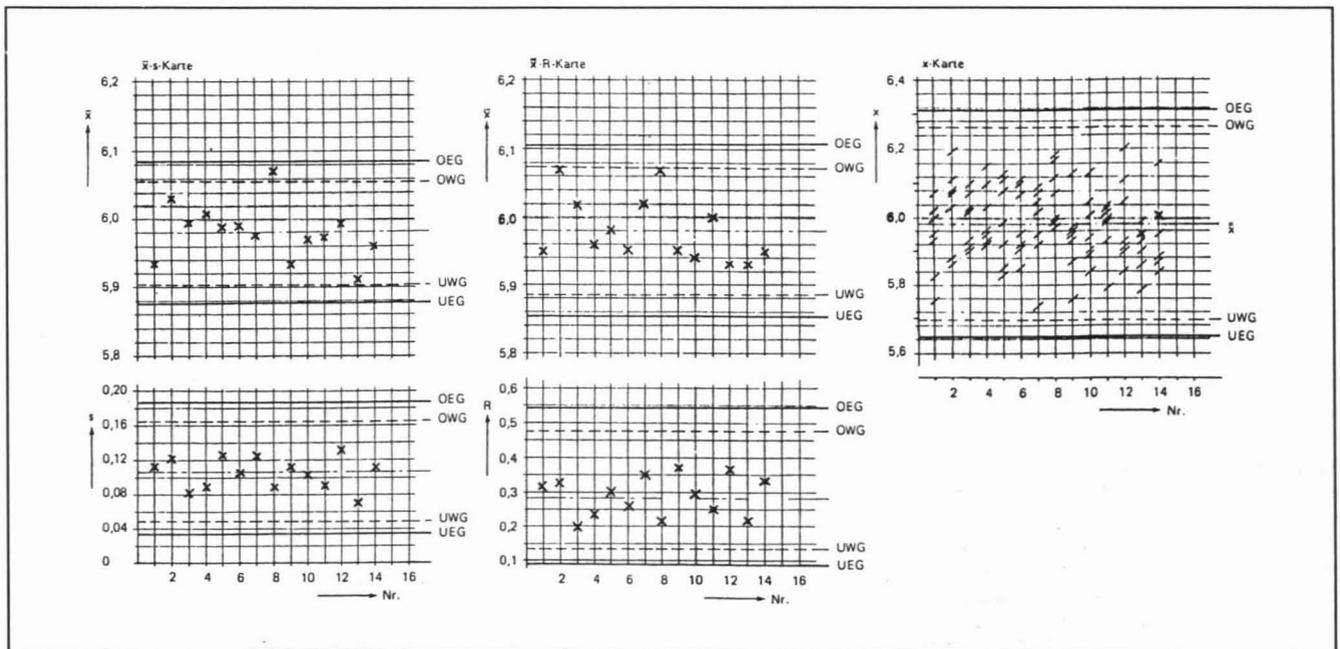


Abb. 3: Qualitätsregelkarten



der fehlerhaften Stücke eines Loses oder die Anzahl von Fehlern je Einheit überwachen. Ebenfalls zur Regelung der Qualität eines Fertigungsprozesses, aber auch als Methode der Stichprobenprüfung im Rahmen einer Eingangs- oder einer Endkontrolle, bei der nur die Kenntnis der Fertigungsreihenfolge, nicht aber das Zusammenstellen der Einheiten zu Losen notwendig ist, dienen sogenannte **kontinuierliche Stichprobenpläne (continuous sampling plans)**, die erstmals von Dodge veröffentlicht wurden (CSP-1). Das Prinzip dieser Stichprobenprüfung besteht darin, solange eine 100%-ige Kontrolle durchzuführen, bis man i aufeinanderfolgende gute Stücke gefunden hat, und ab diesem Zeitpunkt zu einer 100f%-igen Kontrolle überzugehen, bis sich eine geprüfte Einheit als schlecht erweist. Hierbei ist $f = 1/k$ der Stichprobenanteil an der Gesamtheit aller Stücke, es wird also in Form einer systematischen Stichprobe nur mehr jedes k-te Stück geprüft.

