

Das Leistungsniveau von Prozessketten bewerten

Dipl.-Ing. (FH) Michael Radeck, TEQ® Training & Consulting GmbH

Mit der Kenngröße Sigma short term z_{ST} ist die Leistungsbeurteilung einer ganzen Prozesskette mit einer einzigen Kennzahl möglich. Dabei ist ein bestechender Vorteil, dass die Kennzahl Sigma short term sowohl bei zählbaren als auch bei messbaren Merkmalen bestimmbar ist.

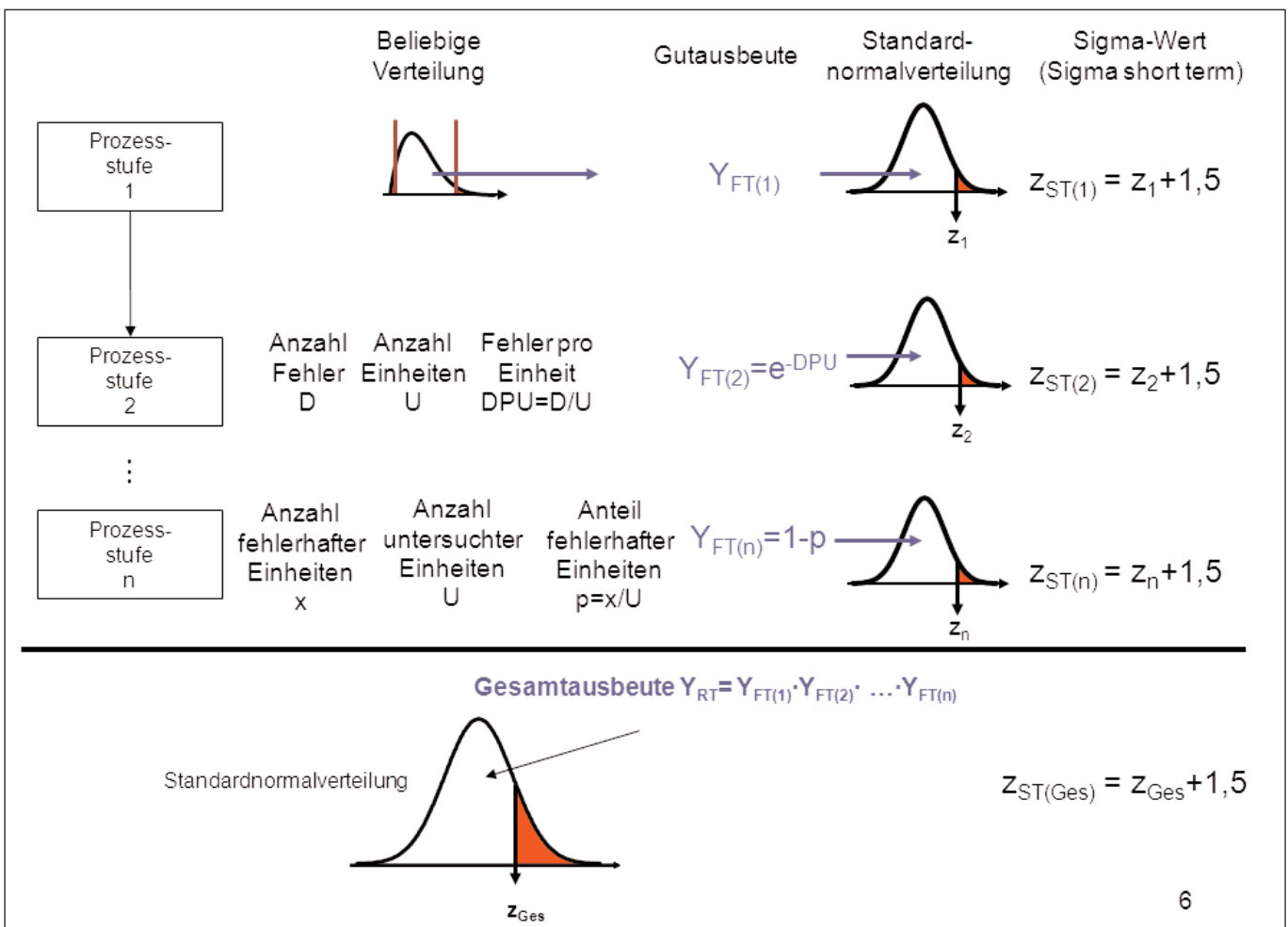
Was ist der Sinn dieser Kennzahl? Mit Sigma short term lassen sich leicht Potenziale der Verbesserung identifizieren. Was aber noch wichtiger ist: Im Büro kann mit der gleichen Kennzahl gearbeitet werden wie auch im Fertigungsbereich. Somit kann das Leistungsniveau zur Erfüllung von Anforderungen des internen und externen Kunden mit einer Kennzahl in allen Bereichen des Unternehmens ausgedrückt werden.

