

2.4 Quantitative AQL-Prüfung nach DIN ISO 3951

Voraussetzungen für die Stichprobenprüfung nach DIN ISO 3951 (Anteil fehlerhafter Einheiten anhand von Messwerten) sind:

- Vereinbarung des AQL-Wertes
- Vereinbarung des Prüfniveaus
- Messende Prüfung
- Normalverteilung (annähernd) der Messwerte
- Toleranzangaben (Grenzwerte)
- Klärung, ob Standardabweichung σ bekannt
- Mogl. Vereinbarung über den anzuwendenden Stichprobenplan
- Mogl. Vereinbarung über die Probenahme

Der Umgang mit AQL-Annahmebedingungen nach DIN ISO 3951 und die messende Prüfung sind anspruchsvoller als z. B. die Lehrenprüfung, aber:

Der AQL-Stichprobenumfang für messende Prüfung ist bei großen Losen erheblich kleiner als bei zählender Prüfung.

Wenn die Standardabweichung σ der Grundgesamtheit bekannt ist, kann der Stichprobenumfang nochmals reduziert werden.

Zur Anwendung:

In Abhängigkeit vom Losumfang und Prüfniveau wird aus Tabelle 3b der Kennbuchstabe ermittelt

Annahmefaktor k und Stichprobenumfang n erhält man mittels Kennbuchstaben und AQL-Wert aus Tabellen für σ oder s (Tabellen 5a/5b)

Bei bekannter Standardabweichung σ wird der (\bar{x}, σ) -Plan, wenn nur die Standardabweichung s der Stichprobe vorliegt, der (\bar{x}, s) -Plan angewendet.

Auch diese Prüfung wird normal oder reduziert/verschärft angewendet. Es sind nur die Tabellen für die normalen Prüfungen aufgeführt: Tab. 5a für (\bar{x}, σ) -Pläne, Tab. 5b für (\bar{x}, s) -Pläne.

Annahmefaktor k und Stichprobenumfang n können hinreichend genau auch mithilfe der Wilrich-Nomogramme^[05] für (\bar{x}, σ) - und (\bar{x}, s) -Stichprobenanweisungen sehr einfach grafisch ermittelt werden.

Die Stichprobenanweisungen für messende Prüfung lauten:

$(n - k_{\sigma})$, wenn σ bekannt ist,

$(n - k_s)$, wenn σ unbekannt ist.

Nach Prüfmessung und Ermittlung des Stichprobendurchschnitts \bar{x} wird unter Verwendung des Annahmefaktors k gegen die Toleranzgrenzen geprüft, ob die Abnahmebedingungen eingehalten sind.

Die Annahmebedingung lautet:

$$\bar{x} + k \times \sigma \leq \text{OGW}; \bar{x} + k \times s \leq \text{OGW}$$

und

$$\bar{x} - k \times \sigma \geq \text{UGW}; \bar{x} - k \times s \geq \text{UGW}$$

Auch wenn alle Messwerte der Stichprobe innerhalb der Toleranz liegen, kann ein Los zurückgewiesen werden!

Dies ist dann der Fall, wenn das Stichprobenergebnis außerhalb des Vertrauensbereiches liegt. Das Vertrauensniveau ist jetzt aber nicht als Standardniveau (90 % oder 95 %) angesetzt, sondern ergibt sich aus den vereinbarten AQL-Bedingungen und den LosgroBen (vgl. hierzu „Vertrauensbereich und Signifikanz“)

3 Statistische Methoden zur Fertigungsüberwachung

3.1 Fertigungsüberwachung durch Qualitätsregelung

Für die Wettbewerbsfähigkeit ist es eine unabdingbare Voraussetzung, dass die Qualität des Produktes nicht durch sortierende Prüfung, sondern mit beherrschten Prozessen erzeugt wird, die in geeigneter Weise überwacht werden.

Hier sei erinnert an die Betrachtungen zu den Fehlerkosten und auch daran, dass jede fehlerhafte Einheit auch eine Wahrscheinlichkeit auf Durchschlupf hat.