Eine Variante des CSP-1 stellt der von Wald und Wolfowitz entwickelte SPA (sampling plan A) dar, von dem auch weitere Modifikationen (SPB, SPC, ...) erstellt wurden, ebenso wie vom CSP-1 von Dodge (CSP-2, CSP-3). Es ist naheliegend, statt der in den genannten Plänen benutzten zwei Stichprobenanteile (1 bei 100%-iger Kontrolle, f andernfalls) mehrere verschiedene Stichprobenanteile zuzulassen, was zu den MLP (multilevel continuous sampling plans) führt, die wiederum in verschiedenen Varianten existieren; sie sollen hier nicht weiter diskutiert werden, ebenso wenig wie eine Reihe anderer ähnlicher Verfahren.

4. Die Bedeutung von Systemanalyse, Datengewinnung, Versuchs- und Erhebungsplanung für das Gesamtsystem

In der bisherigen Darstellung der Methoden fielen Termini wie Grundgesamtheit, Stichprobe, Merkmal, Prozeß, ohne daß näher auf deren Bedeutung eingegangen wurde. Jede statistische Analyse hat sie zum Gegenstand der ersten beiden Phasen, und auch in der Qualitätssicherung spielen sie eine zentrale Rolle. In der historischen Entstehung des Konzeptes »Qualitätssicherung« wurde diesen Begriffen erst nach der »Epoche des Prüfens« die Bedeutung beigemessen, die zu Definitionen und damit einer Verwendbarkeit in der täglichen Praxis führte. Im Ablauf von Qualitätssicherungsmaßnahmen müssen sie notwendigerweise vor dem Prüfen und Regeln diskutiert werden.

Will man auf Prozeß-Ebene — »Prozesse« seien hier die kleinsten funktionalen Einheiten, in die ein Gesamtsystem zerlegt werden kann — Stichprobenprüfungen durchführen (Stichprobenpläne dienen nicht nur der Wareneingangs- und der Endkontrolle!) oder durch die Verwendung von Qualitätsregelkarten steuernd eingreifen, so ist dazu die Definition von **Qualitätsmerkmalen** umgänglich. Diese

beschreiben den Prozeß und mit ihrer Hilfe kann die **Qualität** als Übereinstimmung der Eigenschaften und Merkmale eines Erzeugnisses mit gegebenen Erfordernissen beurteilt werden.

Damit sind wir unmittelbar beim ersten Schritt einer **statistischen Systemanalyse** bezogen auf Einzelprozesse angekommen: Es ist spezifisch für den jeweiligen Prozeß festzulegen, welche Anforderungen an die von ihm erzeugten Produkte gestellt werden, an welchen Merkmalen die Erfüllung dieser Anforderungen zu messen ist und welcher Art die Messung sein soll, was schließlich zur Festlegung der Skalierung des Merkmals führt. Von den Merkmalen müssen bestimmte Eigenschaften gefordert werden, die auch in ihrem Ausmaß zu definieren sind:

- 1) **Objektivität**
Das Merkmal muß unabhängig von der messenden/beurteilenden Person sein.
- 2) **Zuverlässigkeit**
Bei der Wiederholung des Meßvorganges darf kein systematischer Fehler (Bias) entstehen, es muß also eine Übereinstimmung zwischen dem Erwartungswert und dem wahren Wert des Merkmals bestehen.
- 3) **Wiederholbarkeit**
Bei wiederholter Anwendung eines festgelegten Ermittlungsverfahrens am gleichen Untersuchungsobjekt müssen die Ergebnisse unter denselben Bedingungen bis auf eine zufällige Wiederholstreuung übereinstimmen.
- 4) **Vergleichbarkeit**
Bei wiederholter Anwendung eines festgelegten Ermittlungsverfahrens am gleichen Untersuchungsobjekt müssen die Ergebnisse unter verschiedenen Bedingungen bis auf eine zufällige Vergleichsstreuung übereinstimmen.

5) Validität

Das verwendete Meßverfahren mißt auch wirklich das, was gemessen werden soll.

