

Performance von Inspektionsanlagen

Einflussfaktoren bei der automatischen Defektsuche

An der Leistungsfähigkeit von Inspektionsanlagen im Produktionsprozess entzündet sich nicht selten Streit zwischen dem Anwender und dem Lieferanten – was an unterschiedlichen Sichtweisen liegen kann. Die vom Anwender gewünschte Performance hängt nämlich nicht nur alleine von der technischen Leistungsfähigkeit der Inspektionsanlage ab. Dieser Beitrag möchte die maßgeblichen Einflussfaktoren aufzeigen und für eine Prozess-Gesamtsicht sensibilisieren.



Die Prämisse jedes guten Qualitätsmanagements lautet, Fertigungsprozesse zu beherrschen statt fehlerhafte Teile auszusortieren. Die Prozessbeherrschbarkeit hat jedoch ihre praktischen Grenzen, daher sind automatische Inspektionsanlagen in der Endkontrolle oft unumgänglich. Inspektionen sind aber nie perfekt, weder menschliche noch automatische, daher stellt sich immer die Frage nach ihrer Leistungsfähigkeit.

Die originäre Aufgabe einer Endkontrolle ist es, Schlechttteile auszusortieren. Aus Sicht der QS soll der Durchschlupf von Schlechttteilen, die noch zum Kunden gehen, minimal sein. Aus Sicht des Produktionsleiters dagegen soll eine Inspektion möglichst wenig Fehlausschuss generieren. Diese beiden Größen lassen sich über Stich-

proben aus den Gut- und Schlechttteilen bestimmen. Zusammen mit dem Anteil der echten Gutteile und der echten Schlechttteile kann man diese Kennzahlen sinnvoll in einer Vierfeldertafel darstellen (vgl. Abb. 1).

Die finalen Kennzahlen Durchschlupf und Fehlausschuss hängen allerdings nicht alleine von der technischen Leistungsfähigkeit der Inspektionsanlage ab. Vielmehr sind diese Größen getrieben vom Gesamtprozess, der aus dem Produktionsprozess selbst, der Inspektion und der Qualitätsbewertung der Inspektionsergebnisse besteht (vgl. Abb. 1): der Produktionsprozess erzeugt verschiedene Defekte in einer gewissen Häufigkeit, die Inspektion stellt diese Eigenschaften fest und in der Qualitätsbewertung wird entschieden, ob die festgestellten

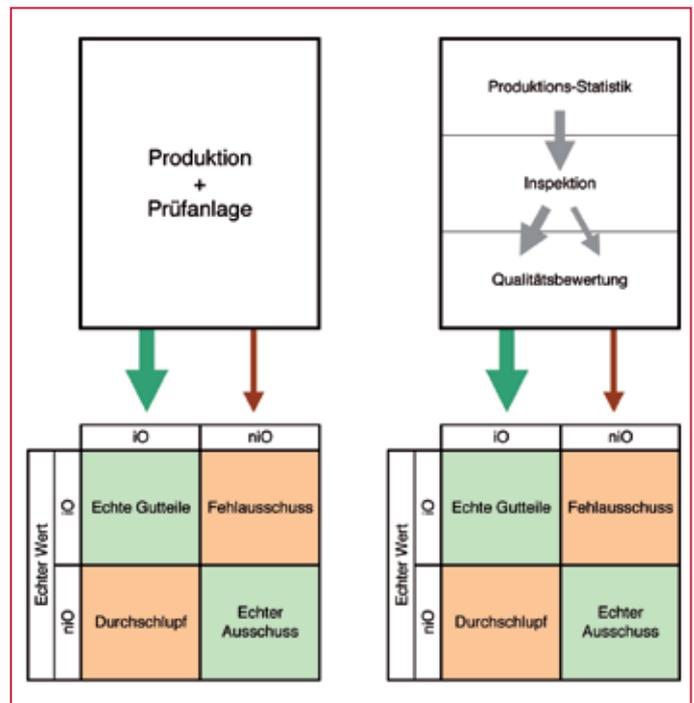
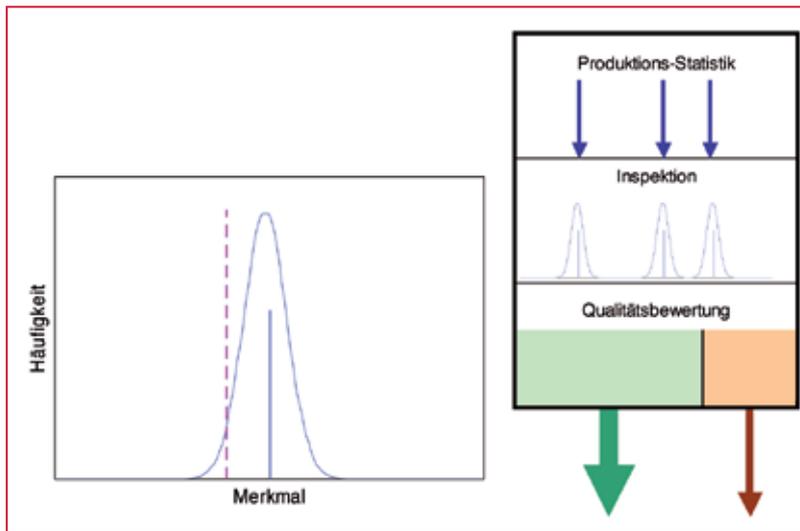


