

Statistische Prozesskontrolle und Kusum-Analyse als Instrumente für prozessorientiertes Controlling in der Medizin

Das medizinische Geschehen, zum Beispiel in einem Spital, kann als (mehr oder weniger) routinemässiges «Durchspielen» einer gewissen Zahl von Prozessabläufen gesehen werden. Doch werden diese Prozessabläufe immer korrekt durchgespielt? Bewegt sich die Zahl der Fehler bei der Umsetzung in einem «normalen» Rahmen? Im Folgenden werden zwei Instrumente vorgestellt, die es erlauben, dazu im konkreten Fall eine fundierte Aussage zu machen.

Guido Schüpfer, Jan Poelaert

Die statistische Prozesskontrolle und die Kusum-Analyse sind zwei Instrumente, die eine rationale Basis für ein prozessorientiertes Controlling darstellen. Sie sind in Fachkreisen bekannt, könnten aber noch vermehrt und gezielter eingesetzt werden. Die statistische Prozesskontrolle ist besonders geeignet, um Risiken zu analysieren [1]. Mit Hilfe der Kusum-Analyse kann überwacht werden, in welcher Qualität Einzelne oder Gruppen einen bestimmten Prozess umsetzen (Performance) und ob sich dies im Lauf

der Zeit verändert. Mit diesen Methoden erhält das Medizincontrolling neben der Ergebnismessung (Output- und Outcomemessung) eine prozessorientierte Dimension. Beide Instrumente wurden aus der industriellen Produktion in die Medizin übertragen. Die Werkzeuge zur statistischen Prozesskontrolle (SPC) wurden 1924 von W. Shewart in den Bell-Laboratorien entwickelt [2]. SPC ist aber auch für Dienstleistungen anderer Art anwendbar [3]. Die *Kumulative-Summen-Methode* (kurz Kusum-Technik) wurde während des Zweiten Weltkrieges entwickelt, um die Qualität bei der Produktion von Munition zu überwachen [7]. In der Medizin ist sie besonders zur Performance- oder Ausbildungsmonitorisierung geeignet [4–6].

Statistische Prozesskontrolle

Statistische Prozesskontrolle ist auch für den statistischen Laien einfach anwendbar. Viele Standard-Statistikprogramme (z.B. Statistica, SPSS) unterstützen die SPC. Prozesse werden in chronologischer Reihenfolge repräsentiert und statistisch und grafisch analysiert. So entstehen eigentliche Qualitätskontroll-Karten (Quality Control Charts QCC, siehe *Kasten 1*), die es ermöglichen, die Performance (Umsetzung) eines Prozesses und von Interventionen einfach und sicher zu überwachen. Andere qualitätssichernde Methoden werden durch SPC komplettiert, indem durch die zusätzliche longitudinale Dimension des Ansatzes weitere Informationen gewonnen werden [8].

Unnatürliche Schwankungen aufzeigen

Prozesse (genauer: die Wiederholun-



Guido Schüpfer



Jan Poelaert

gen der Umsetzung eines bestimmten Prozessablaufs zu verschiedenen Zeitpunkten) weisen fast immer eine Variabilität auf, welche grundsätzlich wie folgt kategorisierbar ist: natürliche (kontrollierte) und unnatürliche (unkontrollierte) Schwankungen von Prozessmerkmalen respektive der Prozessqualität. Die *natürliche Variabilität* ist systeminhärent. In der Medizin sind natür-

liche Schwankungen beispielsweise bedingt durch die Personalrotation, durch die unterschiedliche Zusammensetzung der Patientenpopulation (z.B. Variationen des Gesundheitszustandes, des Körpergewichtes usw.), durch Verhaltensweisen und durch Demografie. Da derartige Einflussfaktoren entweder im Prozess selbst oder in dessen Umgebung permanent wirken, sind die daraus resultierenden natürlichen Prozessschwankungen statistisch gesehen *vorhersagbar*. Prozesse mit natürlicher Variation zeigen über die Zeit ein stabiles und konstantes («kontrolliertes») Muster von Variationen, welche nur auf den Zufall zurückzuführen sind. Weist ein Prozess kontrollierte Variationen auf, so können aufgrund der Prozessbeobachtung in der Vergangenheit auch die Variationen des Prozesses in der Zukunft mit hoher Wahrscheinlichkeit vorausgesagt werden.

