

Qualitätsüberwachung bei einem Automobilzulieferer 'Qualitätsregelkarten bei mehrstufiger Prüfung'

Sambale, B.; Schäfer, G.

Die Fertigungstiefe der Automobilhersteller hat in den zurückliegenden Jahren deutlich abgenommen. Gleichzeitig mit der Reduzierung der Fertigungstiefe wurden vom VDA richtungweisende Standards zur Qualitätssicherung in immer feingliedrigeren Produktionskooperationen geschaffen, die dabei auch eine gesteigerte Produktgesamtqualität ermöglicht. Bausteine davon sind z.B. die vollständige Rückverfolgbarkeit von einzelnen Bauteilen vom Fertigprodukt zurück über die Montage, die einzelnen Herstellungsschritte, die Baumusterfreigabe bis hin zur Konstruktion.

Aus diesem Verfahrensablauf ergeben sich für alle Zulieferer klare Regeln zur lückenlosen Bauteildokumentation. Im Rahmen des Projekts sollte für einen Klein- bis mittelständischen Betrieb eine Rechnerunterstützte Bauteil-Qualitätserfassung entwickelt und realisiert werden, die auch weitergehende statistische Auswertungen mit dem Ziel der Prozesssteuerung erlaubt.

The vertical range of manufacture in the automotive industrie has been decreased in the last years. Concurrent to this, the VDA produced standards for quality assurance, which allows an increased product quality. Some contained parts are e. g. the complete retraceability of discrete components from finished product back to the assembling, several fabrication steps, prototype technical-release procedure to the point of construction.

This process development gives some explicit rules for consistently unit documentation to all subcontractors. In the range of the project a computer-aided part quality acquisition should be developed and realised, which also allows further statistic analyses with regard to process control.

1 Einleitung

Bei den Zulieferteilen handelt es sich um rohrförmige Bauteile, die von einem Vorlieferanten mit Hilfe des IHU (Innenhochdruck-Umformen) bereits eine komplizierte Gestalt erhalten haben und danach beim betrachteten Zulieferer auf 3D-Laserschneidmaschinen notwendige Ausschnitte und Bohrungen erhalten, um anschließend beim Automobilherstel-

ler selber in der Gesamtkarosserie eingeschweißt zu werden.

Für die Fertigungsbegleitende Qualitätsprüfung steht beim Zulieferer ein spezieller Bauteilmessplatz zur Verfügung. Daneben gibt es für generelle Messaufgaben einen 3D-Koordinatenmessarm (Faro) dessen Messprotokolle ebenfalls in der Bauteildokumentation mit aufzunehmen sind.

1.1 Fertigungsqualität

Die Qualitätsphilosophie hat sich in den zurückliegenden Jahren dahingehend gewandelt, Qualität nicht zu erprüfem, sondern von vornherein zu fertigen.

Durch Fähigkeitsuntersuchungen wird im Vorselektionsstadium die Eignung eines Prozesses oder einer Maschine zur Gewährleistung einer stabilen und sicheren Produktion nachgewiesen. Dadurch kann von Anfang an mit einem beherrschten und stabilen Prozess gerechnet werden, dessen Verlauf so geregelt wird, dass alle wesentlichen Produktmerkmale sicher innerhalb der Spezifikationsgrenzen liegen. Für diese Regelung des Prozesses werden Qualitätsregelkarten eingesetzt, die eine geordnete Auswertung der statistisch erhobenen Prozessdaten erlauben und damit die Informationen für die gezielte Prozessregelung bereitstellen. Der gesamte Regelkreis wird als „statistische Prozesskontrolle (SPC)“ bezeichnet.

1.2 Statistische Prozesskontrolle (SPC)

Unter der Voraussetzung annähernder Normalverteilung der Messwerte eines Prozesses können durch die SPC systematische Prozesseinflüsse aufgedeckt werden. Hierzu werden einem Prozess regelmäßig Messwerte entnommen und die aktuellen Prozesskennwerte, z.B. Mittelwert und Streuung ermittelt und grafisch dargestellt. Für weitergehende Auswertungen wie z.B. Kennzahlenbildung (Prozessfähigkeit) sind langfristige Datenauswertungen mit umfangreicheren Berechnungsverfahren erforderlich. Der Begriff der statistischen Prozesskontrolle umfasst allgemein mehrere Teilaufgaben

der Qualitätssicherung. Dazu gehören die Maschinenfähigkeitsuntersuchungen, die Prozessfähigkeitsuntersuchungen und die Führung von Qualitätsregelkarten (siehe Bild 1).



Bild 1: Zusammenhang zwischen SPC, MFU, PFU und QRK

Ziel der MFU und PFU ist es, fähige und beherrschte Fertigungsabläufe sicherzustellen.

2 Teilaufgaben des Zulieferers

Im Vordergrund der Beschaffungslogistik großer Automobilhersteller stehen Lieferzeit, Termintreue, Menge und Bevorratung. Der Lieferant soll seine Teile möglichst kurzfristig - in diesem Fall täglich - anliefern. Dies setzt bei allen Lieferanten in der Prozesskette eine hohe Prozesssicherheit und das damit erreichbare Null-Fehler-Niveau voraus. Ein paralleler Schritt zur Vereinfachung des Zulieferhandlings führt zum Verzicht auf Wareneingangsprüfungen bzw. deren Verlagerung zum Lieferanten als Warenausgangsprüfung, so wie es im hier vorliegenden Fall durchgeführt wird.

Um die hohen Ansprüche bei einer solchen Prozesskette sicher erfüllen zu können, haben die Automobilkonzerne mehrere Qualitätsstandards (QS 9000 und VDA-Schriftenreihe „Qualitätsmanagement in der Automobilindustrie“) entwickelt, die auf der ISO 9001 basieren. Innerhalb dieses Gesamtkonzeptes des Qualitätsmanagements müssen überprüfbare Qualitätsziele und als Maßeinheit dafür entsprechende Qualitätskennzahlen vereinbart und genutzt werden. Zwei wesentliche Ziele sind bereits weiter oben genannt worden, die fehlerfreie Produktion und die dazu notwendigen beherrschten und fähigen Prozesse.