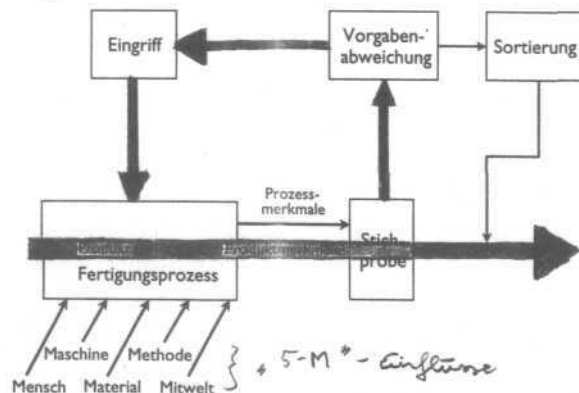
Die Forderung der Qualitätssicherung in der Fertigung muss also heißen:

Fehler vermeiden - durch rechtzeitiges Erkennen von Abweichungen und korrigierenden Eingriff - bevor Fehler entstehen können.

Der Fertigungsprozess besteht aus Abläufen, Vorgängen und Tätigkeiten, die durch die bekannten „5-M“-Einflüsse sowohl positiv als auch negativ veränderlich sind.

Durch **periodische Stichprobenprüfung**, in der Regel als Selbstprüfung durch den Einrichter oder Maschinenführer, müssen mögliche Trends zu Prozessveränderungen erkannt werden, damit die zum Fehler führende Änderung durch frühen Eingriff in den Prozess vermieden wird.

Der Prozessregelkreis



Der Prozessregelkreis sollte nach Möglichkeit so schnell wirksam sein, dass keine fehlerhaften Einheiten produziert werden können. Ist bei zeitaufwendiger Prüfung ein sofortiges Eingreifen nicht möglich, dann müssen die Einheiten der Produktionsperioden vorläufig gesperrt und bei Abweichungen von den Vorgaben einer Sortierprüfung unterzogen werden.

Qualitätsregelkarten (QRK) sind als ausgezeichnete Hilfsmittel entwickelt worden zur

- Erfassung von Fähigkeitskennwerten von Prozessen,
- Korrektur bei Überschreitung von Eingriffsgrenzen,
- Dokumentation der Qualität einer Produktionscharge.

Mit zunehmender EDV-Unterstützung in der Qualitätssicherung (CAQ) und automatisierter Prüfung, Prüfdatenerfassung und Regelung verlieren die Qualitätsregelkarten prinzipiell nicht an Bedeutung, sie werden in Bildschirmmasken und deren Ausdrücke umgewandelt. Es werden unterschiedliche Typen von Qualitätsregelkarten benutzt, die wichtigsten sind:



Bei allen QRK werden die **Merkmalswerte über der Zeit** aufgetragen. Dabei können die Merkmalswerte Qualitätsmerkmale x (Urwerte) oder errechnete Kennwerte (Lagewerte \bar{x} ; \bar{x} und Streuwerte s ; R) sein.

Das Prinzip der Qualitätsregelkarten bildet in der Regel die Basis für die statistische Prozessregelung (SPC), egal, ob diese automatisch oder manuell durchgeführt wird.

Qualitätsregelkarten werden nicht nur zur Prozessregelung eingesetzt, sie dienen auch zum Nachweis der Produktqualität und Risikobeherrschung.

3.2 Prozess- und Maschinenfähigkeit (Vorlauf-QRK)

Für neue und geänderte Produkte oder Qualitätsforderungen ist noch nicht bekannt, ob sie reproduzierbar gefertigt werden können. *Wiederholgenauigkeit*

Neue und geänderte Maschinen und Fertigungsprozesse und jeder Eingriff in (oder sonstiger Einfluss auf) den Fertigungsprozess können sich auf die Kennwerte (Mittenlage, Streuung und Überschreitungsanteile) aller Qualitätsmerkmale des Produktes auswirken.

Wenn über den Fertigungsprozess für ein Produkt noch keine gesicherten Kenntnisse vorliegen, kann über die Datenerfassung bei einer Vor- oder Nullserie - einem Vorlauf - in einer Vorlauf-QRK mit statistischen Methoden die Qualitätsfähigkeit des Prozesses ermittelt werden.

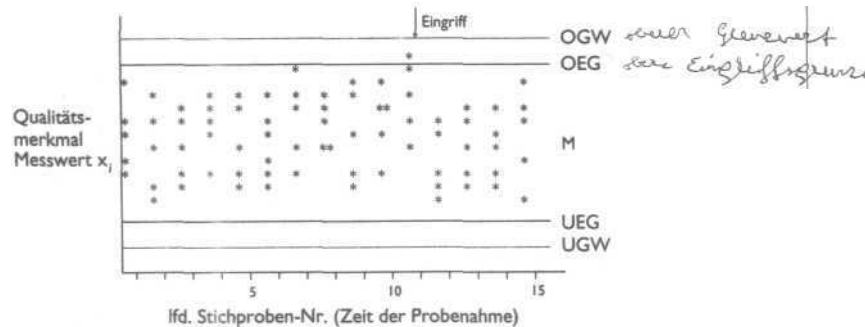
Voraussetzungen für die Ermittlung der Prozessfähigkeit mithilfe der Vorlauf-QRK sind:

- messbare Sollwerte der Mittenlage M (oder μ),
- Toleranzangaben (obere und untere Grenzwerte, kurz OGW und UGW).