«SPC und Kusum-Analysen sind in der Praxis einfach zum prozessorientierten Controlling anzuwenden.»

Wenn Prozessvariationen auftreten, die unter der Annahme einer natürlichen Prozessvariation nur eine geringe Wahrscheinlichkeit haben, deutet dies meist auf eine Abweichung vom regulären Prozessgeschehen hin. Ein Auftreten einer *unnatürlichen Variabilität* muss deshalb Anlass sein, Prozesse auf *atypische Einflussfaktoren* zu untersuchen und entsprechend zu intervenieren. Ursachen einer unnatürlichen Prozessvariabilität können im klinischen Alltag zum Beispiel sein: die Einführung neuer Verfahren, fehlerhafte Ausrüstungen, menschliches Versagen oder Einflüsse aus der Umwelt [3, 8, 9]. Als «statistisch kontrolliert» wird also ein stabiler und somit vorhersagbarer Prozess bezeichnet, der einer natürlichen Prozessvariabilität unterworfen ist. Ein im Längsschnitt stabiler Prozess weist lediglich konstante

Kasten 1:

Control Charts [2, 8, 10, 12, 13]

Um Prozesse statistisch zu kontrollieren, werden Prozessdaten in bestimmten Zeitintervallen gesammelt und in Subgruppen (beispielsweise pro Woche, pro Tag) kategorisiert. Interessierende Variablen werden für jede Subgruppe berechnet und in chronologischer Reihenfolge abgebildet. So entstehen Kontrollkarten (Control Charts), die auf statistisch reguläre respektive irreguläre Schwankungen untersucht werden können. Um eine Control Chart sinnvoll zur Anwendung zu bringen, sind im Minimum 25 Subgruppen nötig [8].

Neben den Subgruppenwerten enthält der Graf drei Linien: Das obere Kontroll-Limit (UCL) und das untere Kontroll-Limit (LCL) sowie die Zentrumslinie (CL). Die Zentrums- und Kontrolllinien helfen, die Prozessvariabilität zu überwachen. Die Zentrumslinie wird in der Regel aus dem arithmetischen Mittel der untersuchten Variabelwerte ermittelt. Entsprechend liegen je rund die Hälfte der Werte über beziehungsweise unter dieser Linie. Die Prozesskontrolllimiten sollten auf den empfohlenen Formeln, also der jeweiligen dreifachen Standardabweichung, beruhen und nicht auf der Standardabweichung der Gesamtdaten.

Ein Prozess ist unter statistischer Kontrolle (= statistisch kontrolliert), wenn die Subgruppenwerte zwischen den Kontrollgrenzen UCL und LCL liegen. Im Weiteren ist die zeitliche Abfolge der Variationen zu untersuchen. Es dürfen keine besonderen zeitlichen Auffälligkeiten, zum Beispiel Trends oder Zyklen, vorliegen. Zusätzlich ist die Abfolge der Variablausprägungen zu untersuchen. Grundsätzlich führen unterschiedliche Subgruppengrößen zu variierenden Kontrolllimiten. Dies muss bei der Interpretation der Daten berücksichtigt werden. Auch Autokorrelationen und multivariate Prozesse sind zu berücksichtigen.

Auswahl des Charttyps

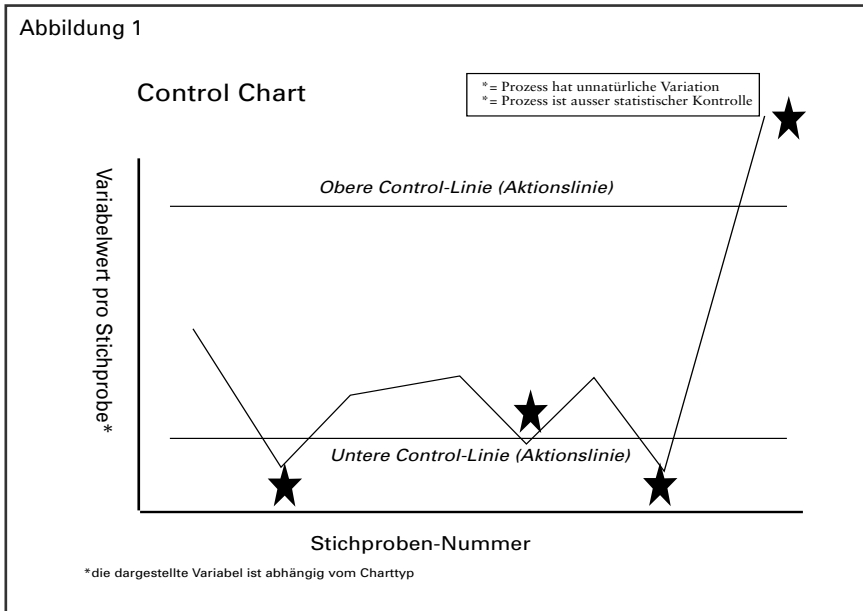
Es gibt unterschiedliche Control Charts. Je nach Datenstruktur werden unterschiedliche Charttypen angewendet, entsprechend variiert das zugrunde liegende mathematisch-statistische Konzept. Bei der Auswahl des Charttyps ist die nötige Sorgfalt geboten. Die adäquaten Formelsammlungen sind in Standardwerken referenziert. (Allerdings unterstützen die meisten kommerziellen Statistikprogramme den Anwender bei der Wahl des Analysetyps auf eine intuitive Weise, sodass auch mathematisch unbedarfte Anwender zurechtkommen.)

