

Kamerainspektion in der Medizinfertigung am Beispiel transparenter Materialien und dekoriertes Oberflächen

Einführungsgründe, Systemkonzepte und Anwendungsbeispiele

Dr.-Ing. T. Wagner, Intego GmbH, Erlangen

Kurzfassung

Kameraprüfsysteme kommen in der Medizinfertigung vermehrt bei der Kontrolle von Spritzgussprozessen zum Einsatz. Fast alle bisher manuell durchgeführten Sichtprüfaufgaben sind inzwischen aus technischer Sicht auch automatisiert lösbar. Ob eine Prüfautomatisierung auch wirtschaftlich sinnvoll ist, hängt davon ab, ob eine 100%-Prüfung aller gefertigten Teile durchgeführt werden muss, ein automatisiertes Teilehandling vorhanden ist und das Teil als Dauerläufer eine Maschine auslastet.

1. Einführungsgründe für ein Kameraprüfsystem

In den letzten Jahren sind die Qualitätsanforderungen an Kunststoffteile in vielen Bereichen drastisch gestiegen: Neue Fertigungsprozesse erlauben die Herstellung immer komplexerer Bauteile, die Integration hochwertiger Dekorationselemente (wie z.B. IMD-Oberflächen) rückt plötzlich ästhetische Bauteileigenschaften in den Vordergrund, und nicht zuletzt führen auch steigende Qualitätsansprüche bei den Endkunden zu einer geringeren Akzeptanz von Fertigungstoleranzen.

Für den Kunststoffverarbeiter bedeutet dies oft, dass der technische Fortschritt durch die steigenden Anforderungen quasi „aufgezehrt“ wird und nur selten zu einem deutlichen Sinken von Ausschussraten führt. In der Konsequenz muss bei ästhetisch anspruchsvollen oder funktional kritischen Kunststoffteilen regelmäßig eine prozessbegleitende 100%-Kontrolle der Fertigung erfolgen und teilweise sogar neu eingeführt werden. Müssen diese Prüfaufgaben manuell durchgeführt werden, führt dies für Verarbeiter in Hochlohnländern zusätzlich noch zu einem klaren Wettbewerbsnachteil.

An ein automatisches Kameraprüfsystem stellt der Kunststoffverarbeiter deshalb **zwei Hauptforderungen** (Tabelle 1): Es soll ihm helfen, seine Produktionsqualität zu verbessern und gleichzeitig Produktionskosten zu senken.

Tabelle 1: Einführungsgründe für ein automatisches Kameraprüfsystem

<p>Die Produktqualität soll sich verbessern</p> <ul style="list-style-type: none">Gestiegene Endkundenanforderungen (oft auch: Ästhetik)Fehlerteile aussondern in komplexen ProduktionsprozessenAlleinstellung gegenüber Wettbewerbern <p>Die Produktionskosten sollen sinken</p> <ul style="list-style-type: none">Einsparung von PrüfkostenEinsparung von PseudoausschussSchnellere Prozessstabilität durch schnelles Feedback
--

2. Wann rechnet sich ein Kameraprüfsystem?

Bei der Fertigungsplanung für ein neu anlaufendes Produkt stellt sich somit die Frage, ob anfallende Prüfaufgaben manuell oder besser automatisiert durchzuführen sind. Aufgrund des technischen Fortschritts bei Kameraprüfsystemen während der letzten 10 Jahre scheitert eine Automatisierung der Prüfung in der Regel nicht mehr an der **technischen Lösbarkeit** der Prüfaufgabe. Trotzdem bleibt die Frage zu klären, ob bei einer konkret durchzuführenden Fertigungsplanung ein automatisches Prüfsystem auch die **wirtschaftlich sinnvolle** Lösung ist.

Hier kann man sich natürlich externen Rat einholen. Viele Anbieter von entsprechenden Prüfgeräten helfen bereits in der Planungsphase gerne mit (meist kostenfreien) Voruntersuchungen und Aufwandsabschätzungen weiter. Nötig sind hierzu in jedem Einzelfall ein Layout der geplanten Automatisierungsumgebung, sowie Beispiele von Fehlerteilen. Ein frühzeitiges Einplanen entsprechender Prüfgeräte vermeidet spätere Umbaukosten.