Eine Vorlauf-QRK wird angelegt mit

- Messwert-Skalierung auf der Y-Achse,
- Toleranzgrenzen ($T = OGW - UGW$),
- Eingriffsgrenzen $\Rightarrow OEG = OGW - T/8$, *T...Toleranz*
 $\Rightarrow UEG = UGW + T/8$,
- Mittenlage (Sollwert): $M = (OGW + UGW)/2$,
- Skalierung der Zeit oder lfd. Stichproben-Nr. auf der X-Achse.

Prinzip einer Vorlauf-QRK



In regelmäßigen Abständen werden Stichproben des Umfangs n (meist $n \geq 5$) genommen und geprüft.

Die Stichprobenergebnisse werden als Urwerte in die Vorlauf-QRK eingetragen.
 Wenn ein Messwert eine Eingriffsgrenze überschreitet, muss korrigierend in den Prozess eingegriffen werden.

Die Vorlauf-QRK ist eine echte Regelkarte: Eine Veränderung der Fertigungsbedingungen wird daran erkannt, dass ein Messwert eine Eingriffsgrenze überschreitet.

Es wird korrigierend in den Prozess eingegriffen, bevor ein Grenzwert überschritten wird und so Ausschuss entstehen kann. Eingriffe werden in der Karte vermerkt.

Das eigentliche Ziel der Vorlauf-QRK ist jedoch, mit statistischen Methoden festzustellen, ob ein Prozess die geforderte Prozessfähigkeit C_p erfüllt. Man spricht dann von einem beherrschten Prozess.

Das gleiche Prinzip wird auch für Fähigkeitsuntersuchungen von Maschinen angewandt. Dabei wird versucht, die Einflüsse von Mensch und Umgebung, Material und Methode möglichst gering und konstant zu halten.

Das Ergebnis ist der Wert für die **Maschinenfähigkeit** C_m , der für eine qualitätsfähige Maschine deutlich größer sein muss als die geforderte Prozessfähigkeit C_p .

Die Beurteilung der Prozessfähigkeit erfolgt auf der Basis der maximal zulässigen Toleranzüberschreitungen. Für annähernd normalverteilte Merkmalswerte wird in der Regel eine Prozessstreuweite innerhalb des 6σ -Bereiches gefordert (s. „Normalverteilung“)

Ein Prozess gilt in der Regel als beherrscht, wenn das Verhältnis von Toleranz T zu Prozessstreuweite σ mindestens 1,33 ist.

$$C_p \geq 1,33 \Rightarrow \text{beherrschter Prozess}$$

Berechnet wird der Prozessfähigkeitskennwert nach der Formel:

$$C_p = \frac{T}{6 \times \sigma} = \frac{OGW - UGW}{6 \times \sigma}$$

Für die unbekannte Prozessstreuung σ steht nur ein Schätzwert $\hat{\sigma}$ aus der Stichprobenreihe zur Verfügung. Mit dem kann wiederum auch nur ein Schätzwert für die Prozessfähigkeit \hat{C}_p berechnet werden:

$$\hat{C}_p = \frac{T}{6 \times \hat{\sigma}} = \frac{OGW - UGW}{6 \times \hat{\sigma}}$$

Weil der Prozessmittelwert μ nicht immer genau in der Mitte der Toleranzgrenzen liegt, muss die obige Formel in einen unteren und einen oberen Prozesskennwert gegliedert werden:

$$C_{po} = \frac{OGW - \mu}{3 \times \sigma}$$

$$C_{pu} = \frac{\mu - UGW}{3 \times \sigma}$$

Der kleinere dieser beiden Werte wird als **kritische Prozessfähigkeit** C_{pk} bezeichnet.

Für die Beurteilung der Prozessfähigkeit gilt:

gesamter Prozess		bei kritischer Lage
$C_p < 1$	nicht prozessfähig	$C_{pk} < 1$
$1 \leq C_p \leq 1,33$	bedingt prozessfähig	$1 \leq C_{pk} \leq 1,33$
$C_p > 1,33$	prozessfähig	$C_{pk} > 1,33$

Für die Beurteilung der Prozessfähigkeit aus einem Vorlauf muss berücksichtigt werden, dass die Kennwerte der Stichprobenreihe innerhalb eines Vertrauensbereichs streuen.