3 Prüfverfahren

Die Variablenprüfung (nach DIN ISO 2859) dient zur Prüfung quantitativer Merkmale, d.h. ein Merkmal, wie z.B. ein Bohrungsdurchmesser, wird anhand einer kontinuierlichen Skala (Messwert) gemessen. Bei der Attributprüfung (nach DIN ISO

3951) erfolgt eine gut/schlecht Prüfung des Merkmals. Aufgrund der höheren statistischen Aussagekraft und der geringeren erforderlichen Stichprobenumfänge ist die Variablenprüfung in jedem Fall der Attributprüfung vorzuziehen.

Durch die Verlagerung der Prüfung in die laufende Produktion können Fehlentwicklungen schneller erkannt und behoben werden. Ziel ist die „beherrschte Fertigung“, bei der im Idealfall überhaupt kein Ausschuss mehr auftritt.

4 Statistische Verfahren zur Qualitätsoptimierung

Grundlagen für Aussagen über bestimmte Qualitätsmerkmale eines Produktes sind meist Aufzeichnungen aus Messungen oder Versuchen während der laufenden Fertigung oder auch im Feld. Aufgrund der Vielzahl der Einflussfaktoren kann angenommen werden, dass alle technischen Prozesse stochastisch ablaufen. Die Statistik liefert zur Bearbeitung dieser Problemstellungen das notwendige Handwerkszeug, dessen wesentliche mathematische Grundlagen nachfolgend kurz dargestellt werden.

4.1 Statistische Grundlagen

Bei statistischen Verfahren wird davon ausgegangen, dass bei der Herstellung und der Vermessung der Produkte eine Abweichung des betrachteten Merkmals zum geforderten Sollwert feststellbar ist. Diese Abweichung wird als Streuung bezeichnet. Ursachen für das Auftreten von Streuungen können zufällige und systematische Einflüsse sein. Als wichtige Messgrößen dafür dienen die Standardabweichung s , die Spannweite R , die Stichprobengröße n und der Mittelwert \bar{x} einer Stichprobe. Als Schätzer für den Mittelwert wird häufig auch der Median \tilde{x} genutzt.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

arithmetischer Mittelwert

$$R = x_{\max} - x_{\min}$$

Spannweite

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Standardabweichung

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

Varianz

Die aus der statistischen Grundlage resultierende so genannte natürliche Streuung, die ausschließlich auf zufälligen Einflüssen beruht, führt zu einem kontrollierten und gleichmäßigen Prozessverlauf. Man spricht hier auch von der standardisierten Normalverteilung.

5 Prozessfähigkeitsuntersuchung

Die Prozessfähigkeit drückt die Eigenschaft eines Prozesses aus, den geforderten Qualitätsansprüchen an das produzierte Produkt gerecht zu werden. Dazu werden Kennzahlen berechnet, die angeben mit welcher Sicherheit der Prozess Teile produziert, die innerhalb der geforderten Spezifikationen liegen. Erforderlich für die Berechnung der Fähigkeitskennzahlen ist die Prozessbeherrschung, die bei einer Prozessvorlaufuntersuchung anhand einer Stichprobenprüfung (10 Proben à 5 Teile, Untersuchung auf Normalverteilung) festgestellt wird. Ein Prozess wird als beherrscht bezeichnet, wenn er einen rein stochastischen Verlauf besitzt und keine speziellen oder systematischen Einflüsse erkennbar sind. Es ergibt sich folgende Reihenfolge:

- Prozessbeherrschung:
 - Prozess frei von speziellen, systematischen Einflüssen; steuerbar und zentrierbar
- ⇒ Prozessfähigkeit:
 - Prozess produziert Produkte innerhalb geforderter Spezifikation
- ⇒ Prozesssicherheit:
 - Streuungsreduzierung innerhalb der Toleranzgrenzen
- ⇒ Prozessregelung:
 - Regelung des beherrschten, fähigen, sicheren Prozesses mittels Regelkartentechnik

5.1 Fähigkeitsuntersuchungen

Bei allen vier Arten der Fähigkeitsuntersuchungen ist die Verfahrensweise und Berechnung im Prinzip gleich. Unterschiede bestehen nur in der Anzahl der untersuchten Teile, dem Untersuchungszeitraum und dem Erfüllungsgrad.

Die Kurzzeit- oder Maschinenfähigkeitsuntersuchung sollte direkt beim Hersteller der Fertigungseinrichtung durchgeführt werden und liefert eine erste Aussage über die Eignung von Fertigungseinrichtungen, genau wie die vorläufige Prozessfähigkeitsuntersuchung. Diese dient als Verlaufsuntersuchung zur Festlegung der Prozessbeherrschbarkeit. Auch zur Abschätzung der zu erwartenden

Langzeit-Prozessfähigkeit wird sie nach Beseitigung etwaiger systematischer Einflüsse herangezogen.

Die Langzeit-Prozessfähigkeit erstreckt sich über einen angemessenen längeren Zeitraum, um alle Streuungsfaktoren zu erfassen. Sie dient zur Beurteilung des laufenden Prozesses.

Auskunft über die Eignung von Prüfmitteln für die Überwachung von Prozessen gibt die Prüfmittelfähigkeit. Sie bewertet vor allem die kombinierte Auswirkung von Genauigkeit und Wiederholbarkeit und wird in der Regel beim Lieferanten zur Beurteilung eines neuen Prüfmittels vor dessen endgültiger Auslieferung und Installation durchgeführt.

5.2 Ermittlung der Kennwerte

Für die Ermittlung der (Langzeit-) Prozessfähigkeit eines Prozesses mit zufälligen Mittelwertschwankungen werden Mittelwerte und Spannweiten aus genügend vielen Einzelstichproben erfasst und die Prozesskennwerte \bar{x} , \bar{R} , \bar{s} errechnet. Dafür werden häufig Schätzverfahren genutzt.