In vielen Unternehmen ist die Verbesserungsinitiative Six Sigma bereits eingeführt. Während der Ausbildung zum Six Sigma Green Belt oder Black Belt kommen alle Teilnehmer mit der Kenngröße Sigma short term z_{ST} in Berührung. Jedoch ist die praktische Anwendung dieser Kenngröße auf konkrete Projekte immer noch sehr verhalten. Als Trainer beobachte ich während der Semi-

nare immer wieder, dass sich die Teilnehmer in Gruppen der Befürworter und Kritiker der Kenngröße aufspalten. Ein oft genannter Kritikpunkt bezieht sich auf die vereinfachenden Annahmen. In diesem Beitrag möchte ich aufzeigen, dass es gerade die vereinfachenden Annahmen sind, die uns die Verknüpfung der Leistungsbeurteilungen von mehreren Einzelprozessen zu einer Gesamtleistung ermöglicht.

In der folgenden Prinzipskizze durchlaufen Produkte n Prozessschritte nacheinander.

Anhand der Skizze ist zu erkennen, dass für jeden Prozessschritt die Gutasausbeute Y_{FT} berechnet wird. Das Symbol Y_{FT} wurde aus der englischen Bezeichnung für First Time Yield übernommen. Die einzelnen Gutasausbeuten lassen sich sowohl für stetige als auch für diskrete Merkmalswerte einfach bestimmen. Durch Multiplikation der Gutasausbeuten erhält man die Gesamtausbeute Y_{RT} der Prozesskette. Das ist der Charme der Methodik. Die zusätzliche Berechnung der Kenngröße Sigma short term sorgt dafür, dass bei allen Pro-



zessen, ob dort nun zählbare oder messbare Merkmalswerte vorliegen, immer die gleiche Kenngröße berichtet werden kann. Im folgenden ist das Vorgehen der Kenngrößenbestimmung in Schritten beschrieben.

Prozessstufe 1 - Messwerte

In der Prozessstufe 1 ist angenommen, dass hier ein messbares Merkmal hergestellt wird. Das Vorgehen der Kennzahlermittlung gliedert sich in vier Schritte.

Schritt 1: Daten repräsentativ erfassen und Verteilungsmodell anpassen. Die Daten des Merkmals sind repräsentativ zu erfassen, z.B. mehrere 5er Stichproben über eine Woche. An diese Stichprobendaten passt man ein Verteilungsmodell an, das das Streuverhalten der Daten so genau wie möglich beschreibt. Dabei ist man nicht zwingend auf das Modell Normalverteilung beschränkt, sondern kann für diesen Zweck ein beliebiges Verteilungsmodell verwenden.

Schritt 2: Gutasbeute $Y_{FT(1)}$ ermitteln. Mit der im Schritt 1 angepassten Verteilung berechnet man den Flächenanteil, der sich innerhalb der Spezifikationsgrenzen befindet. In der Skizze sind die Spezifikationsgrenzen durch zwei rote Balken nur angedeutet. Den berechneten Flächenanteil deutet man als Gutasbeute $Y_{FT(1)}$ der Prozessstufe 1.