Abb. 1: Aus einer naiven Sicht ist die gesamte Produktion samt Endinspektion eine Blackbox (links), aus der nur korrekt inspizierte Teile (echte Gutteile und echte Schlechttteile) und fehlerhaft inspizierte Teile (Durchschlupf und Fehlausschuss) heraus fallen. Genauer betrachtet ist die Inspektion aber nur ein Glied in einem Gesamtprozess (rechts).

Abb. 3: Ein realer Messwert weicht im Allgemeinen vom „wahren“ Wert (senkrechter Strich) ab: das kann eine systematische Verschiebung (Abweichung des Mittelwerts vieler Messungen) und zufällige Anteile (Glockenkurve) beinhalten. Daher kann der Messwert manchmal auch jenseits der Toleranzgrenze (gestrichelt) liegen, es kommt zu Fehlausschuss und Durchschlupf.



und führen ggf. zu Fehlausschuss.

Das hier entworfene Bild von Defekt-Inspektionsanlagen ist bewusst stark vereinfacht, um die zentralen Zusammenhänge heraus zu arbeiten. Nicht berücksichtigt wird, dass reale Systeme mehr als zwei Qualitätsklassen haben, produzierte Teile auch mehr als einen Defekt

tragen können und es trainierbare statt parametrierbare Systeme gibt.

Auswirkungen der Inspektionsfehler

An einem Beispiel zeigt Abbildung 4 wie sich die Klassifizierungsfehler in die Gesamtleistung abbilden. Die beiden Defekttypen „A“ und

„B“ seien harmlos („i.O.“) während „C“ aussortiert werden muss. Die Produktionsstatistik sagt aus, wie häufig die Defekte vorkommen und mit diesen Häufigkeiten werden die Klassifizierungsraten p_{ij} gewichtet. Die resultierenden, gewichteten Klassifizierungsraten werden dann entsprechend der Qualitätsbewertungen in die „i.O.“ und

„n.i.O.“-Klassen zusammengefasst. Daraus resultieren direkt Durchschlupf und Fehlausschuss. Diese Betrachtung bezieht sich nur auf Produkte mit Defekten; für eine praktische Anwendung sind noch defektfreie Produkte einzubeziehen.

Bei einer idealen Inspektionsanlage wären alle Diagonalwerte der Matrix der Klassifizierungsraten $p_{ii} = 100\%$, alle Werte außerhalb der Diagonalen = 0. Im Diagramm der Abbildung 4 lässt sich nachvollziehen, dass dann auch kein Durchschlupf und kein Fehlausschuss auftreten würden.