Ebenso müssen für alle Merkmale weitere merkmalsbezogene Größen, wie Nennwerte, Sollwerte, Richtwerte, Grenzwerte, Toleranzen (zur Definition dieser Begriffe siehe ÖNORM A 6670) festgelegt oder durch eingehende Untersuchungen ermittelt werden, ebenso wie alle möglichen, in diesem Prozeß eventuell unerwünschten Störgrößen, um die Grundlagen für die Beherrschung des Prozesses zu schaffen.

All diese Analysen sollten, soweit dies realisierbar ist, als sorgfältig geplante Versuche durchgeführt werden, um damit die Möglichkeit zu haben, den Prozeß als sehr komplexen Vorgang kennenzulernen, bevor er in der Produktion zum Einsatz kommt, denn dort kann er nur aufgrund der Analyse-Ergebnisse beherrscht werden. Die Methoden dazu stellt das durch Einsatz in vielen Bereichen der angewandten Statistik sehr weit entwickelte Gebiet der **Versuchsplanung** (»Experimentieren«) zur Verfügung, das vielfach erst für die Qualitätssicherung entdeckt werden muß.

Erst nach der Erfüllung all der genannten Forderungen kann man davon ausgehen, daß der Prozeß weitestgehend beherrscht wird, in das Gesamtsystem eingebettet werden und anlaufen kann, was als unbedingte Voraussetzung für eine Regelung und eine sinnvolle Prüfung am Ausgang des Prozesses angesehen werden muß.

Die Entscheidungen über Annahme oder Ablehnung von Losen oder über den Eingriff in Prozesse erfolgen auf der Basis von Stichproben, wobei den oben dargestellten Verfahren zugrunde liegt, daß es sich dabei um einfache Zufallsstichproben handelt. Ob diese Auswahlmethode in jedem Fall gerechtfertigt ist, hängt vom jeweiligen sachspezifischen Zusammenhang ab, doch es erscheint durchaus möglich, daß auch andere Stichprobenverfah-

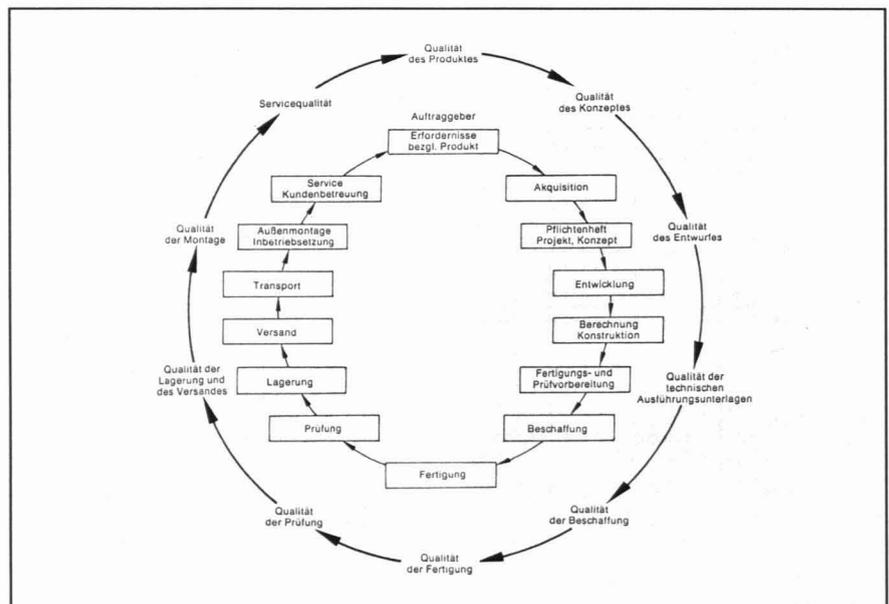


Abb. 4: Qualitätskreis bezüglich eines Produktes



ren als die einfache Zufallsauswahl zur Anwendung gebracht werden, um deren Vorteile nutzen zu können. Dies erfordert dann natürlich eine entsprechende Modifikation der Standardverfahren, was nur über die Mathematische Statistik und die **Stichprobentheorie** erfolgen kann. Auf alle Fälle ist in dieser Phase des »Beobachtens« das Stichprobenmodell und die Auswahltechnik festzulegen, ebenso wie die etwaige Schätzgenauigkeit und die akzeptierten Entscheidungsrisiken, es ist der daraus resultierende Stichprobenumfang zu bestimmen sowie das Design der Qualitätsregelkarten zu entwerfen.