Ein aussagefähiger Vorlauf soll in der Regel mindestens mit einer Stichprobenanzahl $m \geq 25$ und einem Stichprobenumfang $n \geq 5$, normalverteilter, ausreißerfreier Messwerte durchgeführt werden.

Als Streuung des Prozesses müssen zur Sicherheit die Extremwerte des Vertrauensbereiches angesehen werden. Das ist bei $\sum n_i = 125$ und einem 99-prozentigen Vertrauensniveau der Vertrauensbereich für σ :

$$0,87 \times \hat{\sigma} \leq \sigma \leq 1,22 \times \hat{\sigma}$$

Faustregel: Für direkte Berechnung mit dem Schätzwert $\hat{\sigma}$ für den Vorlauf gilt in der Regel: Prozessfähigkeit bei $C_p \geq 1,6$.

Die Schätzwerte für den Prozessmittelwert $\hat{\mu}$ und die Standardabweichung $\hat{\sigma}$ werden aus den Messwerten der Stichprobenreihe nach den statistischen Berechnungen der Normalverteilung ermittelt:

Bestimmung des Schätzwertes $\hat{\mu}$ (s. „Lagewerte, Gesamtdurchschnitt“)

$$\hat{\mu} = \bar{x} = (1/m) \times \sum \bar{x}_j$$

Bestimmung des Schätzwertes $\hat{\sigma}$ (für $m \times n \geq 125$ hinreichend genau):

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

Zur Berechnung von $\hat{\sigma}$ wird die mittlere Varianz \bar{s}^2 durch Bildung des arithmetischen Mittels der jeweiligen Stichprobenvarianz s_j^2 ermittelt:

$$\bar{s}^2 = (1/m) \times \sum s_j^2 = \hat{\sigma}^2$$

Die Varianz s_j^2 der einzelnen Stichprobe ergibt sich durch das Quadrieren der mithilfe des Taschenrechners errechneten Standardabweichung s_j jeder einzelnen Stichprobe der Stichprobenreihe.

Die Schätzwerte $\hat{\mu}$ und $\hat{\sigma}$ können auch aus den Zentralwerten \bar{x}_j und den Spannweiten R_j ermittelt werden. Der Schätzwert $\hat{\mu}$ ist das arithmetische Mittel der Zentralwerte:

$$\hat{\mu} = (1/m) \times \sum \bar{x}_j$$

Für die Berechnung von $\hat{\sigma}$ aus den Spannweiten wird mithilfe eines Korrekturfaktors d_n gerechnet, der der Tabelle 8b) (S. 270) für das Anlegen von Shewhart-QRK zu entnehmen ist

$$\bar{R} = (1/m) \times \sum R_j \Rightarrow \hat{\sigma} = \bar{R} / d_n$$

3.3 Shewhart-QRK und statistische Prozessregelung (SPC)

Shewhart-Regelkarten wurden erstmals 1924 von W. A. Shewhart in den USA zur statistischen Qualitätssicherung eingeführt.

Mit Shewhart-QRK werden hinreichend beherrschte Fertigungsprozesse überwacht.

Dabei werden Prozessveränderungen am Änderungsverhalten der Lage- und/oder Streuungskennwerte so frühzeitig erkannt, dass der Prozess nachgeregelt werden kann, bevor fehlerhafte Einheiten produziert werden.

Der optimale Zeitpunkt des Eingriffs in den Prozess muss einerseits die Produktion von fehlerhaften Einheiten verhindern - **so früh wie nötig eingreifen**, andererseits den Prozess so lange wie möglich unverändert lassen - **so spät (wenig) wie möglich eingreifen**.

Die Kennwerte \bar{x} und s der einzelnen Stichproben streuen innerhalb ihres Zufallsstreuereiches, so kann auch irrtümlich ein stabiler Prozess als verändert erkannt und falsch „korrigiert“ werden.

Die Eingriffsgrenzen werden deshalb meist so festgelegt, dass in einen stabilen Prozess nur mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha = 1\%$ eingegriffen wird. Anders ausgedrückt:

In den Prozess wird in der Regel nicht eingegriffen, wenn mit der Wahrscheinlichkeit von $P = (1 - \alpha) = 99\%$ der Prozess unverändert ist.

In den Prozess muss nach festgelegten Regeln eingegriffen werden, um sicherzustellen, dass die Toleranzgrenzen oder die zulässigen Fehleranteile nie überschritten werden.