Aber auch ohne externe Hilfe lässt sich die Wirtschaftlichkeit eines möglichen Kameraprüfgerätes in einem „Schnelltest“ bewerten. Eine kleine **Checkliste** kann hier weiterhelfen: Wenn ein Fehler **mit dem Auge sichtbar** ist, eine **100%-Prüfung** durchgeführt werden muss, ein **automatisiertes Teilehandling** vorhanden und das Teil ein **Dauerläufer** ist (oder mit ähnlichen Teilen zu einem Dauerläufer wird), wird ein Prüfsystem in der Regel auf jeden Fall wirtschaftlich sein (Tabelle 2).

Bei einer Wirtschaftlichkeitsanalyse geht der Kunststoffverarbeiter in der Regel davon aus, dass sich die Investitionen in ein bis zwei Jahren durch direkte Einsparungen von Prüfkosten amortisieren müssen. Mögliche Prozessverbesserungen, Wettbewerbsvorteile oder sinkende

Tabelle 2: Checkliste „Wirtschaftlicher Einsatzfall für Kameraprüfsystem?“

<p>Notwendigkeit der Prüfung</p> <ul style="list-style-type: none"><input checked="" type="checkbox"/> Teile werden im Moment 100% manuell kontrolliert, oder:<input checked="" type="checkbox"/> Teile müssten kontrolliert werden, manuell aber unmöglich <p>Möglichkeit der Prüfung</p> <ul style="list-style-type: none"><input checked="" type="checkbox"/> Die Fehler sind zu sehen (zumindest mit Mikroskop, Speziallicht o.ä.) <p>Wirtschaftlichkeit der Prüfung</p> <ul style="list-style-type: none"><input checked="" type="checkbox"/> Handlingautomatisierung vorhanden<input checked="" type="checkbox"/> hohe Teilestückzahlen (Dauerläufer und/oder Mehrschicht)<input checked="" type="checkbox"/> manueller Prüfplatz besteht <p>Hier sollten die meisten Kriterien zutreffen</p>
--

Reklamationskosten werden nicht berücksichtigt, weil sie im Vorfeld nur schwer abschätzbar sind.

Nur angemerkt sei hier, dass gerade in der Medizintechnik in manchen Fällen eine automatisierte Prüfung unvermeidbar sein kann, weil sich mit einem manuellen Prüfprozess die notwendige Prozesssicherheit bei einem funktionskritischen Bauteil anders gar nicht herstellen lässt (Beispiel: Düsendurchmesser bei Dosierelementen).

Eine Übersicht zu typischen Fehlerarten an Kunststoffteilen ist in Bild 1 zu finden.

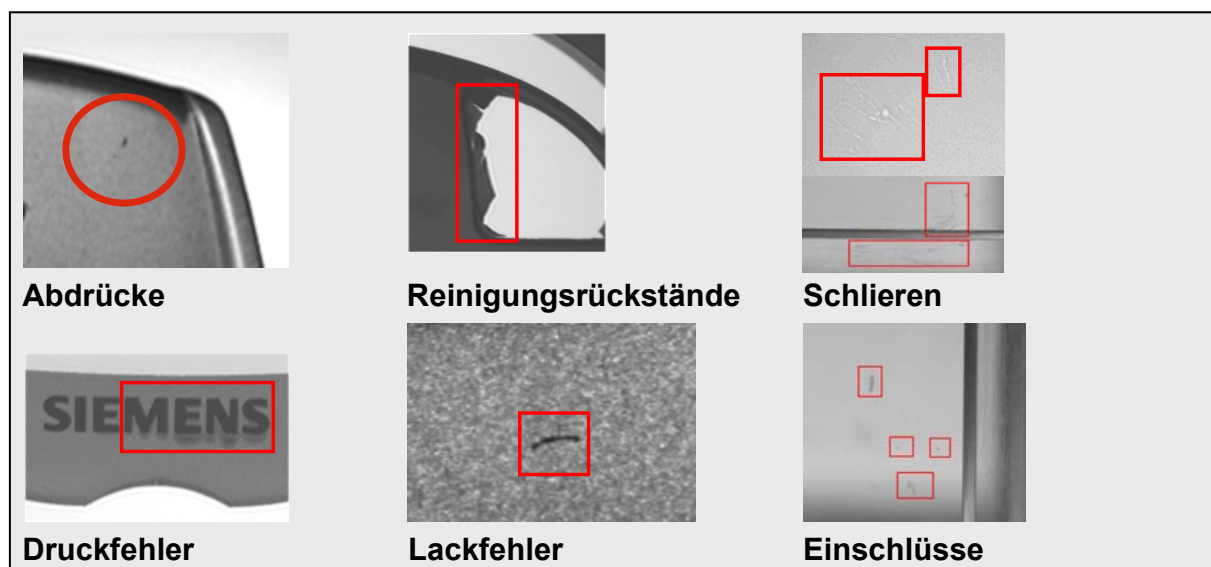


Bild 1: Typische Fehlerarten an Kunststoffteilen: Oft stehen ästhetische Abweichungen bei der Prüfung im Vordergrund.