Daß die aus den Einzelprozessen gewonnenen Daten in der Phase der Datenaufbereitung — wie in jeder statistischen Analyse — in Form von Tabellen oder graphisch dargestellt und aus ihnen statistische Kennzahlen berechnet werden, die schließlich zu einer Entscheidung für den Einzelprozeß führen, versteht sich von selbst. Die wichtige Rolle, die hier die **Beschreibende Statistik** spielt, wird in den letzten Jahren erleichtert und unterstützt durch den Einsatz von Rechnern und Software, die innerhalb von umfassenderen Statistik-Paketen oder als spezielle Software-Lösungen für Statistische Qualitätskontrolle vielfach unter dem Schlagwort **CAQ (Computer Aided Quality)** angeboten werden.

Die EDV stellt auch ein nützliches Hilfsmittel für den Bereich der **Qualitätsdokumentation** dar, die unerlässlich ist für laufende Verbesserungen und Weiterentwicklungen sowohl auf der Ebene der Einzelprozesse als auch im gesamten Produktionssystem.

Die Anwendung von statistischen Methoden auf die Prozeß-Basis, aber auch auf die Systemanalyse, ist nur dann wirksam, wenn sie eingebettet ist in ein System zur Erzeugung von Qualität, welches nicht durch die Tore der Fabrikhallen begrenzt wird. Vielmehr sollte das organisatorische Schema im Gesamtunternehmen ein **Qualitätssicherungssystem** installieren, das vor der Planung beginnt und nach der Auslieferung der Produkte an den Kunden, anstatt zu enden, wiederum das Gesamtsystem modifiziert und korrigiert (Abb. 4). Die Erkenntnisse der Analysen von Einzelprozessen müssen in einer Zusammenschau das Gesamtsystem gestalten, Wechselwirkungen zwischen den Prozessen erklärbar und steuerbar machen, um schließlich das Ziel jedes Unternehmens, bei gleichbleibender Qualität die Gesamtkosten zu minimieren bzw. bei gleichbleibenden Kosten die Qualität ständig zu verbessern, in greifbare Nähe zu rücken. Japanische Methoden als Kombination von Kostenüberlegungen mit statistischen Ansätzen, aber auch organisatorische Maßnahmen, wie das Zero Defects-Konzept, können bei korrekter und sinnvoller Handhabung Wesentliches dazu beitragen.

5. Das Einfließen modernerer Methoden

In den oben beschriebenen Verfahren, also sowohl der Stichprobenerhebung für Qualitätsregelkarten und Prüfpläne als auch der Durchführung und Auswertung von Versuchen im

Rahmen der Planung und Entwicklung werden jeweils bestimmte Voraussetzungen für das zugrundeliegende statistische Modell getroffen, wie beispielsweise eine Normalverteilung für die Grundgesamtheit. Aus theoretischen Untersuchungen ist für viele Modelle bekannt, daß ihre Verfahren erheblich an Effizienz verlieren, wenn auch nur geringfügige Abweichungen von den Modellvoraussetzungen vorliegen. Dies führte im Bereich der Mathematischen Statistik zur Entwicklung von **Robusten Verfahren**, die auch »in der Nähe« des postulierten Ideal-Modells noch nahezu optimal sind, was durch Untersuchungen über die Größenordnung des etwaigen Effizienzverlustes untermauert wird.

Davon auszugehen — wie dies häufig geschieht —, daß im Bereich der Technischen Statistik die Voraussetzungen für die dort verwendeten Modelle immer erfüllt sind, ist ein Fehler, der weit verbreitet, aber wenig beachtet ist, zumal die Durchdringung der Unternehmen mit statistischen Denkweisen — bis in die Abteilungen für Qualitätssicherung — noch nicht so weit fortgeschritten ist, daß die Modellvoraussetzungen allgemein bekanntes Gedankengut sind. Daher wird es Aufgabe der Qualitätssicherung sein, sich der Erarbeitung dieser Punkte zu widmen, um sich überhaupt die Möglichkeit zu schaffen, von den Standardverfahren wo notwendig abzugehen und eventuell robustere Methoden einzusetzen.