Der Schätzwert der Streuung der Grundgesamtheit, die Prozessstreuung $\hat{\sigma}$, wird anhand der empirischen Standardabweichungen s der Stichproben ermittelt.

$$\hat{\sigma} = \sqrt{s^2}$$

Damit lässt sich die (Langzeit-) Prozessfähigkeit c_p ermitteln

$$c_p = \frac{\text{Toleranzbreite}}{\text{Prozessstreuung}} = \frac{T}{6\hat{\sigma}} = \frac{OGW - UGW}{6\hat{\sigma}}$$

Der (Langzeit-) Prozessfähigkeitskennwert c_{pk} berücksichtigt die Lage des Mittelwerts aller Einzelstichproben gegenüber den vorgegebenen Toleranzgrenzen.

Die allgemeine Formel zur Berechnung des Prozessfähigkeitskennwertes lautet:

$$c_{pk} = \frac{Z_{krit}}{3\hat{\sigma}}$$

mit Z_{krit} = kleinster Abstand der Toleranzgrenzen zu \bar{x} .

Die Prozessfähigkeit ist unabhängig von der Prozesslage, wobei i.A. die Prozesslage leichter verändert werden kann als die Prozessstreuung. Die Prozessfähigkeit hat einen höheren Stellenwert und ist in der Regel immer größer als der Prozessfähigkeitskennwert. Im folgenden **Bild 2** sind einige Bei-

spiele für die Prozessfähigkeit und den Prozessfähigkeitskennwert in Abhängigkeit von der Prozesslage und –streuung gegeben.

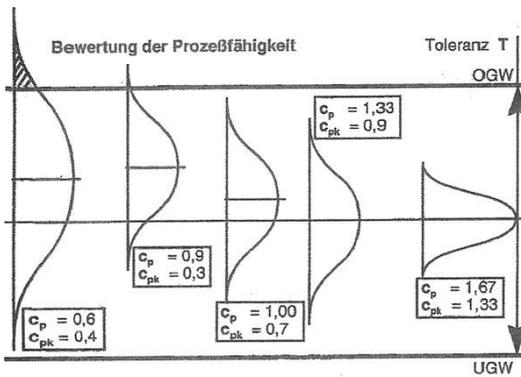


Bild 2: Bewertung der Prozessfähigkeit

Die Formeln für die Maschinenfähigkeit c_m und den Maschinenfähigkeitskennwert c_{mk} entsprechen denen der Prozessfähigkeit bzw. des Prozessfähigkeitskennwertes. Dabei werden aber nur wenige Teile ($n \approx 50$) vermessen und versucht aus den resultierenden Messdaten ein Verteilungsmodell zu finden, auf dem basierend die Fähigkeitsindizes berechnet werden. Bei der Maschinenfähigkeit wird soweit möglich versucht, ausschließlich das Verhalten der Maschine zu beurteilen. Die Aussagen, die auf der Maschinenfähigkeit basieren, sind aufgrund des geringen Stichprobenumfangs eher vage.

Während die Kennwerte c_p und c_m die grundsätzlichen Fähigkeiten von Prozess und Maschine beschreiben, wird durch die Kennwerte c_{pk} und c_{mk} die Beherrschung von Prozess und Maschine bewertet. Sowohl für die Prozess- als auch für die Maschinenfähigkeitskennzahlen gilt, je höher sie sind, desto besser werden die gestellten Anforderungen erfüllt.

5.3 Stichprobenumfang und Vertrauensbereich

Für eine Kurzzeit- oder Maschinenfähigkeitsuntersuchung werden in der Regel 50 hintereinander gefertigte Teile, in zehn zeitlich geordnete Stichproben aufgeteilt, benötigt.

20 Stichproben zu mindestens drei Teilen, die in zeitlich gleichmäßigen Abständen gezogen wurden, sind zur Durchführung einer vorläufigen Prozessfähigkeitsuntersuchung notwendig.

Eine Langzeit-Prozessfähigkeitsuntersuchung hingegen erstreckt sich über einen Beobachtungszeitraum von mindestens 20 Produktionstagen und umfasst 25 Stichproben zu je fünf Teilen.

Von der Stichprobe wird anhand der Stichprobenkennwerte (wie Mittelwert \bar{x} , Streuung s , etc.) auf die zugehörige Grundgesamtheit geschlossen, um eine Aussage über die Parameter der Grundgesamtheit (wie Prozessmittelwert μ , Prozessstreuung σ , etc.) zu machen.

Da Mittelwert und Standardabweichung der Prozessstreuung nur Schätzwerte sind, gilt dies auch für die „Prozessfähigkeiten“ (c_p , p_p , c_m) und die „Prozessfähigkeitskennwerte“ (c_{pk} , p_{pk} , c_{mk}). Es muss also eine Aussage über die Unsicherheit der Stichprobenschätzung gemacht werden. Dies geschieht durch Definition des Vertrauensbereichs (Konfidenzintervall), der mit einem bestimmten Vertrauensniveau von $1 - \alpha$ (α = Irrtumswahrscheinlichkeit) die wahren Werte der Kenngrößen überdeckt. 95 %, 99 % oder auch 99,9 % sind typische Werte für $1 - \alpha$. Die Breite des Vertrauensbereichs hängt vom Stichprobenumfang und dem gewünschten Vertrauensniveau ab.

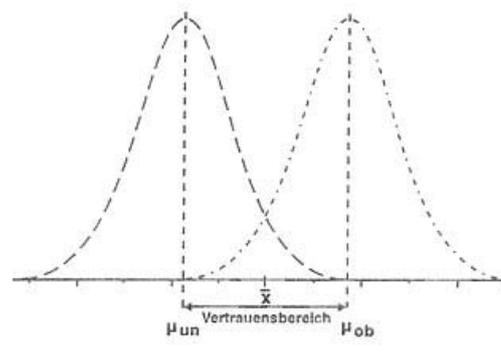


Bild 3: Vertrauensbereich: \bar{x} Mittelwert einer Stichprobe, μ_{un} , μ_{ob} Vertrauensbereich für den Mittelwert der Grundgesamtheit

Je nach Problemstellung kann der Vertrauensbereich ein- oder zweiseitig bestimmt werden. Wird ein hohes Vertrauen (z.B. $1 - \alpha = 90\%$) in die Aussage das sich der Parameter innerhalb des Vertrauensbereichs befindet gewünscht, ist die Breite des Vertrauensbereichs größer als bei einem vergleichsweise niedrigeren Wert (z.B. $1 - \alpha = 70\%$). Häufig ist nur die untere Vertrauensgrenze von Interesse. Damit die Anforderungen durch das Testergebnis auf die Gesamtheit übertragbar sind, muss dabei der Zielwert außerhalb bzw. höchstens an dieser unteren Grenze liegen.