3. Aufbau eines Kameraprüfsystems

In der Spezifikationsphase eines Kameraprüfsystems richtet sich der Blick zunächst oft auf den eigentlichen Systemkern, also Beleuchtung, Kamerakomponenten und die Bildauswertung. Mindestens ebenso wichtig für eine wirtschaftlich erfolgreiche Realisierung ist jedoch eine effiziente Prozessanbindung, die Berücksichtigung aller relevanten Umgebungsbedingungen sowie eine auf den Bediener und dessen Arbeitsprozesse abgestimmte Benutzeroberfläche des Systems.

Ein typischer Aufbau eines Bildverarbeitungssystems ist in Bild 2 zu sehen. Im Inneren einer lichtdichten Einhausung befinden sich mehrere Beleuchtungs- und Bildaufnahmekomponenten. Die Prüfteile werden in einer Teileaufnahme an einem Linearhandling in das Prüfsystem eingebracht und nach der Prüfung wieder ausgegeben. Die Einstellung von Prüfparametern, die Visualisierung gefundener Fehler und die Ausgabe statistischer Ergebnisse erfolgt über eine Bildschirmschnittstelle. An einer elektrischen Schnittstelle können Signale zur Prozesssteuerung und zur Ausschleusung der Fehlerteile übergeben werden.

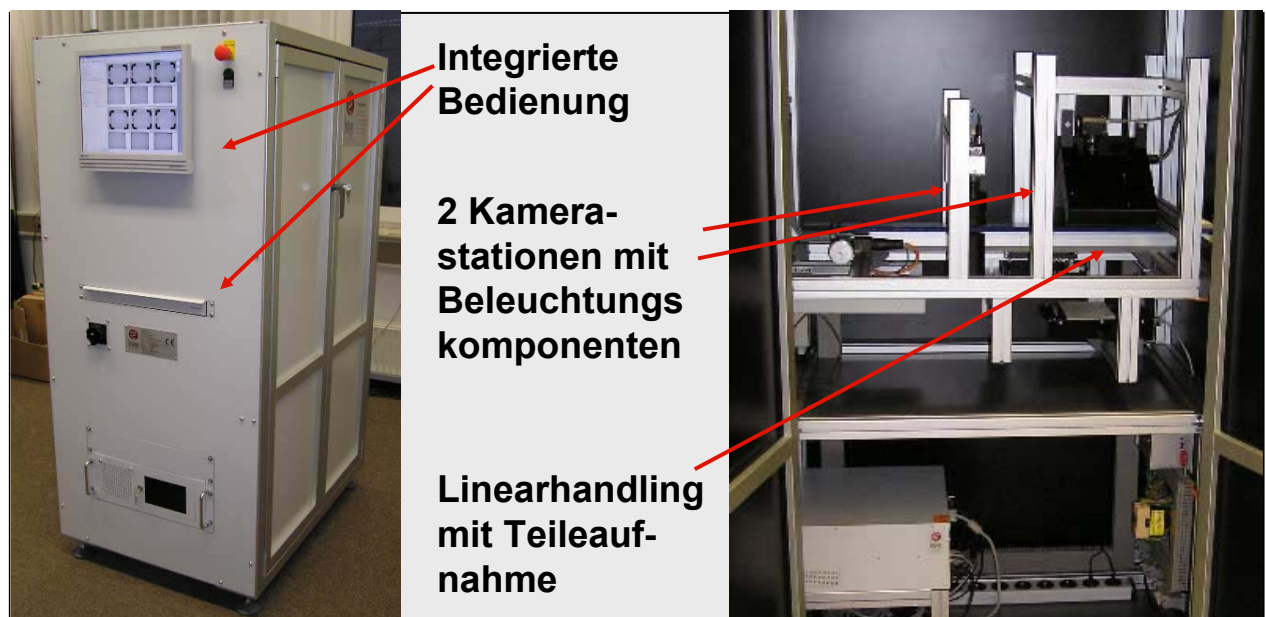


Bild 2: Typischer Aufbau eines Kameraprüfsystems: Beleuchtungs- und Aufnahmekomponenten sind lichtdicht gegen die Umgebung abgeschirmt.

