

Prozessfähigkeit – (k)eine Frage der Losgröße?

So wird statistische Prozessregelung auch für kleinste Losgrößen nutzbar

Mit wachsender Variantenvielfalt schrumpfen auch in der Serienfertigung die Losgrößen von Bauteilen. Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage: Lässt sich die statistische Prozessregelung (SPC) auch auf kleine Losgrößen anwenden? Möglich wird es mithilfe einer praxisnahen Auslegung der ISO 7870-8.

Wolfgang Schultz

In der 2017 veröffentlichten ISO 7870-8 wurde eine Vorgehensweise zur Führung von Qualitätsregelkarten bei der Einzelfertigung mit Stückzahl 1 vorgestellt. Unter bestimmten Bedingungen ist es demnach möglich, unterschiedliche Merkmale am selben Bauteil zu gruppieren. Mögliche Beispiele sind: mehrere Bohrungen mit unterschiedlichen Durchmessern, Nuten mit unterschiedlichen Breiten, Einschnitte in unterschiedlichem Abstand zu einer Referenzfläche und viele mehr.

Anders als in der Norm beschrieben, muss diese Vorgehensweise nicht nur auf das einmalige Vorkommen jedes Merkmals beschränkt sein. Sie lässt sich auch auf andere Fälle übertragen, bei denen an einem Bauteil unterschiedliche Merkmale jeweils mehrfach vorkommen (z. B. zwölf Bohrungen mit Durchmesser 20 mm an einem Flansch, sechs Gewindelöcher M 16, vier Lageraugen mit Durchmesser 60 mm und den Distanzen 120 mm, 180 mm, 240 mm und 300 mm zu einer Bezugslinie).

Macht SPC bei kleinen Losgrößen überhaupt Sinn?

Der Sinn der Anwendung von SPC bei kleinen Losgrößen kann nicht darin liegen, im ersten Schritt die Fähigkeit des Herstellprozesses nachzuweisen und anschließend die Fertigung anhand von Stichproben zu überwachen.

Bei geringen Losgrößen wird abhängig von der Risikobewertung oder auf Kundenwunsch vielfach die 100 %-Prüfung ange-

wandt. Damit stellt sich die Frage nach der Prozessfähigkeit in vielen Fällen gar nicht erst. Andererseits ist es aber denkbar, dass ein Hersteller auch bei kleinen Losgrößen die Fähigkeit des Prozesses bestätigen möchte, etwa um das Kundenvertrauen in die Qualität des Herstellprozesses der gelieferten Produkte zu stärken. Darüber hinaus lässt sich die Voraussetzung zur Anwendung der klassischen Regelkartentechnik nach ISO 7870-2 und ISO 22514-2 für wiederkehrende oder vergleichbare Prozesse schaffen.

Die Fähigkeit eines Prozesses wird durch seine Lage und Streuung charakterisiert. Die Lage wird dadurch bestimmt, wie genau

man den Prozess auf Zielwert einstellen kann. Die Streuung ist im Prinzip inhärent, vom Bediener nicht einstellbar, aber meistens aus den Erfahrungen mit gleichen oder ähnlichen Prozessen ungefähr bekannt.

Prozessfähigkeit und Prozesslenkung mit Qualitätsregelkarten

Die klassische Anwendung von Qualitätsregelkarten besteht darin, aus den ermittelten Parametern für Lage und Streubreite des Prozesses die Grenzen für deren Zufallsstrebereiche (von Stichprobenkennwerten) zu berechnen. Das maßgebliche Eingriffskriterium ist, ob ein Stichprobenkennwert diese Eingriffsgrenze überschreitet.