Schritt 3: Quantil z_1 der Standardnormalverteilung bestimmen. Für die im Schritt 2 berechnete Gutasbeute $Y_{FT(1)}$ berechnet man das Quantil z_1 mit der inversen Verteilungsfunktion $G^{-1}(Y_{FT(1)})$ der Standardnormalverteilung:

Quantil der Standardnormalverteilung $z_1 = G^{-1}(Y_{FT(1)})$ für die Prozessstufe 1:

Schritt 4: Sigma short term $z_{ST(1)}$ berechnen. Die Kenngröße Sigma short term $z_{ST(1)}$ erhält man, indem man zu dem Quantil z_1 aus Schritt 3 die Konstante 1,5 addiert:

Sigma short term für die Prozessstufe 1: $z_{ST(1)} = z_1 + 1,5$

Prozessstufe 2 - Fehler je Einheit

In dieser Prozessstufe wird angenommen, dass mehrere Fehler auf einer einzelnen Einheit auftreten können.

Schritt 1: Fehlersammelkarte führen. Wieder benötigt man Daten, die für den Prozess repräsentativ sind. Das könnte man z.B. dadurch erreichen, dass mehrere Stichproben über eine Woche dem Prozess entnommen werden. Für das Erfassen der Anzahl der Fehler D und der Anzahl der untersuchten Einheiten U jeder Stichprobe ist der Einsatz einer Fehlersammelkarte besonders geeignet.

Schritt 2: Bestimmung der Fehler pro Einheit DPU. Nach einer Woche liegen die Stichproben von k Schichten vor, aus denen man die Kenngröße DPU berechnet. Man dividiert die Summe der Fehler ΣD durch die Summe der Einheiten ΣU :

$$\text{Durchschnittliche Anzahl Fehler pro Einheit DPU} = \frac{\sum_{i=1}^k D_i}{\sum_{i=1}^k U_i} = \frac{D_1 + D_2 + \dots + D_k}{U_1 + U_2 + \dots + U_k}$$

Schritt 2: Gutasbeute $Y_{FT(2)}$ ermitteln. Das Zufallsstreuverhalten von Fehlern wird in guter Näherung mit dem Modell Poissonverteilung beschrieben. Dieses Modell ermöglicht die Bestimmung der Gutasbeute $Y_{FT(2)}$. Man erhält die Gutasbeute $Y_{FT(2)}$, indem man Wert der Poisson-Verteilungsfunktion für keinen Fehler ($D=0$) berechnet:

Gutasbeute für die Prozessstufe 2:

$$Y_{FT(2)} = G(D=0) = \sum_{D=0}^{\infty} \frac{DPU^D}{D!} \cdot e^{-DPU} = e^{-DPU}$$

Schritt 3: Quantil z_2 der Standardnormalverteilung berechnen. Es wird das Quantil z_2 der Standardnormalverteilung für die Gutasbeute $Y_{FT(2)}$ bestimmt. Dazu wird auch hier die inverse Verteilungsfunktion $G^{-1}(Y_{FT(2)})$ der Standardnormalverteilung verwendet.

Quantil der Standardnormalverteilung $z_2 = G^{-1}(Y_{FT(2)})$ für die Prozessstufe 2:

Schritt 4: Sigma short term $z_{ST(2)}$ bestimmen. Durch die Addition der Konstanten 1,5 zu dem Quantil z_2 erhält man die gesuchte Kenngröße:

Sigma short term für die Prozessstufe 2: $z_{ST(2)} = z_2 + 1,5$

Prozessstufe n - Anteil fehlerhafter Einheiten

Für die letzte Prozessstufe soll eine einfache Funktionsprüfung angenommen werden. Die Funktion der Einheiten ist erst nach dem letzten Montageprozessschritt n prüfbar.

Schritt 1: Daten repräsentativ sammeln. Als schlechte Einheiten werden erstens nachzuarbeitende Einheiten und zweitens Ausschusseinheiten gezählt. Die Daten sollen wieder repräsentativ für den Prozess sein, was z.B. dadurch gelingen könnte, dass man eine Woche lang in jeder Schicht die guten und schlechten Einheiten zählt und dokumentiert. Anhand der Daten berechnet man den durchschnittlichen Anteil fehlerhafter Einheiten, indem man die Summe der fehlerhaften Einheiten Σx durch die Summe der untersuchten Einheiten ΣU aus den k Schichten teilt:

Durchschnittlicher Anteil fehlerhafter Einheiten $p = \frac{\sum_{i=1}^k X_i}{\sum_{i=1}^k U_i} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_k}{U_1 + U_2 + \dots + U_k}$