Um die Prüfleistung genau an die gewünschten Spezifikationen anzupassen, lassen sich für die verschiedenen Fehlertypen jeweils einige Prüfparameter (wie z.B. Sollmaße oder Mindestfehlergrößen für Kratzer oder für schwarze Punkte) einstellen (Bild 3 links). Auch komplexere Entscheidungsregeln wie Häufungen von kleinen Fehlern können nachvollziehbar und exakt eingerichtet werden.

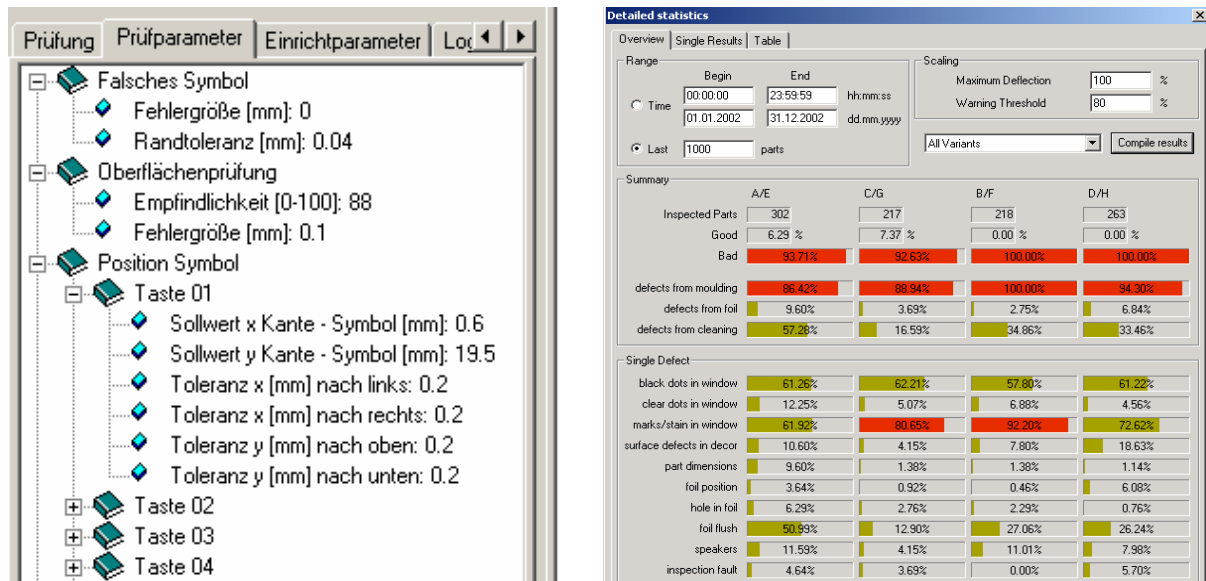


Bild 3: Links: Prüfparameter und Fehlergrenzen lassen sich für die verschiedenen Fehlerarten einzeln einstellen. Rechts: Eine Echtzeitstatistik für die Verteilungen der Fehlerarten in den verschiedenen Kavitäten deckt Probleme in der Produktion schnell auf.

Eine Echtzeitstatistik für die verschiedenen Fehlertypen hilft, Fehlerquellen in der Produktion schnell zu lokalisieren. Besonders sinnvoll ist dabei, Zusatzinformationen über die Geschichte des Bauteils mit in die Statistik zu integrieren (Kavität, Position in einer nachgeordneten Mehrfach-Reinigungsmaschine, Chargennummern von IMD-Folien oder Rohmaterialien, Maschinenparameter).

4. Beispielapplikationen von Kameraprüfsystemen in der Medizintechnik

Im Folgenden werden einige Einsatzfälle von Kameraprüfsystemen in medizintechnischen Fertigungen beispielhaft vorgestellt, um einen Überblick über mögliche Anwendungsgebiete, erkennbare Fehlertypen und typische technische Daten zu geben.