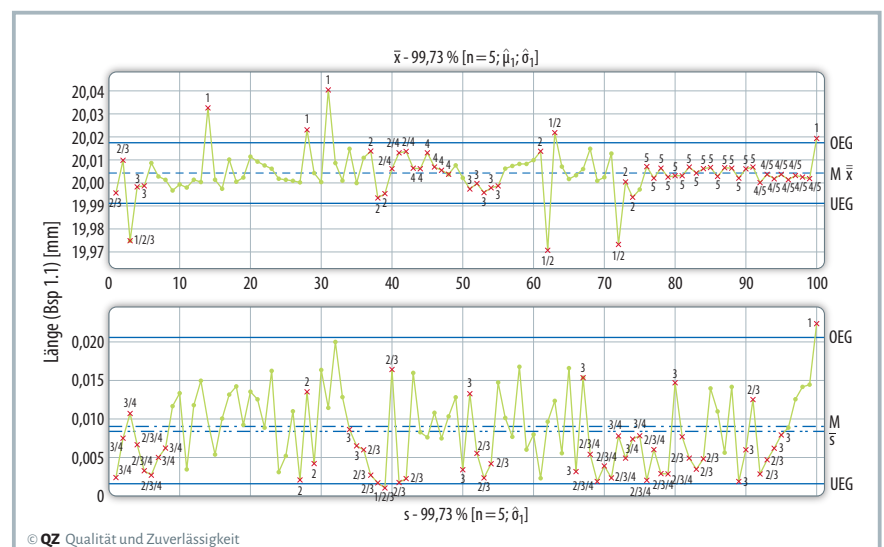


Bild 1. Ein Beispiel der auftretenden Alarme für einen „schlechten“ (instabilen) Datensatz: Das Kriterium „Verletzung der Eingriffsgrenzen“ ergäbe neun Alarme, die Anwendung der kompletten Western Electric Rules entspricht der Anzahl der roten Kreuze. (Quelle: Autor)

Darüber hinaus haben sich bei machen Anwendern einige zusätzliche Eingriffskriterien etabliert, die Hinweise auf Prozessstörungen geben können. Am bekanntesten sind wohl Run, Trend, Middle Third und die Western Electric Rules. Sie basieren darauf, dass bestimmte Muster eine sehr geringe Auftretenswahrscheinlichkeit haben (meist $<0,1\%$) und daher den Verdacht auf eine Prozessstörung begründen. Allerdings summieren sich die Einzelwahrscheinlichkeiten der verschiedenen Kriterien über einen längeren Datensatz derart, dass in Summe zu viele Fehlalarme entstehen (Beispiel siehe Bild 1).

Fehlalarme schränken Anwendbarkeit der Western Electric Rules ein

Bei einem kleinen Datensatz ist die Wahrscheinlichkeit für Fehlalarme noch relativ gering. Donald Wheeler hatte sich bereits 1991 mit dem Thema Short Run SPC auseinandergesetzt und einen Satz von Eingriffskriterien empfohlen, der ein wenig von den Western Electric Rules abweicht. Dieser Satz besteht aus:

- Rule I: Verletzung Eingriffsgrenze Σ (1 Wert außerhalb ± 3),
- Rule II: 2 von 3 aufeinanderfolgenden Werten oberhalb von $+2$ oder unterhalb von -2 ,
- Rule III: 4 von 5 aufeinanderfolgenden Werten oberhalb von $+1$ oder unterhalb von -1 ,
- Rule IV: 8 aufeinanderfolgende Werte auf einer Seite der Mittellinie.

Eine Überslagsrechnung für die Auftretenswahrscheinlichkeiten von Alarmen bei Anwendung der Wheeler-Rules hat das Ergebnis: Bis zu einer Folge von 10 oder max. 15 Werten kann die Anwendung der Wheeler-Regeln sinnvoll sein, um Abweichungen von der angenommenen Verteilung anzuzeigen. Bei einer größeren Anzahl von Werten ist sie aufgrund der Vielzahl der möglichen Fehlalarme eher schädlich.

Ermittlung der Verteilungsparameter bei kleinen Losgrößen

Bei einem kleinen Los von weniger als 50 Teilen ist es aus statistischen Gründen gar nicht möglich, die Parameter der Verteilung der Merkmalswerte aus einer vorangehenden Maschinen- oder gar Prozessfähigkeitsanalyse zu ermitteln.