- Für *kontinuierliche Daten*, welche der Normalverteilung unterliegen (z.B. Erholungszeiten, Patientengewicht, Lungenkapazität), werden X-bar- und S-Control-Charts zusammen verwendet. Diese beiden Charts monitorisieren den Prozessmittelwert und die Standardabweichung.
- Für *diskrete Daten* werden meist zwei verschiedene Paare von Control Charts verwendet: Für binomial verteilte Daten (z.B. Vorliegen einer Eigenschaft: ja/nein) werden np- und p-Charts verwendet; für Poisson-verteilte Daten (Zahlen ohne theoretisches Maximum, z.B. Anzahl Eintritte über die Notfallstation pro Schicht, Anzahl Stürze aus dem Bett pro Monat im Gesamtklinikum usw.) c- und u-Charts. Grundsätzlich sollte der Analysetypen sich nach der vermuteten Wahrscheinlichkeitsverteilung (z.B. Binominal- oder Poisson-Verteilung) richten. Bei ungleichen Gruppengrößen sind aber p- und u-Charts vorzuziehen.
- Liegt ein *dichotomes Ereignis* (z.B. Kaiserschnittentbindung, Fehler bei der Rechnungsstellung, Fehlverschreibungen von Medikamenten pro Woche, Auftreten von Duraperforationen pro Monat usw.) vor, so werden meist np- und p-Charts zur Monitorisierung gebraucht. Dabei kann der absolute oder der relative Anteil von Interesse sein. Für *seltene dichotome Ereignisse* (z.B. Anzahl chirurgischer Eingriffe zwischen zwei Wundinfekten), deren statistische Verteilung geometrisch ist, sind g- und h-Charts anzuwenden.

Fluktuationen auf, deren zufälliges Verhalten sich statistisch nicht verändert. Im Gegensatz dazu ist ein Prozess statistisch nicht mehr unter Kontrolle, wenn er von seinen normalen Fluktuationen abweicht und entsprechend eine unnatürliche (unkontrollierte) Variabilität aufweist. Rein intuitiv, ohne grafische Repräsentation der Daten mittels einer Control

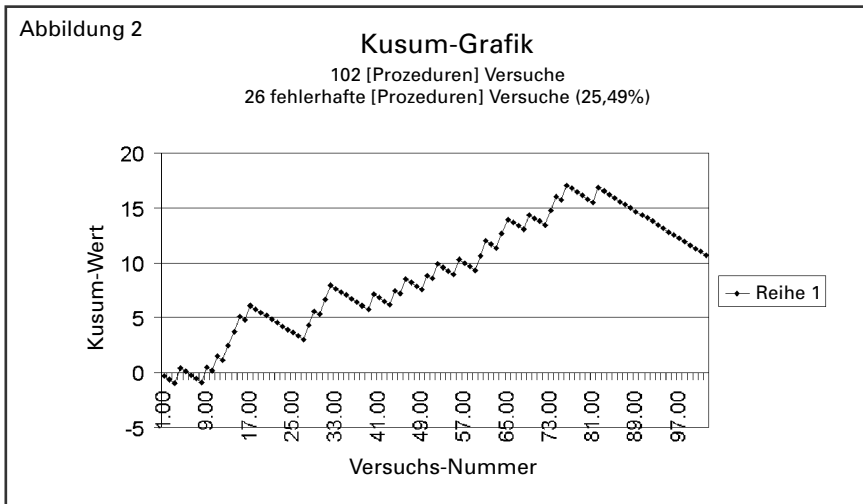
Chart, ist es unmöglich zu entscheiden, welcher Variationstyp (kontrolliert oder unkontrolliert) vorliegt (vgl. *Abbildung 1*). Control Charts erlauben es, einfach und effektiv zwischen Routinevariationen und Ausreißern aufgrund spezifischer Ursachen zu unterscheiden. Veränderungen lassen sich so in statistisch abgesicherter Form fassen.