Beispiel 1: Inspektion von IMD-Linsen an Blutzuckermessgeräten

IMD-dekorierte PMMA-Teile, die von der Firma Oechsler AG als Displayabdeckungen für Blutzuckermessgeräte hergestellt werden, werden unmittelbar nach dem Spritzgussprozess und einer anschließenden Abreinigung von Folienresten auf Fertigungsfehler geprüft. Fehler kommen dabei sowohl aus dem Spritzgussprozess selbst (schwarze Punkte, Schlieren), aus Rohmaterialien (Fremdkörpereinschlüsse aus dem Granulat oder Folienfehler) oder aus nachgelagerten Bearbeitungsschritten (Reinigungsfehler, also Folienreste an Bauteilrändern). Die Fehler werden nach Fehlertypen getrennt gezählt und ermöglichen so eine

schnelle Prozessverbesserung. Beim Fehlertyp „Positionierung der IMD-Folie“ ist eine Regelschleife mit dem Folienvorschubgerät der Firma Leonhard Kurz aufgebaut, sodass sich systematische Positionierungsfehler automatisch korrigieren lassen.

Das Prüfgerät ist in Bild 2 zu sehen. Die Anlage wird vom Entnahmehandling der Spritzgussmaschine bedient und prüft deshalb typisch z.B. 2 Teile in 10 Sekunden. Der Anlagentyp ist ein Standardprodukt für teilweise transparente IMD-dekorierte Displaylinsen und ist im Mobiltelefonbereich weltweit in über 40 Installationen im Einsatz.

Beispiel 2: Inspektion lackierter Gehäuseteile von Blutzuckermessgeräten

Hoher Prüfaufwand entsteht regelmäßig bei Oberflächendekorationsprozessen wie Lackierung, Galvanisierung oder PVD-Beschichtung. Die Firma Oechsler AG inspiziert deshalb mit der hier vorgestellten Anlage lackierte Ober- und Unterschalen von Blutzuckermessgeräten (und Mobiltelefonen) mit einer Taktzeit von 2,5 Sekunden (Bild 4).



Bild 4: Inspektionsanlage für lackierte Oberschalen von Blutzuckermessgeräten. Eine Reinigungsstation ist integriert, die Zykluszeit liegt bei 2,5 Sekunden.

Die Anlage besteht aus einem Werkstückträgerumlaufsystem, das aus Traystaplern bedient wird. Die Prüfteile werden zunächst mit einem rotierenden Düsensystem der Firma Dr. E-scherich abgereinigt und danach in mehreren Prüfstationen geprüft. Um die dreidimensional gekrümmten Oberflächen so auszuspiegeln wie ein menschlicher Prüfer, werden aus jeder Ansicht mit schnell schaltbaren Lichtquellen mehrere Bilder in verschiedenen Beleuchtungssituationen aufgenommen und kombiniert.

Die Anlage lässt sich schnell zwischen verschiedenen Oberschalengeometrien umrüsten. Kameras und Beleuchtungseinrichtungen sind dazu auf elektrisch verstellbaren Achsen montiert und fahren beim Aufruf eines anderen Prüfprogramms in eine neue vorprogrammierte Bildaufnahme-position. Gutteilbilder werden archiviert und die Teile werden individualisiert, um eine spätere Nachverfolgbarkeit der einzelnen Prüfergebnisse zu gewährleisten. Dies kann helfen, Prüfschwellen in fehlerkritischen Lackierprozessen auch im Konsens mit dem Endkunden nachvollziehbar auf ein wirtschaftlich sinnvolles Maß einzustellen und Reklamationsquoten zu senken.