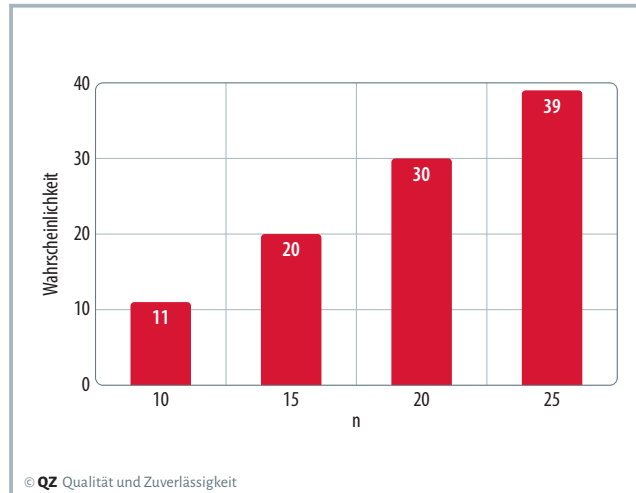


Bild 2. Ungefähre Wahrscheinlichkeit für Alarme bei Anwendung der Wheeler-Rules bei einem ungestörten Prozess.

(Quelle: Autor)

An dieser Stelle muss das Ziel der Anwendung von SPC bei kleinen Losgrößen diskutiert werden. Im Regelfall geht es darum, nach der Bestätigung der Maschinen- (Kurzzeit) und Prozessfähigkeit (Langzeit) anstelle von 100 %-Prüfungen nur noch anhand von Stichproben zu überwachen, dass der Prozess sicher Teile innerhalb der Spezifikation liefert. Bei sehr kleinen Losen ist a priori nicht davon auszugehen, dass man auf Stichprobenprüfung reduzieren kann, da die üblichen Voraussetzungen in der Regel nicht erfüllt sind.

Besonderheiten des Prozesses abhängig von Einflussfaktoren

„Das Wissen über den Prozess verbessern“ – so lautet ein Teilziel aus ISO 3534-2. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, welche der typischerweise fünf betrachteten Ms während der Produktionsdauer auf den Prozess wirken können.

Einfache Drehteile können z. B. in weit weniger als einer Schicht, mit nur einem Bediener, einer Materialcharge, ohne Werkzeugwechsel, mit nur einer Maschineneinstellung hergestellt werden. Hingegen kann bei einer großen Turbinenwelle der Bearbeitungsprozess in einer Aufspannung für die Bearbeitung von ca. 75 Durchmessern mehrere Werkzeugwechsel, Maschineneinstellungen, Bedienerwechsel, Temperaturschwankungen in der Fertigungshalle etc. beinhalten. Das dauert in untersuchten Beispielen circa sechs Wochen.

Eine statistische Auswertung der Daten kann also nur das Verhalten des Prozesses im betrachteten Zeitraum unter den gegebenen Einflüssen darstellen.

Wann es sich lohnt, das Pferd vom Schwanz aufzuzäumen

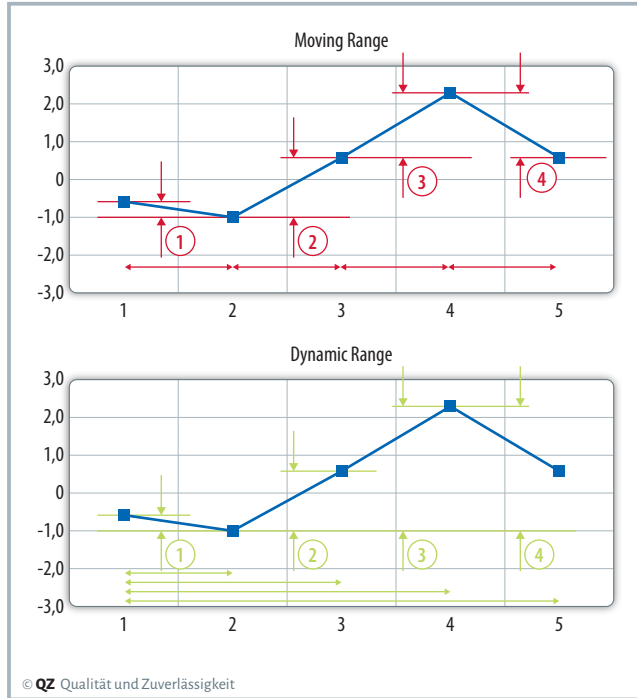
In der Realität fängt man bei kaum einem Prozess mit dem Wissensstand Null an. Meist liegen ähnliche Merkmale oder ähnliche Prozesse vor, deren typische Streuung man ungefähr kennt. Unter diesen Voraussetzungen kann man die in der Definition von SPC aus ISO 3534-2 genannten Ziele extrapolieren und die „klassische“ Prozessfähigkeitsanalyse umdrehen.