Kontinuierliche Defektmerkmale sind in den meisten Fällen einseitig begrenzt, insbesondere wenn eine obere Toleranzgrenze für eine Defektgröße vorgegeben ist. Je näher der Messwert an dieser Toleranzgrenze liegt, desto größer sind die Auswirkungen der Messunsicherheit. Desto wahrscheinlicher wird es dann, dass aus dieser Messung eine falsche Qualitätsbewertung folgt. Im Extremfall wird ein Defekt, der genau auf der Toleranzgrenze liegt, selbst von einer perfekten Inspektion immer zu 50% als i.O. und 50% als n.i.O. eingeordnet.

Das Gesagte gilt für einen einzelnen Messwert, generell muss man aber alle vorkommenden Werte berücksichtigen, d.h. die Produktionsstatistik einbeziehen. Mathematisch gesprochen muss die Produktions-Statistik mit der Messunsicherheit gefaltet werden (vgl. Abb. 5).

Nicht detektierte Defekte (Detektionsschlupf) werden von der Inspektionsanlage weder klassifiziert noch vermessen und landen daher direkt beim Kunden. Der dadurch verursachte Durchschlupf entspricht dem Produkt aus der Detektionsschlupfrate und dem Anteil an „n.i.O.“-Defekten in der Produktions-Statistik. Ganz analog hängt der Beitrag von