Beispiel 3: Inspektion transparenter Kappen

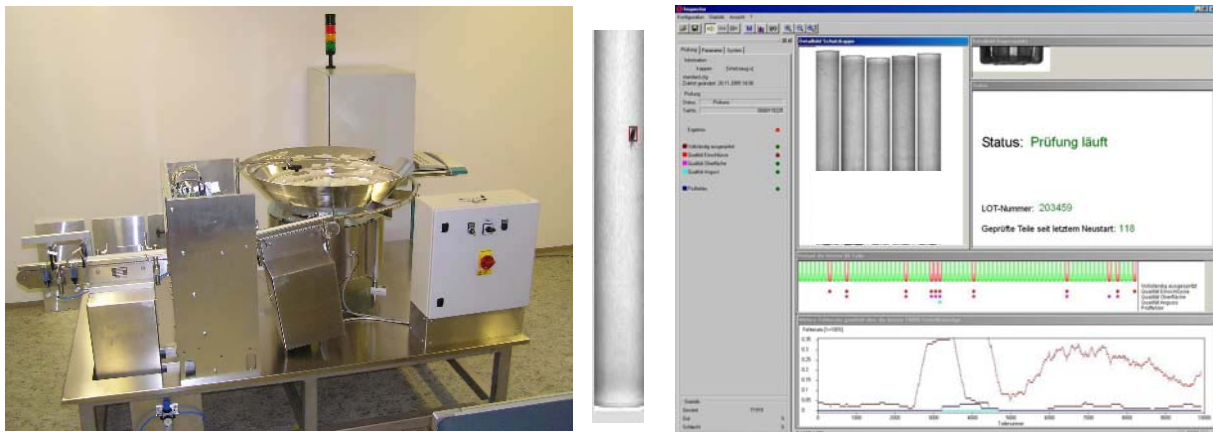


Bild 5: Links: Rütteltopf mit Zuführstrecke und Inspektionsanlage für zylinderförmige Kappen. Mitte: Eine Kappe mit Fehler. Rechts: Prüfbildschirm mit aktuellem Prüfbild und Fehlerverlauf über die Zeit.

Bei der Firma Raumedic können mit dieser Anlage transparente zylinderförmige Kappen mit einer Rate von bis zu 250 Teilen pro Minute geprüft werden (Bild 5). Die Prüfung erfolgt losgelöst vom Spritzgussprozess aus einer Zuführstrecke eines Rütteltopfes. Auch hier lassen sich verschiedene Fehlerkategorien unterscheiden, die direkte Rückschlüsse auf die Fehlerursachen im Prozess zulassen.

Die Zylinderform des Teils macht eine Prüfung mit Kameras aus verschiedenen Richtungen notwendig, aufgrund der hohen Durchsatzgeschwindigkeit werden die Teile geblitzt.

Beispiel 4: Inspektion von 2K-Kupplungen

Ebenfalls bei der Firma Raumedic werden mit dem hier beschriebenen System transparente 2K-Kupplungen auf Einschlüsse untersucht. Zusätzlich wird eine Durchlassöffnung vermessen und die Nestkennung des Bauteils ausgelesen, um Fehlerhäufungen in einzelnen Kavitäten schnell zu erkennen.

Das Prüfsystem ist in den Montageautomaten integriert und arbeitet an mehreren Stationen mit insgesamt sieben Kameras, um alle Prüfungsaufgaben zu berücksichtigen. Im Bild 6 ist die Benutzeroberfläche des Prüfsystems mit den einzelnen Prüfansichten zu sehen. Der Prüfdurchsatz beträgt 1,2 Sekunden pro Teil.