6 Qualitätsregelkarten

Mit Hilfe einer Qualitätsregelkarte (QRK) soll sowohl die Prozesslage als auch die Streuung kontinuierlich überwacht werden. Kennwerte (z.B. Anzahl fehlerhafter Einheiten, Mittelwerte, Standard-

abweichungen, etc.) zur Lage- und Streuungsbeurteilung werden dazu über der Zeit dargestellt und mit Grenzlinien (sog. Eingriffsgrenzen) verglichen. Anhand dieser Vergleiche kann eine Aussage über die Güte (Stabilität) der Prozesse getroffen werden. Beim Überschreiten der Eingriffsgrenzen muss korrigierend in den Prozess eingegriffen werden.

Es sollten nur QRK verwendet werden, deren Warn- und Eingriffsgrenzen basierend auf der Leistung des zu bearbeitenden Prozesses ermittelt wurden. Ausschließlich deren Anwendung lässt eine einfache Beurteilung zu, ob der Prozess „statistisch unter Kontrolle“, also beherrscht ist. Ein beherrschter Prozess ist eine zwingende Voraussetzung zur Bestimmung von Qualitätskennzahlen.

Auf der horizontalen Achse (x-Achse, Abszisse) der QRK wird alternativ die

- Stichprobennummer
- Zeit der Stichprobenentnahme
- Chargennummer, bzw. sonstige Kennzeichnung

aufgetragen. Die vertikale Achse (y-Achse, Ordinate) ist von der Merkmalsprägung abhängig.

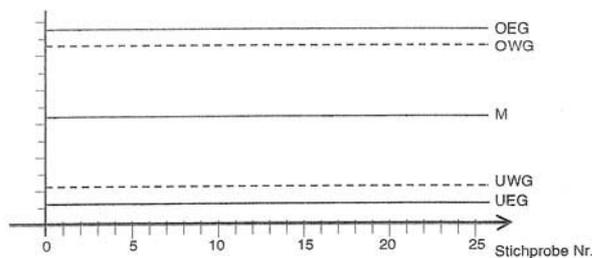


Bild 4: Schematisierte Qualitätsregelkarte

Grundsätzlich sollten bei der statistischen Prozessregelung alle qualitätsrelevanten Merkmale einer quantitativen (messenden) Prüfung unterzogen werden (kontinuierlich veränderliche Merkmale). Ist dies nicht - mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand - möglich, muss eine Beurteilung anhand qualitativer Beobachtungen erfolgen (diskrete Merkmale).

6.1 Regelkarten für kontinuierliche Merkmale

Bei kontinuierlich veränderlichen Merkmalen (Messdaten) werden in der Regel zwei Karten verwendet (zweispurige Regelkarte). Dabei bestimmt der jeweilige Kennwert die Skalierung der Ordinate. Die obere Spur wird skaliert durch :

- Durchschnittswerte \bar{x} ,
- Zentralwerte \tilde{x} oder
- Urwerte (bzw. Einzelwerte) X .

Die untere Spur durch:

- Spannweite R oder
- Standardabweichung s

und misst somit die Streuung innerhalb der Einzelstichproben.

6.2 Berechnung der Grenzen und der Mittellinie

Je nach QRK können die Mittellinie, die Warn- und Eingriffsgrenzen entweder durch Tabellen oder Diagrammen bestimmt oder mittels zugrunde liegenden mathematischen Beziehungen berechnet werden. Zur Berechnung der Eingriffsgrenzen werden stichprobengrößenabhängige Konstanten benötigt. Diese liegen in der einschlägigen Literatur in Tabellen vor.

6.3 Stabilitätskriterien

Auf der Grundlage der nun bekannten Eingriffsgrenzen lässt sich beurteilen, ob der Prozess stabil ist.

Treten bei der Beurteilung eines Prozesses mittels QRK eine oder mehrere Stabilitätsverletzungen (Run, Trend, etc.) auf, so unterliegt der Prozess systematischen Einflussgrößen. Wird hingegen die Einhaltung aller Stabilitätsregeln bestätigt, so unterliegt der Prozess nur zufälligen Streuungen und kann als stabil betrachtet werden.

6.4 Interpretation einer Qualitätsregelkarte

Der laufenden Fertigung werden regelmäßig in möglichst gleichen Zeitabständen Stichproben des Umfangs n entnommen, wobei das in der QRK dargestellte Qualitätsmerkmal geprüft wird. Bei kontinuierlichen Merkmalsarten, muss der Stichprobenumfang immer gleich groß sein (in der Regel $n = 5$). Alle Teile der Stichprobe werden auf ein (oder mehrere) messbares Merkmal(e) geprüft. Aus diesen n Urwerten können statistische Kennwerte wie \bar{x} , \tilde{x} , R oder s errechnet werden und, je nach Qualitätsregelkartentyp, werden diese oder die Urwerte in die Grafik eingetragen. Die Beurteilung einer QRK erfolgt nach folgenden Kriterien:

Möglichkeiten	Folgerungen
Ur- oder Kennwert(e) innerhalb der Warngrenzen	Fertigung läuft wie gehabt weiter
Ur- oder Kennwert(e) außerhalb der Warngrenzen aber innerhalb der Eingriffsgrenzen	Fertigung läuft wie gehabt weiter aber häufiger prüfen; ggf. sofort neue Stichprobe
Ur- oder Kennwert(e) außerhalb der Eingriffsgrenzen	Fertigung neu einstellen; ggf. seit letzter Prüfung gefertigte Teile aussortieren

Tab. 1: QRK-Beurteilungskriterien

6.5 Regeln für das Führen einer QRK

- Regelmäßig prüfen
- Stichprobenumfang konstant halten
- Vermerk des Eingriffs in den Fertigungsprozess
- Zeit und Prüfer festhalten