Man prüft zunächst, ob die ungefähr bekannte bzw. vermutete Streuung mit einem gewünschten Fähigkeitskennwert verträglich ist, der bei kleinen Losen am ehesten einer Maschinen- (Kurzzeit-)fähigkeit entsprechen wird. Wenn ja, kann der Prozess gestartet und die gemessenen Daten anhand einer zweispurigen Regelkarte auf Einhaltung der Vorgaben/Annahmen überwacht werden. Da zunächst 100 % geprüft wird, bietet sich eine Urwertkarte mit $n = 1$ an. Diese wird häufig mit einer Moving Range-Karte $n = 1 \rightarrow 2$ kombiniert, die aber für Störungen/Abweichungen ebenfalls sehr unempfindlich ist.

Das erste Problem ist nun, dass nach Einstellung der Maschine auf den Zielwert, dem Fertigen und Messen des ersten Teils aus statistischen Gründen eine relativ große Unsicherheit für die korrekte Einstellung der Maschine bleibt. Diese wird in ISO 7870-8 anschaulich erläutert. In ISO 7870 wird empfohlen, aus den Messergebnissen der ersten drei Teile Mittelwert und Standardabweichung zu berechnen und mit diesen Parametern einen t-Test für die Lage durchzuführen.

Doch auch der t-Test aus nur drei Werten unterliegt noch einer ziemlich gro- >>>

Bild 3. Veranschaulichung der Definition des dynamischen Ranges (R_{dyn}) (Quelle: Autor)



des t-Tests nach 5 und nach 7 gefertigten Teilen zu stabileren Ergebnissen führen, was jedoch einen höheren Aufwand darstellt.

Definition eines dynamischen Ranges

Das zweite Problem liegt in der Streuungsspur, die ebenfalls nur wenig empfindlich ist. Hier besteht aber nun die Möglichkeit, sich einen empirisch ermittelten Zusammenhang zwischen der Standardabweichung einer Normalverteilung und dem Erwartungswert des Ranges aus n Werten zunutze zu machen. Dieser Zusammenhang wird durch die W-Verteilung beschrieben, ist tabelliert, der Erwartungswert sowie die Grenzen eines zugehörigen Zufallsstrebereiches (ZSB) sind angegeben.

Das Ganze funktioniert dann wie folgt: Es wird der geschätzte/vermutete Wert der Standardabweichung oder bei vorgegebener Toleranz und $C_p = C_{pk}$ der daraus berechnete Wert der Standardabweichung herangezogen und daraus der Erwartungswert und die Grenzen des ZSB für $R = f(n)$ berechnet. Diese Wertefolge des $R = f(n)$ für $n = 2$ bis i kann als „dynamischer Range“ definiert werden. Die Definition des dynamischen Ranges wird im Vergleich zum Moving Range für $n = 2$ veranschaulicht (Bild 3).

ßen Unsicherheit. Auch der 1 Part/5-Part Test aus der GM-SP-Q-MARO erscheint wenig geeignet, da er offensichtlich auf $C_p = 2$ ausgerichtet und für ein Ziel von $C_p = 1,33 - 1,67$ zu scharf ist, was in einigen beispielhaften Tests bestätigt werden konnte. Die Anwendung der Wheeler-Rules stellt hier offenbar einen recht guten Kompromiss dar. Natürlich könnte auch die Wiederholung

INFORMATION & SERVICE

FEEDBACK ERWÜNSCHT!

Der Autor freut sich über Kommentare, Interessenten für die Anwendung und reale Daten zur Validierung des vorgestellten Ansatzes. Bei ausreichendem Interesse kann eine Arbeitsgruppe zu diesem Thema reaktiviert werden.

LITERATUR

Schultz, W.: „Die Crux mit der Streuung: SPC für kleine Losgrößen und Einzelfertigung“, QZ 10/2018, S. 44–46.

AUTOREN

Dr. Wolfgang Schultz ist freier Mitarbeiter des Bereichs TEQ Training & Consulting bei der Q-Das GmbH.