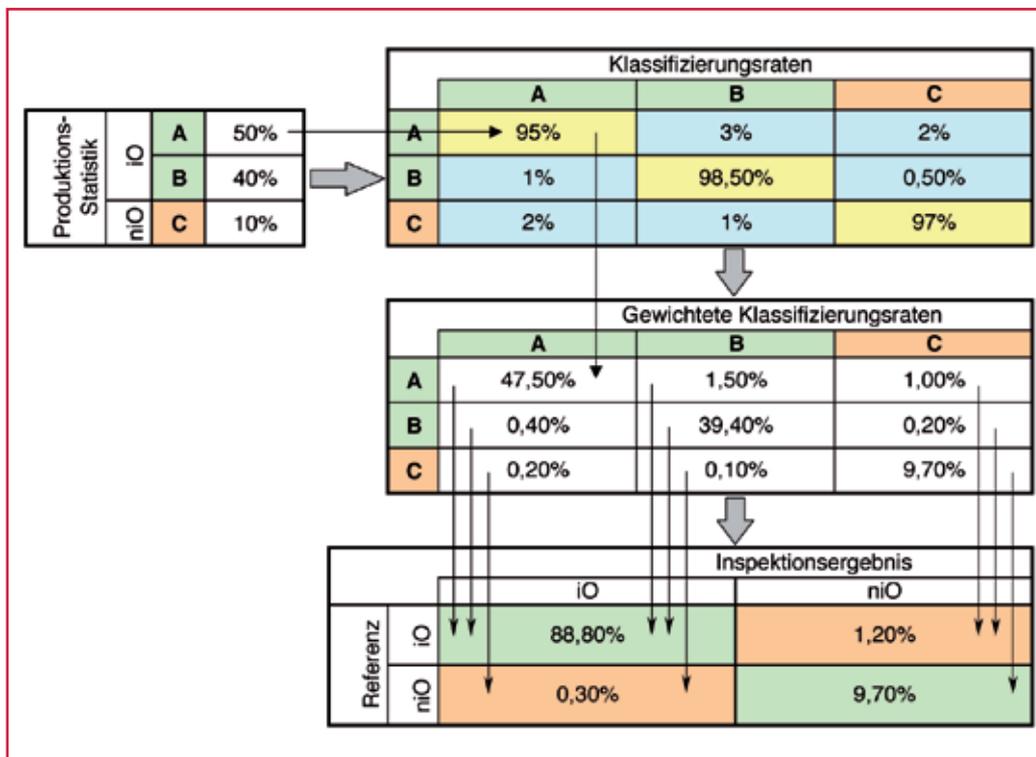


Abb. 4: Auswirkung von Klassifizierungsfehlern: aus den Defekthäufigkeiten (Produktions-Statistik) und den Klassifizierungsraten ergeben sich die gewichteten Klassifizierungsraten (statistische Häufigkeit der Inspektionsergebnisse). Diese werden gemäß den Regeln der Qualitätsbewertung zusammengefasst; im Vergleich zu den wahren Defekttypen (Referenz) ergeben sich daraus Durchschlupf und Fehlausschuss.

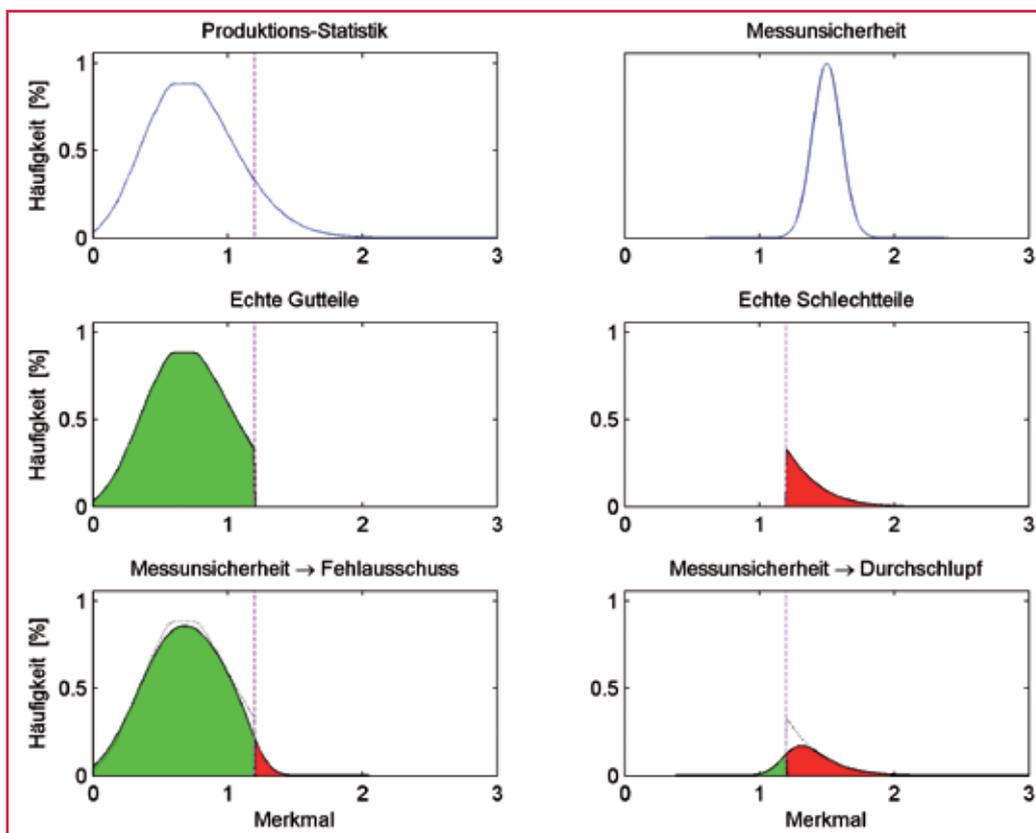


Abb. 5: Auswirkung der Messunsicherheit auf Durchschlupf und Fehlausschuss: links oben ist die Produktions-Statistik gezeigt, rechts oben die Messunsicherheit. An der Toleranzgrenze teilt sich die Produktions-Statistik in Gutteile und Schlechteile (Mitte). Bezieht man die Messunsicherheit mit ein, dann verwaschen diese Verteilungen und ein Anteil landet jeweils jenseits der Toleranzgrenze als Durchschlupf oder Fehlausschuss (unten).