Abbildung 1



Control Chart zur statistischen Prozesskontrolle. Die obere und die untere Kontrolllinie werden meist so festgelegt, dass ihr Abstand dem dreifachen Wert der theoretischen Standardabweichung der dargestellten Variablen entspricht. Welche Variable dargestellt wird, ist abhängig vom Charttyp.

Abbildung 2



Der Kusum-Wert für 102 Prozedurversuche wird aufgezeichnet. 26 Versuche wurden als Fehler gewertet, damit betrug die totale Fehlerrate 25,49 Prozent. Der Kusum-Wert steigt bis zum 18. Versuch an, danach fällt die Kurve vorübergehend ab. Erst nach einem Anstieg bis zum 86. Versuch beginnt die Kurve kontinuierlich abzufallen. Ein Ansteigen wird als Nicht-Beherrschen der Prozedur interpretiert, ein Abfallen der Kurve als Beherrschen der Prozedur. Folgende Annahmen wurden zur Berechnung des Kusumwertes getroffen: akzeptable Fehlerrate: 0,05; unakzeptable Fehlerrate: 0,1; statistischer Alpha-Fehler: 0,05; statistischer Beta-Fehler: 0,1. Die Kusum-Werte wurden gemäss der Tabelle kalkuliert.

SPC mit Hilfe von Control Charts (siehe *Kasten 1*) sind aber auch ein sehr gutes Werkzeug zur Verbesserung von Prozessen [9–11]. Sie sind stets realitätsbezogene Führungshilfen und keine abstrakten Wahrscheinlichkeitsmodelle [10].

Je nachdem, welcher Variationstyp (kontrolliert oder unkontrolliert) vorliegt, braucht es grundsätzlich verschiedene Interventionsstrategien, um die Prozessqualität zu verbessern:

■ Bei Prozessen mit unkontrollier-

ten Variationen müssen die Gründe für das unkontrollierte Verhalten gesucht und beseitigt werden, um sie zu stabilisieren und damit substantiell zu verbessern. Hingegen ist ein Umbau des Produktionssystems zu diesem Zeitpunkt ökonomisch nicht sinnvoll [9].

■ Bei gut definierten und stabilen Prozessen mit kontrollierter Variation können die Variationen nur

«Viele Standard-Software-Pakete unterstützen die SPC.»

noch dadurch reduziert werden, dass der zugrunde liegende Prozessablauf als solcher anders strukturiert wird (ökonomisch gesehen meist sehr aufwändig). Ziel ist es, die natürlichen allgemeinen Prozessschwankungen so zu beeinflussen, dass sich die Variabelwerte der Mittellinie nähern, sodass der Prozess näher am Zielwert operiert. Von grossem Vorteil ist dabei die Tatsache, dass die Limiten unabhängig von der Grundverteilung, welche die Daten mathematisch sonst am besten beschreibt, sicher errechnet werden können. Die Daten müssen also keine bestimmte Verteilung aufweisen, zum Beispiel nicht normalverteilt sein.

Kusum-Methode

Die Kusum-Methode wurde, wie eingangs erwähnt, im Zweiten Weltkrieg entwickelt. Detailliert dargestellt wurde das Verfahren dann 1954 von Shortell et al. [7]. 1977 wurde es auch der Medizin zugänglich gemacht [14]. Die Kusum-Technik ist eine Technik der Sequenzialanalyse (Analyse eines sich wiederholenden Ablaufes), welche die inhärenten Probleme von wiederholten statistischen Prüfungen, bei denen die Stichprobengrösse unklar ist und prinzipiell unendlich gross sein kann, überwindet. Die Kusum-Technik wird deshalb zur Performance-Messung in der Medizin empfohlen [15–18]. Sie ist die methodisch richtige Basis, um den Lernfortschritt grafisch zu visualisie-