KONTAKT

Wolfgang Schultz
T 06201 3941-215
wolfgang.schultz@hexagon.com
www.q-das.com

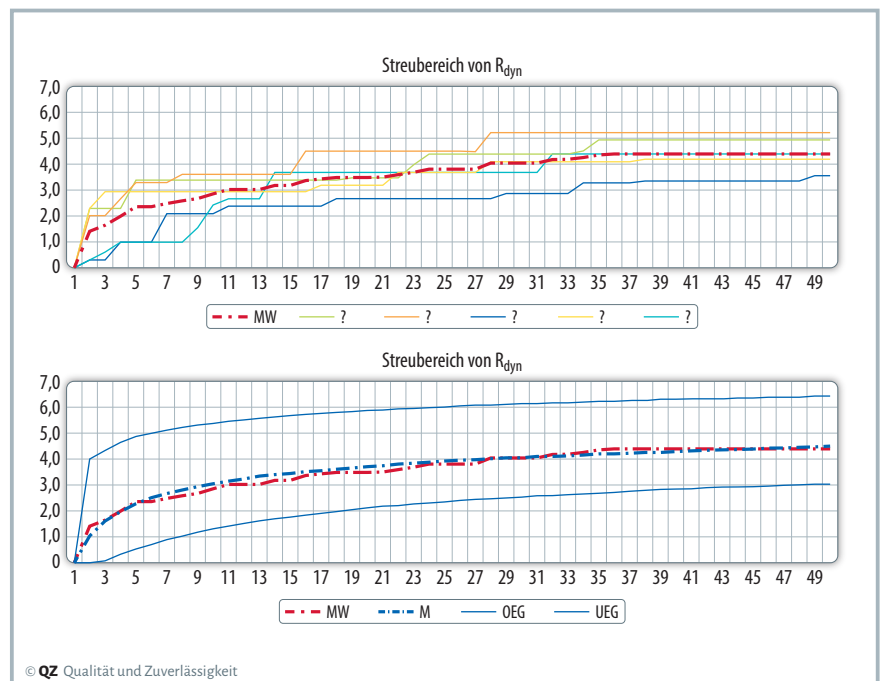


Bild 4. Im unteren Teil des Bildes sind Mittelwert der fünf Datensätze, Erwartungswert aus der W-Verteilung und die Grenzen des ZSB dargestellt. Der ZSB für diesen dynamischen Range stellt insbesondere für die ersten 10-15 Stichproben eine wesentlich engere Überwachung für die Streuung dar als der Moving Range. (Quelle: Autor)