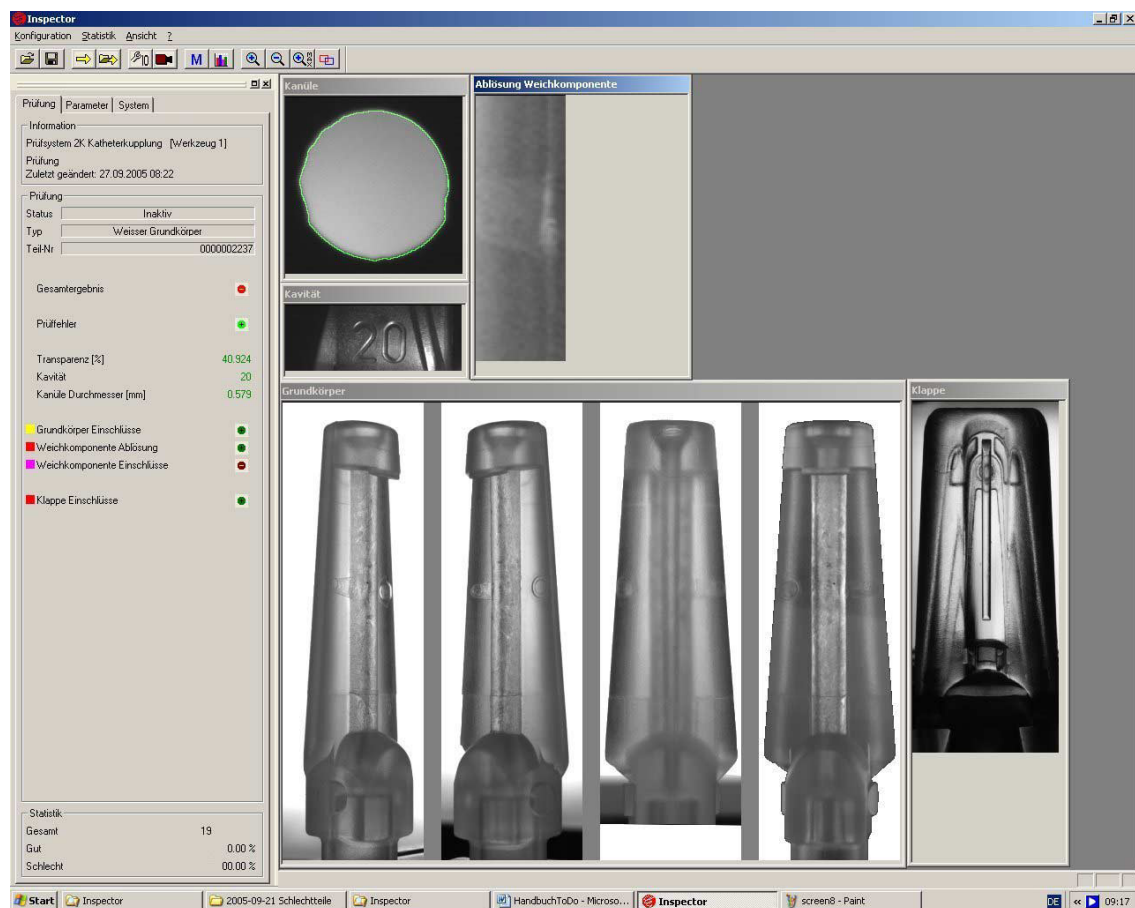


Bild 6: Benutzbildschirm bei der Inspektion von 2K-Kupplungen. Verschiedene Aufnahmesituationen ermöglichen die Prüfung auf Einschlüsse, das Lesen der Nestmarkierung und die Vermessung einer Durchlassöffnung.

Beispiel 5: Inspektion von Mikrotiterplatten



Bild 7: Links: Prüfsystem Mikrotiterplatten. Mitte: Eine Mikrotiterplatte. Rechts: Typische Fehler (Schlieren, Einschlüsse).

Für die Firma Greiner Bio-One wurde ein System konzipiert, in dem montierte Mikrotiterplatten auf Spritzguss- und Montagefehler untersucht werden. Gesucht werden dabei sowohl typische Transparent-Spritzgussfehler (Kratzer, Einschlüsse, Abdrücke, Schlieren) als auch Fehler im Montagerahmen oder Fehlpositionierungen der montierten Bauteile. Die Prüfung erfolgt takthaltig mit dem Montageprozess, der wiederum mit der Spritzgussmaschine verkoppelt ist. Besonders kritisch für die Prüfung sind die Bodenflächen der Töpfchen, deren Güte später eine automatische Auswertung der Töpfcheninhalte zulassen muss.

4. Abnahme von Kameraprüfsystemen

Extra angesprochen sei hier kurz die Abnahme von Kameraprüfsystemen, da sich hier oft Unklarheiten ergeben und einige Besonderheiten und Probleme zu beachten sind.

Zu unterscheiden sind in der Abnahme grundsätzlich zwei verschiedene Gruppen von Fehlern.

Bei **maßlichen Fehlern** werden mit dem Prüfsystem Sollmaße am Bauteil überprüft. Bestandteil der Fehlerspezifikation ist typischerweise das Sollmaß (z.B. 10 mm) sowie die vom Kunden tolerierte Abweichung (z.B. $\pm 0,1$ mm). Ein Messsystem muss hinreichend genau messen, um festzustellen, ob ein Ist-Maß innerhalb des zulässigen Sollbereichs liegt. Bei konventionellen hochgenauen Messsystemen führt dies in der Regel zu Auflösungsanforderungen, die z.B. 10 Mal besser als die zu bestimmende Maßabweichung sind, in diesem Beispiel dann 0,01 mm.

Nachdem bei Bildverarbeitungssystemen der Aufwand quadratisch mit der Auflösung steigt, ist die Auflösung eines Systems mit großer Sorgfalt festzulegen. In der Praxis ist die Mess-

auflösung eines Bildverarbeitungssystems nicht mit der physikalischen Pixelauflösung am Objekt gleichzusetzen, sondern kann teilweise höher sein: So lassen sich schwarze Punkte auf einem weißen Hintergrund auch dann noch erkennen, wenn sie nur Bruchteile eines Sensorpixels ausfüllen. Auch Kanten lassen sich durch Subpixelverfahren (also die Mittelung über größere Bildbereiche) oft 3 bis 10 Mal genauer als die physikalische Pixelauflösung bestimmen.

Bei der Abnahme eines Bildverarbeitungssystems ist deshalb zu prüfen, ob die Systemauflösung so hoch gewählt ist, dass die Reproduzierbarkeit von Prüfergebnissen auf Stichproben mit einer „natürlichen“ (d.h. einer normalen Produktion entsprechenden) Fehlerverteilung gegeben ist. Dies kann z.B. durch Wiederholungstests geschehen, entsprechende Grenzen lassen sich bei der Systemspezifikation festlegen.