Pseudo-Defekten zum Fehlausschuss davon ab, ob sie als „i.O.“ oder „n.i.O.“ bewertet werden.

„Messmittelfähige“ Inspektionsanlagen?

Messmittelfähigkeit ist ein bekanntes Qualifizierungsverfahren für Messgeräte und es wird immer wieder die Frage gestellt, ob man Inspektionsanlagen nicht genauso einfach qualifizieren kann. Ein genauere Blick auf das Verfahren zeigt die Probleme auf: Eine Messmittelfähigkeit bezieht sich auf eine kontinuierliche Messgröße und setzt die Genauigkeit des Messmittels in Bezug zu einer oberen und unteren Toleranzgrenze, um sicher zu stellen, dass der Fehlausschuss eine gewisse Grenze nicht übersteigt. Das Verfahren bewertet nur die Unsicherheit, die das Messmittel einbringt und bezieht dabei die Qualitätsbewertung in Form der Toleranzgrenzen mit ein. Durch

Verwendung eines Messnormals wird davon ausgegangen, dass der wahre Wert der Messgröße in der Mitte des Toleranzbandes liegt [2].

Von einem stabilen Fertigungsprozess kann berechtigterweise erwartet werden, dass der Erwartungswert der Messgröße immer dem Sollwert entspricht. Dann, und nur dann, entspricht die Produktions-Statistik der Situation bei der Messmittelfähigkeitsprüfung. Der Produktionsprozess muss aber nicht stabil sein: Fehlausschuss und Durchschlupf können sehr groß werden, wenn die Fertigung aus dem Ruder läuft und Teile an einer der Toleranzgrenzen gefertigt werden. Ein Messgerät, das messmittelfähig ist, stellt also keine Gewähr gegen Fehlausschuss und Durchschlupf dar – was aber die implizite Erwartungshaltung vieler Anwender ist.

Defektmerkmale haben im Allgemeinen keine sinnvollen

festen Erwartungswerte; ohne Informationen über die Produktions-Statistik lässt sich daher keine „Inspektionsmittelfähigkeit“ qualifizieren. Zudem muss das Verfahren auf kategoriale Merkmale übertragen werden. Selbst kontinuierliche Defektmerkmale, namentlich die Defektgröße, sind zumeist mit einer oberen Toleranzgrenze nur einseitig begrenzt. Auch darauf ist das Standardverfahren für die Messmittelfähigkeit nicht unmittelbar übertragbar.

Fazit

Die Gesamtperformance im Sinne von Fehlausschuss und Durchschlupf hängt gleichermaßen von der Produktions-Statistik, der technischen Leistung der Inspektionsanlage und den angelegten Qualitätskriterien ab. Deshalb kann eine Inspektionsanlage nicht losgelöst von den beiden anderen entworfen, parametrisiert oder gar validiert werden. Gleichzeitig bedeutet diese Abhängigkeit auch, dass jede Änderung am Produktionsprozess oder an den Qualitätskriterien auf die Gesamtperformance durchschlagen kann.

Jede Defekt-Inspektionsanlage ist sehr individuell, dennoch kommen die Schritte Detektion, Typenklassifizierung und Messung kontinuierlicher Größen immer wieder vor. Die jeweiligen Unzulänglichkeiten von Inspektionsanlagen lassen sich genau definieren und daraus die Auswirkung auf die Gesamtperformance ableiten. Auf diesen Elementen kann eine individuelle Anlagensvalidierung aufbauen.

Literatur

- [1] Guide to the Expression of Uncertainty in Measurements, DIN V ENV 13005
- [2] E. Dietrich, A. Schulze, S. Conrad: Eignungsnachweis von Messsystemen, Hanser Verlag, 2008

► **Autor**
Dr. Ralph Neubecker, Projektleiter Sondermesstechnik

► **Kontakt**
Schott AG, Mainz
Tel.: 06131/66-0
Fax: 06131/66-2000
ralph.neubecker@schott.com
www.schott.com