Sowohl bei den klassischen als auch bei vielen robusten Verfahren ist die Kenntnis der zugrundeliegenden Verteilungsfunktion notwendig, eine Forderung, die ebenfalls sehr oft nicht in dem Maß erfüllt ist, wie es das Modell verlangt, nicht zuletzt auch deshalb, weil die Verteilung aus der Sicht der sachspezifischen Problemstellung oft von keinerlei Interesse ist.

Die Verfahren, die hier von der Theorie der **Nichtparametrischen Statistik** zur Verfügung gestellt werden, sind exemplarisch bereits für Methoden der Statistischen Qualitätskontrolle adaptiert und können aufgrund der relativ einfachen Handhabbarkeit der entsprechenden Tests auch in Eigenentwicklung für firmeninterne Anwendungen genützt werden.

Sie sind überall dort effizienter als das entsprechende klassische Verfahren, wo die Voraussetzungen für letzteres nicht erfüllt sind. Sind aber die Forderungen an das klassische Verfahren gewährleistet, dann benötigen nichtparametrische Verfahren meist größere Stichprobenumfänge zur Erreichung derselben Effizienz.

Für viele eine klare Alternative, für manche eine weitere, zusätzliche Möglichkeit, aus dem breiten Spektrum statistischer Methoden zu schöpfen, sind die sogenannten **Bayes-Verfahren**. Durch sie gelingt es, Informationen, die vor der Ziehung einer Stichprobe über die aktuell interessierenden Parameter der Grundgesamtheit bekannt sind, in das Modell einzubeziehen, um so die Kenntnis über die Parameter — die allerdings in Form einer

(a priori-) Verteilung vorliegen muß — durch die Stichprobe zu verbessern.

Gerade in der Technischen Statistik, wo manche Prozesse über lange Zeiträume hinweg (im Optimalfall unverändert) laufen und dadurch genau beobachtet werden können, ist es oft möglich, aus diesen Erfahrungen Vorinformationen der beschriebenen Art zu gewinnen und weiterzuverwenden.

Dies setzt aber wiederum eine lückenlose und korrekte Qualitätsdokumentation voraus und unterstreicht zum wiederholten Male die Relevanz eines funktionierenden Zusammenspiels zwischen statistisch-mathematischen Methoden und organisatorischen Maßnahmen eines Managements, welches das Gesamtsystem analysiert und die Interaktion der Prozesse optimal gestaltet hat.

Literatur:

- [1] BÜNING, H.; TREMKLER, G.: Nichtparametrische statistische Methoden, Walter de Gruyter, Berlin, New York 1978.
- [2] CROSBY, Ph.B.: Quality is free, McGraw-Hill Book Company, 1979.
- [3] DEMING, W.E.: Quality, Productivity and Competitive Position. Institute of Technology, Center of Advanced Engineering Study, Cambridge 1982.
- [4] MASING, W. (Hrsg.): Handbuch der Qualitätssicherung, Carl Hanser Verlag, München, Wien 1980.
- [5] MENGES, G.: Die Statistik, Gabler-Verlag 1982.
- [6] STANGE, K.: Bayes-Verfahren, Springer, Berlin, Heidelberg, New York 1977.
- [7] UHLMANN, W.: Statistische Qualitätskontrolle, Teubner Studienbücher — Mathematik, Stuttgart 1982.
- [8] UHLMANN, W.: Kostenoptimale Prüfpläne, Physica-Verlag, Würzburg, Wien 1970.
- [9] WETHERILL, G.B.: Sampling Inspection and Quality Control. Chapman and Hall, London, New York 1982.
- [10] ÖNORM A6649: Verfahren und Tabellen für Stichprobenprüfung anhand qualitativer Merkmale (Attribut-Stichprobenprüfung).
- [11] ÖNORM A6670: Qualitätssicherung — Merkmalsbezogene Begriffe.
- [12] ÖNORM A6671: Qualitätssicherungssysteme — Begriffsbestimmungen.
- [13] ÖNORM A6672: Qualitätssicherungssysteme — Elemente und Anforderungen.



WEIHNACHTEN
'87