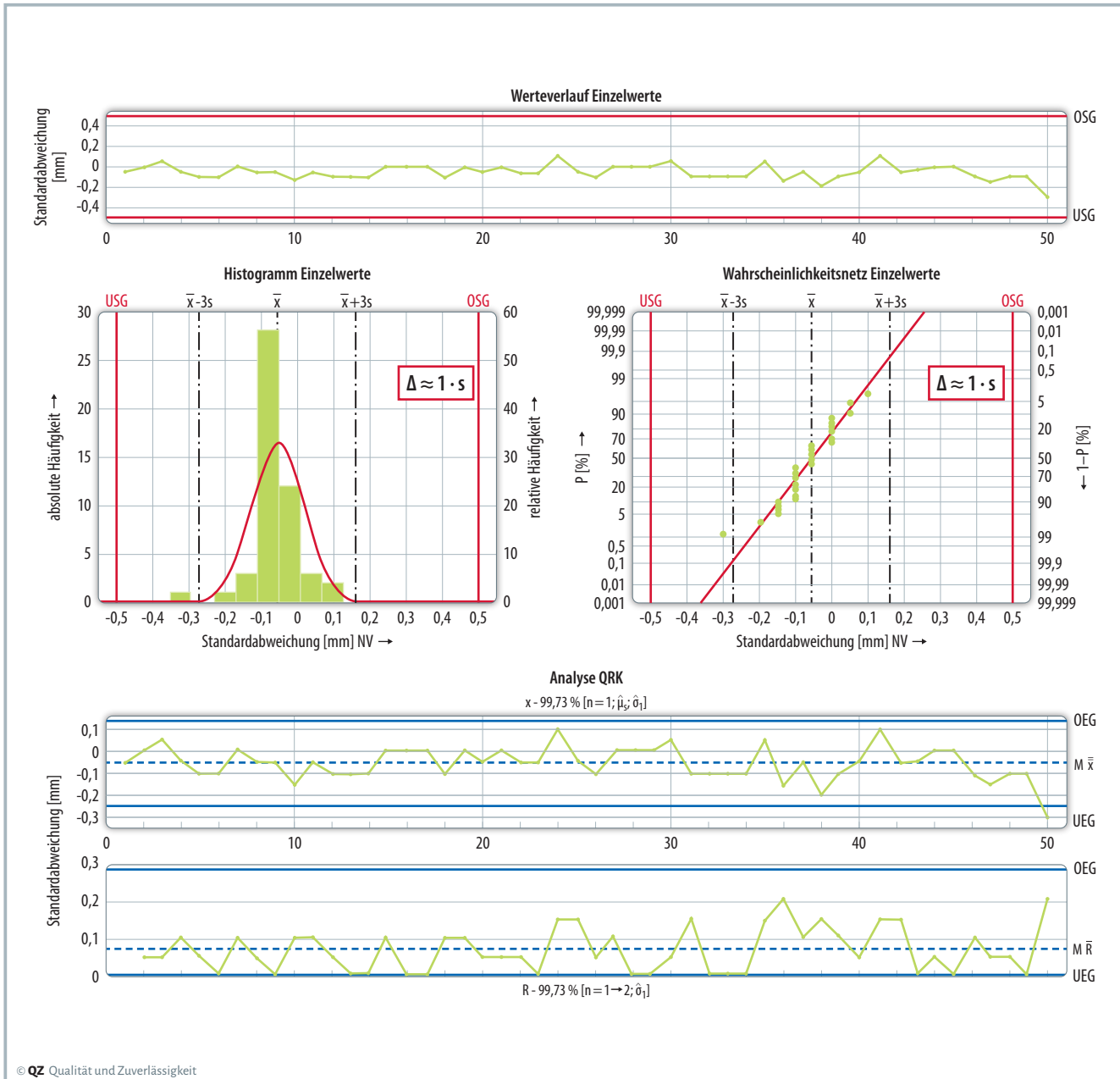


Bild 5. Im Histogramm ist der C_p von circa 2 zu erkennen, die Lageabweichung beträgt etwa eine Standardabweichung. (Quelle: Autor)

In Bild 4 ist der Verlauf des dynamischen Ranges im oberen Teil experimentell in 5 Datensätzen dargestellt, die rote strichpunktierte Linie zeigen den Mittelwert dieser fünf Datensätze.

Anwendung in der Praxis am Beispiel der Möbelkonfektionierung

Die praktische Anwendbarkeit dieses Ansatzes soll an einem Beispiel mit realen Daten aus der Konfektionierung von Möbeln demonstriert werden. Diese Daten wurden in Zusammenarbeit zwischen der Berufsakademie Sachsen–Staatliche Studienakademie Dresden sowie einem Möbelhersteller erhoben. Auf einer industriellen Säge

(Fräse) werden beschichtete Spanplatten auf Maß geschnitten. Die Platten und einzelnen Teile werden automatisch aufgelegt und bearbeitet. Länge und Breite der einzelnen Teile unterscheiden sich stark. Die Maßtoleranz ist unabhängig vom Nennmaß einheitlich auf $\pm 0,5$ mm festgelegt. Als C_p und C_{pk} wurde 1,33 vorgegeben.

In der Regelkartenspur für die Lage wurden die Eingriffskriterien nach Wheeler angewendet, für die Streuungsspur der dynamische Range dargestellt. Es wurden vier verschiedene Konfektionen untersucht. In allen vier Fällen zeigt die Lagespur anhand der Wheeler-Rules bereits nach wenigen

Werten (hier zwischen 5 und 14) Abweichungen der Lage vom Soll. Die ersten beiden Konfektionen zeigen den Verlauf des Range deutlich im „grünen Bereich“, Nr. 3 und 4 weisen eine geringere Streuung auf als gefordert. Bild 5 zeigt die wesentlichen Grafiken für alle fünfzig erfassten Werte aus der vierten Konfektion.

Es dürfte nachvollziehbar sein, dass insbesondere in der Kombination des hier vorgestellten Ansatzes mit der Gruppierung von Merkmalen gemäß ISO 7870-8 recht schnell Möglichkeiten entstehen, von der 100 %-Prüfung auf angemessene Stichprobenprüfungen überzugehen. ■