Schritt 2: Gutasbeute $Y_{FT(n)}$ berechnen. Die Gutasbeute $Y_{FT(n)}$ berechnet sich aus dem durchschnittlichen Anteil fehlerhafter Einheiten:

Gutasbeute für die Prozessstufe n: $Y_{FT(n)} = 1 - p$

Schritt 3: Quantil z_n der Standardnormalverteilung ermitteln. Für den Wert der Gutasbeute $Y_{FT(n)}$ berechnet man das Quantil z_n der Standardnormalverteilung mit der inversen Verteilungsfunktion $G^{-1}(Y_{FT(n)})$:

Quantil der Standardnormalverteilung für die Prozessstufe n: $z_n = G^{-1}(Y_{FT(n)})$

Schritt 4: Sigma short term $z_{ST(n)}$ bestimmen. Das Rechenschema besteht wieder in der Addition der Konstanten 1,5 zu dem Quantil der Standardnormalverteilung z_n .

Sigma short term für die Prozessstufe n: $z_{ST(n)} = z_n + 1,5$

Kennzahlen der Prozesskette

Die gleichen Kennzahlen, die für die Prozessstufen berechnet wurden, lassen sich nun für die gesamte Prozesskette ermitteln.

Schritt 1: Gesamtausbeute Y_{RT} bestimmen. Durch das Multiplizieren der einzelnen Gutasbeuten erhält man die Gesamtausbeute Y_{RT} der Prozesskette. Das Symbol Y_{RT} wurde von der englischen Bezeichnung *Rolled Throughput Yield* übernommen.

Gesamtausbeute der Prozesskette: $Y_{RT} = \prod_{i=1}^n Y_{FT(i)} = Y_{FT(1)} \cdot Y_{FT(2)} \cdot \dots \cdot Y_{FT(n)}$

Schritt 2: Quantil der Standardnormalverteilung z_{Ges} ermitteln. Für den Wert der Gesamtausbeute Y_{RT} berechnet man das Quantil z mit der inversen Verteilungsfunktion der Standardnormalverteilung.

Quantil der Standardnormalverteilung für den Gesamtprozess: $z_{Ges} = G^{-1}(Y_{RT})$

Schritt 3: Sigma short term des Gesamtprozesses $z_{ST(Ges)}$ berechnen. Durch die Addition der Konstanten 1,5 zu dem Quantil der Standardnormalverteilung z_{Ges} erhält man die gesuchte Kenngröße:

Sigma short term für den Gesamtprozess: $z_{ST(Ges)} = z_{Ges} + 1,5$

Was ist die Bedeutung der Konstanten 1,5?

Eine Prozessverteilung, deren Erwartungswert sich kurzzeitig auf einem Zielwert befindet, wird langfristig aufgrund systematischer Einflüsse Veränderungen der Prozesslage und -streuung erfahren. Die Berücksichtigung der durch die systematischen Einflüsse entstehenden Gesamtstreuung des Prozesses erfolgt im Hause Motorola dadurch, dass man sich eine Normalverteilung mit einem zeitlich veränderlichen Erwartungswert μ denkt. Die rechnerische Abschätzung der Gesamtstreuung besteht darin, für den Erwartungswert μ der Normalverteilung eine Schwankungsbreite von $\pm 1,5 \sigma$ um den Zielwert einzukalkulieren.

In der Motorola-Broschüre „The Nature of Six Sigma Quality“ verweist dessen Autor Mikel Harry bezüglich des Verschiebungswertes für μ von $\pm 1,5 \sigma$ um den Zielwert auf die Arbeiten von Bender, Evans und Gilson.

Es ist also eine Konvention der Firma Motorola, den firmeninternen Leistungsvergleich von Prozessen mit der Kenngröße Sigma short term z_{ST} durchzuführen. Diese Kenngröße beschreibt die Kurzzeitfähigkeit des Prozesses. Der systematische Anteil der Prozessdynamik wird durch die Addition der Konstanten 1,5 zu dem Quantil z rechnerisch „bereinigt“.

Das Ziel dieser Vorgehensweise lässt sich am besten mit einem Zitat von Mikel Harry aus seiner Broschüre „The Nature of Six Sigma Quality“, Seite 13, wiedergeben:

„Thus, no matter what the scale of measure may be, we have a common base of understanding and communication.“