ren (viele der sonst vorgeschlagenen Darstellungen haben den Nachteil, dass der Unterschied zwischen tatsächlich ungenügender Performance und normaler statistischer Variabilität oft nicht ersichtlich ist [19, 20]). So kann mithilfe der Kusum-Technik zum Beispiel aufgezeigt werden, wie gut ein Arzt ein neu erlerntes chirurgisches Prozedere zu verschiedenen Zeitpunkten der Lernphase beherrscht beziehungsweise wie oft der Eingriff erfolgreich verläuft und wie oft nicht.

Fehlerraten visualisieren

Mit der Kusum-Methode werden also erfolgreiche und erfolglose Versuche einer Prozessdurchführung und das Verhältnis zwischen erfolgreichen und erfolglosen Versuchen aufgezeichnet. Voraussetzung für die Anwendung der Methode ist, dass Erfolg und Versagen binär, das heisst mit Null und Eins, definiert werden

«Die Kusum-Analyse kann mit einem einfachen Tabellenkalkulationsprogramm wie Excel selbst programmiert und angewendet werden.»

können [16, 18, 22–25]. Verliert beispielsweise ein Kliniker nach wiederholten Fehlern innerhalb kurzer Zeit das Selbstvertrauen, so hilft die Kusum-Technik, dies aufzuzeigen; so kann die weitere Diskussion auf einer rationalen Basis geführt werden [26]. Das zugrunde liegende mathematische Modell erlaubt es dem Anwender zu entscheiden, ob ein Produktionsprozess als Ganzes innerhalb der definierten Qualitätslimiten liegt (also unter Kontrolle ist) oder ob er ausser Kontrolle ist. Statistisch wird dies als Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion einer Zufallsvariablen definiert. Nimmt die Wahrscheinlichkeit, dass die Zufallsvariable zwischen den Qualitätslimiten liegt, ab, so weist dies auf eine deletäre Performance-Veränderung eines Systems oder Individuums hin.

Tabelle:

Kalkulation der Kusum-Variablen:

Abkürzungen

p_0 : akzeptable Fehlerrate

p_1 : inakzeptable Fehlerrate

α : Typ-1-Fehlerrate (Fehler erster Art: Die Wahrscheinlichkeit, fälschlicherweise eine inakzeptable Performance anzunehmen)

β : Typ-2-Fehlerrate (Fehler zweiter Art: Die Wahrscheinlichkeit, fälschlicherweise eine akzeptable Performance anzunehmen)

Um den Grafen lesbar zu halten, können die Typ-1- und Typ-2-Fehlerraten gleich gross gewählt werden.

\ln : natürlicher Logarithmus (\log_e)

Intermediäre Werte

$a = \ln\{(1-\beta)/\alpha\}$

$b = \ln\{(1-\alpha)/\beta\}$

$P = \ln\{p_1/p_0\}$

$Q = \ln\{(1-p_0)/(1-p_1)\}$

$s = Q/(P+Q)$

«s» entspricht dem Wert, um den der y-Wert im Falle eines Erfolgs absinkt, 1-s dem Wert, um den der y-Wert im Fall eines Fehlers/Misserfolgs zunimmt.

Kasten 2:

Darstellung der Kusum-Werte

Die kalkulierten Kusum-Werte werden auf der y-Achse abgebildet, die x-Achse zählt die Anzahl der Versuche. Der Kusum-Wert ist eine fortlaufende Aufsummierung von Zunahmen (für Fehler/Versagen) und Abnahmen (für Erfolge). Bei Erfolg wird «s» (siehe *Tabelle*) vom Kusum-Wert subtrahiert, bei Misserfolg wird «1-s» addiert. Der Wert von «s» hängt von der definierten akzeptablen respektive nicht akzeptablen Fehlerrate ab (siehe unten). Eine akzeptable Performance führt zu einer horizontalen oder fallenden Linie des Kusum-Wertes. Klassisch wird eine Parallelschar zur x-Achse gelegt, um die definierten Qualitätslimiten (h_1 und h_0) darzustellen.