Die Gültigkeit der Warn- und Eingriffsgrenzen der Ur-, Mittel- und Zentralwertkarte setzt eine konstante Streuung voraus, da sie mit Hilfe eines Schätzers für die Streuung der Grundgesamtheit errechnet werden. Ist zu erwarten, dass die Streuung nicht konstant bleibt, ist die Überwachung dieses Parameters notwendig. In den meisten Fällen kann nicht von streuungsabhängiger Prozessregelung gesprochen werden, da eine überzufällige Vergrößerung der Streuung und eine daraus resultierende Überschreitung der Eingriffsgrenzen in der Regel nicht durch einen unmittelbaren Eingriff abgestellt werden kann. Meist kann die Streuung nur durch langfristige Maßnahmen, wie z.B. Überholung der Maschine, sorgfältigere Auswahl der Werkstoffe, etc. verringert werden. Wird jedoch eine überzufällige Verringerung der Streuung festgestellt, so sollte die Ursache gefunden und nach Möglichkeit beibehalten werden.

7 Anwendung auf den vorliegenden Prozess

Der vorliegende Prozess wird über eine QRK mit kontinuierlichen Merkmalswerten überwacht, da Koordinatenmesstechnik genutzt wird. Die Laserschneidemaschine muss nach einiger Zeit nachjustiert werden, um gleich bleibende Qualität zu gewährleisten.

Der Automobilhersteller erwartet im vorliegenden Fall, dass die Toleranzbreite $T = 2,00 \text{ mm}$ nur zu 70 % ausgenutzt wird, d.h. dass die Prozessfähig-

keit c_p mindestens 1,67 betragen muss. Wir haben also einen zweiseitigen Vertrauensbereich, dessen Anteil zwischen den zweiseitigen symmetrischen Schwellenwerten 70 % beträgt. Zur gültigen Beurteilung des Prozesses werden mindestens 25 Stichproben mit je 5 Messwerten oder aber andere Stichprobengrößen mit mindestens 125 Einzelwerten gefordert.

$$\bar{s} = \frac{s_1 + s_2 + s_3 + \dots + s_n}{n}$$

s_i Standardabweichung der Stichprobe $i, i=1, \dots, n$

$$c_p = \frac{T}{6 * \bar{s}} \geq 1,67$$

Dies bedeutet für die Maschinenfähigkeit, welche die weiteren Einflussparameter des Prozesses unberücksichtigt lässt, eine, um eine weitere Stufe erhöhte Forderung von mindestens $c_m = 2,00$ eingesetzt werden muss. Die Kennwerte $c_{pk} = 1,33$ und $c_{mk} = 1,67$ kann man niedriger als die entsprechenden c_p - und c_m -Werte ansetzen.

8 Arbeitsabfolge

Das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Qualitätssicherungswerkzeug erfasst den gesamten Arbeitsablauf der Firma.

Die Firma erhält umgeformte Teile in Gitterboxen angeliefert. Die noch paarweise verbundenen linken und rechten Teile haben bereits eindeutige Seriennummern, die vollständige Rückverfolgbarkeit für diese Sicherheitsteile ermöglichen. Die Seriennummer besteht aus: Tag, Jahr, Schicht, fortlaufender Nummer und Werkerkürzel. Diese Seriennummern werden in Verbindung mit einer Boxnummer und dem jeweiligen Bearbeiter bei der Firma in der Datenbank abgelegt. Die Boxnummer beschreibt die Gitterbox, in der die fertig bearbeiteten Achsteile zum Weitertransport gesammelt werden und besteht aus dem Zeitstempel der Anfangszeit der Box. Für den Versand wird dieser Boxnummer eine Lieferscheinnummer abschließend zugeordnet. Auch dieser Vorgang wird durch das entwickelte QS-Werkzeug protokolliert und in der Datenbank abgelegt.

Die eigentliche Wertschöpfung geschieht durch das Auftrennen der beiden Achsteile und die gleichzeitige Einbringung von mehreren Ausschnitten. Dieser trennende Arbeitsvorgang wird auf einer Laserschneidanlage (**Bild 5**) durchgeführt. Die einteiligen Rohrstücke werden in der Schneideanlage mit Hilfe

der Referenzöffnung ausgerichtet und dann der Schneidprozess gestartet.



Bild 5: 3D-Laserschneidanlage mit einteiligem Ausgangsprofilrohr im Vordergrund

Zur kontinuierlichen Prozessüberwachung werden durch Werkerselbstprüfung nach dem Laserschneidvorgang die linken und rechten Achsteile in die bereitstehende Vielstellenmesseinrichtung gelegt und die Funktionsmaße durch jeweils drei Messuhren (**Bild 6**) erfasst.

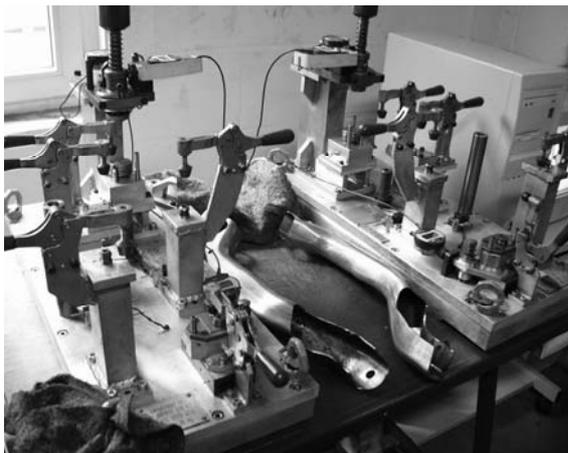


Bild 6: Messplatz zur Online-Messung für linkes und rechtes Bauteil

Die Messuhren besitzen digitale Signalausgänge und sind mit einem Messwerterfassungssystem verbunden. Auf diese Weise werden die Bauteilmessdaten gemeinsam mit dem eindeutigen Bauteilschlüssel in einer Datenbank abgelegt, aus der heraus dann die anschließende statistische Auswertung erfolgt.