Schwieriger stellt sich die Lage bei **attributiven Fehlern** dar. Hierzu zählen alle Bauteileigenschaften, die von menschlichen Prüfern durch Begutachtung beurteilt werden, die jedoch oft einer Nachvermessung nicht zugänglich sind. Typische Beispiele sind hier Einschlüsse im Lack oder Kratzer. Zu beachten ist hier zusätzlich, dass die Sichtbarkeit des Fehlers auch gar nicht primär durch seine laterale Ausdehnung, sondern durch andere Kenngrößen (Tiefe des Kratzers, Höhe des Pickels) bestimmt ist.

Somit existiert kein alternatives Messverfahren, an dem Messwerte des Kameraprüfsystems validiert werden können. Die Reproduzierbarkeit menschlicher Prüfergebnisse bei attributiven Prüfaufgaben ist bekanntermaßen unbefriedigend.

Als Vorgehen zur Feineinstellung und Abnahme eines Prüfsystems hat sich hier bewährt, entsprechende Stichproben zunächst vom Prüfsystem und danach unabhängig von zwei Prüfern Teil für Teil prüfen zu lassen und die Ergebnisse zu vergleichen. Eine Übereinstimmung wird sich, auch aufgrund von Verschmutzungen während der Nachprüfung, nicht in allen Einzelfällen herstellen lassen, vielmehr gilt es, die Abweichung zwischen Maschine und dem Prüfermittel auf der Stichprobe zu minimieren.

Unabhängig davon lassen sich natürlich Reproduzierbarkeitsmessungen zwischen verschiedenen Maschinenprüfdurchläufen an einzelnen Teilen durchführen.

Eine Abnahme eines Prüfsystems wird dort gut gelingen, wo in der Systemspezifikation nicht nur Grenzwerte für eine Abnahme aufgeführt sind, sondern ein konkretes Abnahmeverfahren festgelegt ist, das in gegenseitigem Einvernehmen den Erkenntnissen bei der Inbetriebnahme angepasst wird.

5. Tipps und Tricks für die Einführung eines Kameraprüfsystems

Ein Kameraprüfsystem für eine komplexe visuelle Inspektionsaufgabe ist eine Sondermaschine und als solche individuell zu diskutieren. Trotzdem gibt es einige grundsätzliche Erkenntnisse, deren Beachtung hilft, Einführungskosten niedrig zu halten bekannte Probleme zu vermeiden und möglichen Zusatznutzen zu realisieren:

- **Kameraprüfung frühzeitig ins Anlagenlayout einplanen**
Zusatzkosten für Handlungseinheiten oder -umbauten lassen sich so vermeiden oder gering halten
- **Alle relevanten Fehlertypen zu Projektbeginn vollständig spezifizieren**
Nachträgliche Anpassungen kosten hier viel Geld
- **Abnahmeverfahren frühzeitig festlegen**
Stichprobe, Anzahl von Wiederholungen und Begutachtungsprozess durch Menschen möglichst bei Projektbeginn festlegen
- **Statistikdaten für Prozessverbesserung nutzen**
Die Prüfsysteme liefern Ihnen Fehlerverteilungen für verschiedene Zeiten und Maschinenparameter. Werten Sie diese gezielt aus, um Schwachstellen zu erkennen
- **Regelschleifen realisieren**
Beispiel: Folienpositionsmessung bei IMD-Dekoration kann zur Regelung des Folienvorschubgeräts eingesetzt werden

Binden Sie entsprechende Anlagenbauer frühzeitig in Ihre Überlegungen ein. Eine geschickte Prüfanlagenspezifikation und -integration erfordert Erfahrung und ist wesentlich für einen wirtschaftlichen Betrieb des Prüfsystems.

6. Fazit und Ausblick

Kameraprüfsysteme stellen eine zuverlässige und (unter den oben beschriebenen Randbedingungen) auch eine wirtschaftlich sinnvolle Alternative zu manuellen 100%-Prüfplätzen dar. Sie können helfen, die Prozessausbeute bei hochwertigen Produkten zu verbessern und Personalkostennachteile gegenüber Niedriglohnländern zu vermindern.

Eine geschickte Auswertung der erzeugten Prozessstatistiken bietet zudem eine solide Datengrundlage für die Festlegung von oft empirisch gewählten Maschinenparametern im Spritzgussprozess.