Die *Tabelle* fasst die zur Kalkulation nötigen Variablen zusammen. Aus der definierten akzeptablen respektive inakzeptablen Fehlerrate und den Wahrscheinlichkeiten für den Alpha- und Betafehler können die beiden Entscheidungslimiten h_1 und h_0 (= die definierten Qualitätslimiten) und die Variabel «s» kalkuliert werden. Der Graf beginnt bei 0. Eine negative Steigung zeigt Erfolg an, ein Anstieg Versagen [15, 16, 18, 21].

Wenn die Kusum-Linie die obere Entscheidungsgrenze h_1 von unten überkreuzt, so ist die aktuelle Fehlergrenze signifikant grösser als die akzeptable Fehlerrate, mit einer Wahrscheinlichkeit von Alpha für einen Fehler erster Art. Überkreuzt die Kusum-Linie die untere Entscheidungslinie h_0 von oben, so ist die wahre Fehlerrate statistisch von der akzeptierten Fehlerrate nicht zu unterscheiden. Dies mit der Wahrscheinlichkeit Beta, einen Fehler zweiter Art zu begehen. Verharrt die Kusum-Linie zwischen den beiden Entscheidungslinien, so kann keine sichere Aussage gemacht werden und weitere Beobachtungen sind nötig. Gelegentlich wird auf das Einfügen der Entscheidungslinien für h_0 und h_1 im Grafen verzichtet.

Bei der Anwendung der Kusum-Technik müssen die Qualitätsgrenzen und die Regeln, wann der Prozess zu stoppen ist, im Voraus festgelegt werden: Welches sind akzeptable, welches inakzeptable Fehlerraten? Aus statistischen Gründen müssen die Wahrscheinlichkeiten für den Fehler der ersten Art (Alphafehler, siehe Kasten 2) und den Fehler der zweiten Art (Betafehler, siehe Kasten 2) definiert werden. Zur

Auswertung der Daten empfiehlt es sich, die Kusum-Werte grafisch darzustellen (siehe Kasten 2 und *Abbildung 2*) [15]. Dabei hat sich die vereinfachte Darstellung nach Kestin bewährt [16]. Grundsätzlich können Kusum-Grafen einfach generiert werden, ein gängiges Tabellenkalkulationsprogramm, zum Beispiel Excel, genügt. Die *Tabelle* fasst die zur Kalkulation nötigen Variablen zusammen.

Vor- und Nachteile der Kusum-Analyse

Die Kusum-Technik ist ein gutes Qualitätsmanagement-Werkzeug für viele Bereiche in der Medizin. Sie wurde beispielsweise schon zur Qualitätssicherung in der Neugeborenen-Herzchirurgie eingesetzt [27, 28], und sie wurde als Instrument zur Performance-Überwachung im Rahmen der Qualitätskontrolle durch eine Fachgesellschaft empfohlen [17]. Dabei ist es wichtig, dass diskutiert wird, welche Daten als harte Endpunkte eingesetzt werden, um die Methode anwenden zu können. Die Definition von Erfolg und Misserfolg oder von Komplikationen und Nichtkomplikationen ist etwas Arbitrarisches.

Ein Nachteil des Kusum-Verfahrens ist es, dass eine sehr grosse Zahl von Versuchen notwendig sein kann, um eine statistisch gesicherte Erfolgsrate zu erreichen. Neben der Kusum-Technik wurden noch andere Verfahren für die sequenzielle Analyse propagiert [16, 29, 30]; sie haben sich aber als wenig valide erwiesen [22]. ■

Autoren:

**Dr. med. Guido Schüpfer, MBA
HSG**

Research Fellow Postop. Cardiac
Surgical ICU and Cardiac Anaesthesia
Department of ICU
Ghent University Hospital
de Pintelaan 185
B-9000 Gent
Belgium

Prof. Dr. med. J.I. Poelaert

Postop. Cardiac Surgical ICU and
Cardiac Anaesthesia
Department of ICU
Ghent University Hospital
de Pintelaan 185
B-9000 Gent
Belgium

Korrespondenzadresse:
**Dr. med. Guido Schüpfer, MBA
HSG**

Stabschef des Ärztlichen Direktors
Leitender Arzt am Institut
für Anästhesie und
Chir. Intensivmedizin
Kantonsspital Luzern
6000 Luzern 16
E-Mail: guido.schuepfer@ksl.ch

Literatur:

- Hart MK, Hart RF: Statistical Process Control for Health Care. Pacific Grove, CA 93950 USA: Duxbury, Thomson Learning, 2002.
- Shewart WA: The Economic Control of Quality of Manufactured Product. New York: Van Nostrand and Co., 1931.
- Brassard M: The Memory Jogger (TM): A Pocket Guide of Tools for Continuous Improvement. Methuen, MA, USA: GOAL/QPC, 1994.
- Bolsin SN, Day CJ: Risk evaluation, quality of practice and audit. Short Practice of Anaesthesia 1998; 111-122.
- Berwick DM: Continuous improvement as an ideal in health care. New Engl J Med 1989; 53-56.
- Blumenthal D, Edwards JN: Involving physicians in total quality management: results of a study. Improving Clinical Practice 1995; 229-266.
- Shortell SM, Bennet CL, Byck GR: Assessing the impact of continuous quality improvement on clinical practice: what it will take to accelerate progress. Milbank Q 1998; 593-624.
- Benneyan JC: Use and Interpretation of statistical quality control charts. International Journal for Quality in Health Care 1998; 10: 69-73.
- Shewart WA: Statistical Method from the Viewpoint of Quality Control. New York: Dover Publications, 1986.
- Deming WE: Quality, Productivity and Competitive Position. Cambridge, MA, USA: Massachusetts Institute of Technology Center for Advanced Engineering Studies, 1982.
- Montgomery DC: Introduction to Statistical Quality Control, 3rd edn. New York: Wiley, 1997.
- Banks J: Principles of Quality Control. New York: Wiley, 1981.
- Lagasse S, Steinberg ES, Katz RI, Saubermann A J: Defining Quality of Perioperative Care by Statistical Process Control of Adverse Outcomes. Anesthesiology 1995; 82: 1181-1186.
- Wohl H: The cusum plot: its utility in the analysis of clinical data. N Engl J Med 1977; 296: 1044-1045.
- Getulio Rodrigues de Olivera Filho: The Construction of Learning Curves for Basic Skills in Anesthetic Procedures: An Applikation for the Cumulative Sum Method. Anesth Analg 2002; 95: 411-416.
- Kestin IG: A statistical approach to measuring the competence of anaesthetic trainees at practical procedures. Br J Anesth 1995; 75: 805-809.
- Lim TO, Soraya A, Ding LM, Morad Z: Assessing doctors' competence: application of CUSUM technique in monitoring doctors' performance. Int J Qual Health Care 2002; 14: 251-258.
- Williams SM, Parry BR, Schlup MM: Quality control: an application of the Cusum. BMJ 1992; 1359-1361.
- Lawler PG, Patla VR, Garcia E, Puttick N: Assessment of training in anaesthesia and related skills. Anaesthesia 1991; 46: 597.
- Wilson M: Assessing intravenous and tracheal intubation training. Anaesthesia 1991; 46: 578-579.
- Davies OL, Goldsmith PL (eds): Statistical methods in research and production. London: Longman, 1976.
- Schüpfer G K, Konrad C, Poelaert J T: Erlernen von manuellen Fähigkeiten in der Anästhesie. Anästhesist 2003; 52: 527-534.
- Schüpfer G, Konrad C, Wietlisbach M, Durrer S, Gerber H, Staffelbach B: Lernkurven für manuelle Anesthetieverfahren. Gesundheitsökonom. Qual.manag 1998; 3: 58-62.
- Schüpfer G, Konrad C, Durrer S, Wietlisbach M, Staffelbach B: Lernkurven bei Anästhesieärzten. Die Unternehmung. Schweizerische Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung und Praxis. 1996: 279-288.
- Konrad C, Schüpfer G, Wietlisbach M, Gerber H: Learning Manual Skills in Anesthesiology: Is There a recommended Number of Cases for Anesthetic Procedures? Anesth Analg 1998; 86: 635-639.
- Sigmund D: Sequential Analysis, Test and Confidence intervals. New York Springer 1985: 24-30.
- Bolsin S, Colson M: The use of the Cusum technique in the assessment of trainee competence in new procedures. Int J Qual Health Care 2000; 12: 433-438.
- de Leval MR, Francois K, Bull C: Analysis of a cluster of surgical failures: application to a series of neonatal arterial switch operations. 1994: 914-923.
- Harrison MJ: Tracking the early acquisition of skills by trainees. Anaesthesia 2001; 56: 988-1002.
- Sneyd JR: Using sequential testing to assess skill at tracheal intubation. Anesthesiology 1994; 81: A1242.