Nach einem Schicht- oder Bedienerwechsel wird jeweils mit der Prüfschärfe 1 (jedes Teil wird gemessen) gestartet. Nach fünf fehlerfreien Teilen kann auf Prüfschärfe 5 (jedes fünfte Teil wird gemessen) zurückgesetzt werden.

Falls ein Teil in seinen Bohrungen und Ausschnitten über 0,2 mm von den vorgegebenen Werten

abweicht, wird eine Rückwärtsprüfung bis zum letztgeprüften Teil vorgenommen und daraufhin die Laserschneidevorrichtung neu kalibriert. Danach wird wieder mit der Prüfschärfe 1 gestartet. Die Informationen über Prüfschärfe und Nachstellung werden ebenfalls in der Datenbank abgelegt. Als zusätzliches Kontrollinstrument werden in diesem QS-System stichprobenartige Messungen mit dem vorhandenen FARO-Arm durchgeführt. Auch diese Messdateien finden Eingang in die Datenbank.

9 Konzept der DV-Unterstützung und statistischen Auswertung

9.1.1 Datenbank-Konzept

Aus dem Arbeitsablauf ergeben sich nach der Normalisierung der daraus resultierenden Daten folgende Tabellen:

- bediener

Beinhaltet Name, Vorname und Passwort der Mitarbeiter.

- liefernummer
- box

Nach der Bearbeitung werden die fertigen Bauteile in einer Box gelagert, der eine Boxnummer bestehend aus Datum und Uhrzeit zugeordnet wird. Vor der Versendung wird diese dann mit einer firmeninternen Liefernummer versehen. Beide Nummern werden in die Tabelle „box“ geschrieben.

- bauteildaten

Kalibrierung der Laserschneidemaschine und Prüftiefe (ändert sich nur bei Bedienerwechsel oder Messwertabweichung). Somit existiert eine Gruppe von Bauteilen, die dieselben Bauteildaten besitzt.

- messdaten

Beinhaltet die Messwerte, den Bauteilschlüssel, eine ggf. vorliegende Grenzlehrdormmessung und die Verbindung zur Bauteildatengruppe.

- kontrolle

Zusätzliche Kontrolldaten von einem anderen Bediener von einigen zufällig ausgewählten Teilen

- faro

Speicherung der vom Faro-Arm erstellten Vermessungsdatei von zufällig ausgewählten schon vermessenen.

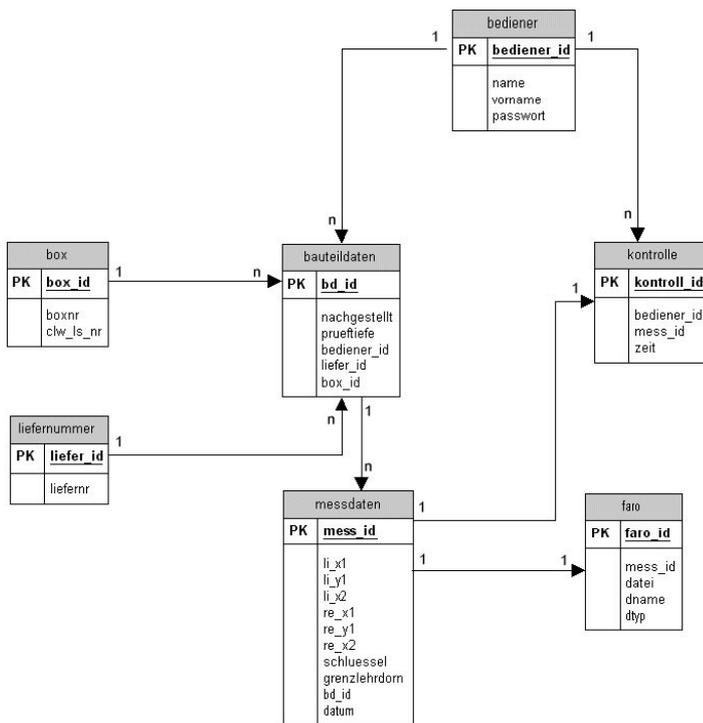


Bild 7: Datenbankdesign

Die an den Pfeilen in **Bild 7** stehenden Ziffern stehen für die Beziehungen zwischen den Tabellen. Eine 1-n-Beziehung bedeutet, dass jedem Schlüssel der Tabelle auf der 1-Seite mehrere n Datensätze der Tabelle auf der n-Seite zugeordnet werden. Bei einer 1-1-Beziehung ist jeder Datensatz der einen Tabelle eindeutig einem Datensatz der anderen zugeordnet.

9.2 Programmierumgebung

9.2.1 Komponentenwahl

Für die Programmierumgebung wurde eine Kombination von PHP4, MySQL und Apache-Server genutzt. Diese Software ist frei verfügbar und die damit erstellten Programme sind im Zusammenhang mit einem Browser für jeden Anwender nutzbar. MySQL hat zudem den Vorteil, dass es nach jeder Eingabe eines Datensatzes automatisch abspeichert, so dass auch bei Stromausfall keine Daten verloren gehen können. Die Software zum Auslesen der Messuhren wurde mit Visual Basic realisiert.

9.3 Messuhren auslesen (Visual Basic)

Da sechs digitale Messuhren „Millitast 1075“ an RS232-Schnittstellen angeschlossen werden müssen, wurde in den PC noch eine PC-Add-On Card eingebaut, die dieses ermöglicht. Die Messlehren

müssen per Hand arretiert werden, so dass nach Aktivierung des Programms erst ein DELAY einsetzt, um den Bediener die nötige Zeit zu geben wieder an die Lehre zu treten.

Die Messuhr sendet einen Datensatz, der vom Programm eingelesen und sowohl im Terminalprogramm ausgegeben als auch in eine Textdatei geschrieben wird.

9.4 Verwaltungsprogramm (Php)

Das Programm ist so aufgebaut, dass über die Linkleiste am linken Rand des Browsers die einzelnen Menüpunkte ausgewählt werden können. Es sind immer nur die Links zu sehen, die zurzeit ausgewählt werden dürfen. Zur einfacheren Handhabung sind die Buttons auch über Tastenkombinationen (Alt + „Taste“) auslösbar.

9.5 Auswertungsprogramme

Die Auswertungen wie Maschinen-/Kurzzeitfähigkeit, Prozessfähigkeit und die $\bar{x} - s$ -Regelkarte wurden in Excel realisiert.

9.5.1 Maschinenfähigkeit

Wie in den vorherigen Kapiteln beschrieben, sind zur Erstellung der Maschinenfähigkeit mindestens 25 Stichprobenwerte notwendig.

Im vorliegenden Programm ist darüber hinaus eine Eingabe von bis zu hundert Werten möglich.

Das vorher vom Verwaltungsprogramm erstellte Text-Dokument, das die Messdaten und anderen Bauteilwerte wie Bauteilschlüssel etc. enthält, wird zum Auslesen geöffnet. Die ersten Zeilen der Textdatei enthalten Informationen über die Lieferscheinnummern, Boxennummern, den Zeitraum, Bediener und der Anzahl vorgenommener Nachstellungen an der Laserschneidemaschine.

Danach beginnt das eigentliche Auslesen der x_1, y_1, x_2 -Messwertetupel der linken bzw. rechten Hälften der ausgewählten Proben.

Für die weitere Betrachtung der so eingelesenen Werte, werden die einzelnen Tabellenspalten getrennt voneinander auf verschiedenen Excelblättern ausgewertet. Es werden drei Auswertungsblätter benötigt, je eins für den x_1 -, y_1 - und den x_2 -Wert.

Die Informationsfelder oben links werden aus dem Messwertblatt übernommen. Toleranz und Nennwert (oben rechts) werden als statische Größen per

Hand eingegeben. Dementsprechend sollte die Klasseneinteilung k des Histogramms gewählt werden. Falls diese nicht explizit eingegeben wird, wird sie automatisch erstellt. Die Skala beginnt beim unteren Grenzwert (UGW) und erhöht sich immer um den Wert k , bis sie beim oberen Grenzwert (OGW) endet. Die Werte für die Grundgesamtheit n , Maschinenfähigkeit und den Fehleranteil werden aus den bekannten Formeln über die jeweilige Tabellenspalte der Messwerttabelle berechnet. Das Histogramm wird automatisch über die berechneten Hilfsvariablen k , G_x , H_j und der Stufenhäufigkeit n_x erstellt.

$n_x =$ Anz. der Werte von n innerhalb der Stufe x

$$G_x = \sum_{i=1}^n n_{xi}$$

Summenhäufigkeit

$$H_j = \frac{G_x}{n}$$

Prozentuale Summenhäufigkeit

Das Wahrscheinlichkeitspapier mit seiner doppelt logarithmischen Ordinate und logarithmischen Abszisse erlaubt es, die zweiparametrische Weibull-

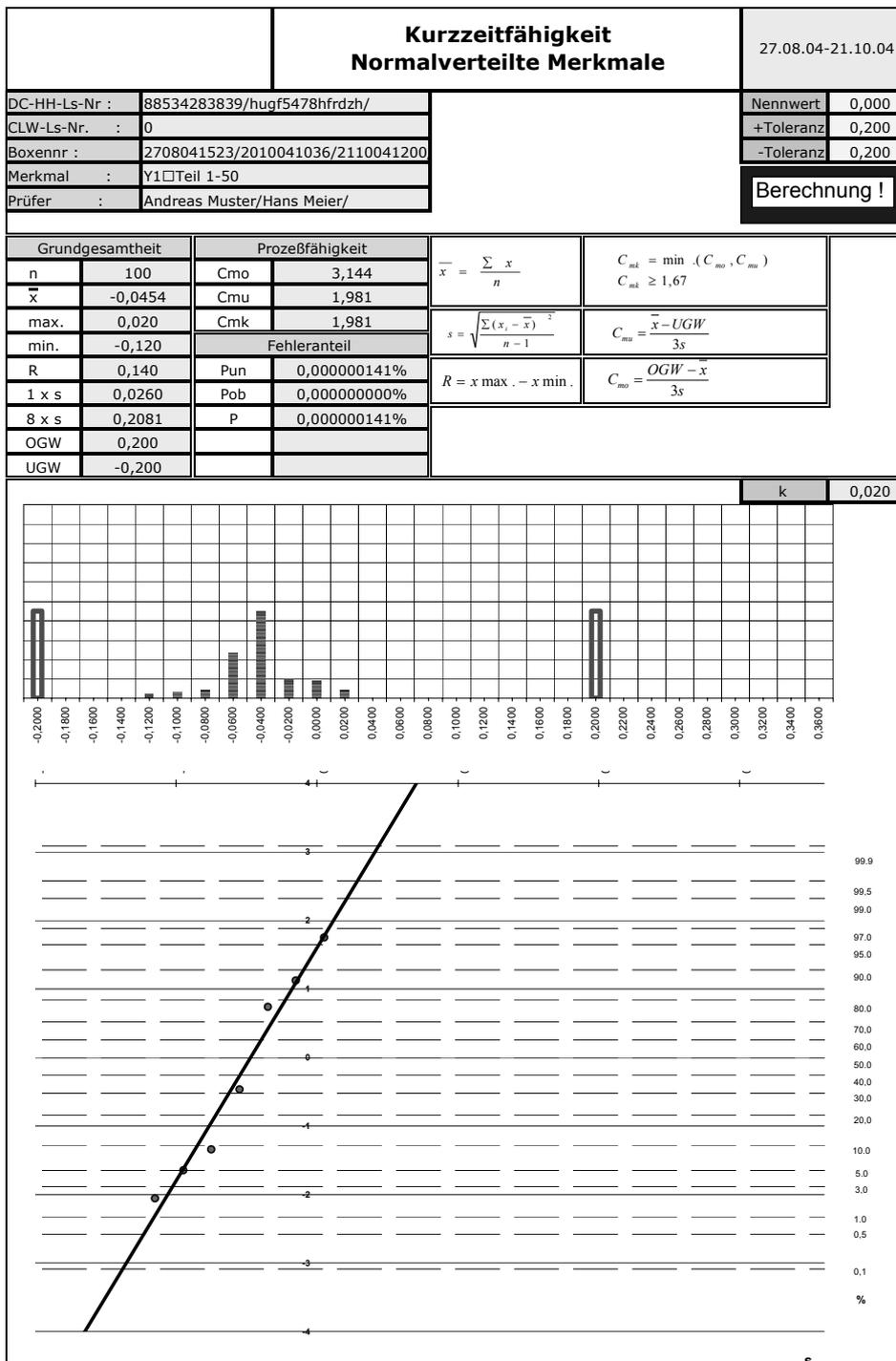


Bild 8: Excelblatt Maschinenfähigkeit

funktion $F(t)$ als Gerade mit der Steigung b darzustellen. Diese Funktion ist vielseitig einsetzbar, da sie verschiedene Verteilungsfunktionen wiedergeben kann, u.a. für $b \sim 3,5$ die für diese Betrachtung notwendige Normalverteilung. Somit kann anhand des Wahrscheinlichkeitspapiers überprüft werden, ob die Annahme einer Normalverteilung für die Messreihe zutrifft.

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{T}\right)^b\right]$$

$$T = \frac{1}{\lambda}$$

mit

und λ konstante Ausfallrate.

9.5.2 Prozessfähigkeit

Das zur Erstellung der Prozessfähigkeit nötige Excel-Programm entspricht dem der Maschinenfähigkeit (siehe 9.5.1).

Die Mindestanzahl beträgt hierbei jedoch 125 Stichproben.

9.5.3 Regelkarte

Als Regelkarte wurde für den vorliegenden Prozess eine \bar{X} - s -Karte gewählt. Da auch hier die meisten Abläufe größtenteils dem oben beschriebenen Ex-

cel-Programm entsprechen, wird im folgenden nur kurz die allgemeine Struktur erklärt.

Die Streuung und der Mittelwert der schon durchgeführten Stichproben werden in die liegende Tabelle eingetragen. Im oberen Diagramm wird der Mittelwert graphisch wiedergegeben, so dass Schwankungen gut zu erkennen sind. Die rote Mittellinie markiert dabei den Sollwert. Das untere Diagramm stellt die Streuung graphisch dar. Für die Streuung kann ein oberer Grenzwert eingegeben werden, der im Diagramm dargestellt wird, so dass eine zu hohe Streuung leichter erkannt werden kann.

Auch hier werden nach Eingabe des oberen und unteren Grenzwertes für die Mittelwerte automatisch die Prozessfähigkeitswerte erstellt.

10 Zusammenfassung

Bei der hier verwendeten Regelkarte hing die Entscheidung über einen Eingriff ausschließlich von der aktuellen Stichprobe ab. Diese Art von Regelkarten sind einfach zu handhabende und vielseitige Instrumente zur Überwachung von Prozessen und reichen im vorliegenden Fall völlig aus. Meist befindet sich der Prozess aber schon einige Zeit vor der Stichprobe, die zu einem Eingriff führt im Ungleichgewicht. Allgemein wäre deshalb eine Regelkarte mit Gedächtnis zu empfehlen.

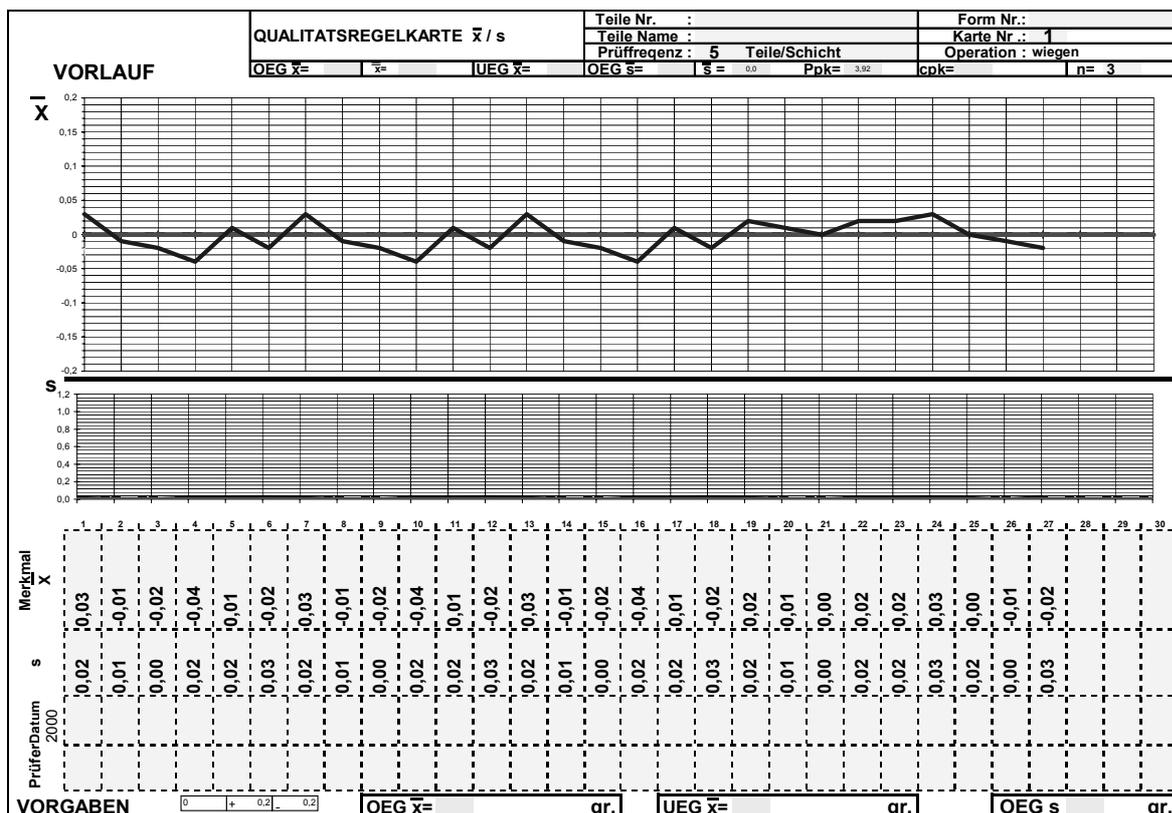


Bild 9: Excelblatt Regelkarte