

Fehlern auf der Spur

Teil 1: Einführung in die 100-Prozent-Druckbildkontrolle und aktueller Stand der technologischen Aspekte

ROBERT HEICHELE, DR. STEPHAN KREBS

In den letzten Jahren hat sich die automatische Druckkontrolle ständig weiterentwickelt. Am Anfang waren die Systeme nur in ganz bestimmten Anwendungen einsetzbar und kamen meist mit einem negativen Einfluß auf die Produktivität einher. Viele Ingenieurbüros versuchten ihr Glück mit immer trickreicheren Kontrollalgorithmen. Mittlerweile befindet sich die Branche in einer Konsolidierungsphase. Die spezialisierte Einzellösung weicht einer Systemlösung, welche den vielen verschiedenen Anforderungen des Etikettendruckers gerecht wird. In diesem Artikel wird im ersten Teil der aktuelle Stand der Technologie erläutert. Hier geht es vor allem um das Verständnis der technischen Grenzen, welche über die heute verfügbaren Kamera- und Beleuchtungskomponenten bestimmt werden. Der zweite Teil ist dann dem praktischen Einsatz von Druckkontrollsystemen im Workflow des Produktionsbetriebs gewidmet.

Was bedeutet 100-Prozent-Druckbildkontrolle?

Irrtümlicherweise wird 100-Prozent-Druckbildkontrolle mit der Vorgabe gleichgesetzt, 100 Prozent aller Fehler zu detektieren. Diese Vorstellung ist natürlich nicht richtig, da die Druckbildkontrolle wie jedes alarmierende Kontrollsystem die Einstellung von Schwellwerten zulassen muß. Damit wird die Qualität der Fehlerdetektion innerhalb der durch das System vorgegebenen Grenzen über die eingestellte Sensitivität eingestellt. Der Begriff 100-

Prozent-Kontrolle ergibt sich jedoch aus der Forderung, die gesamte Bahn lückenlos über die gesamte Produktionsdauer zu überwachen.

Natürlich werden Fehler vom System nicht detektiert, wenn es technisch nicht für die Erfassung entsprechend kleiner Fehlergrößen ausgelegt ist oder einfach nur über die Wahl der Schwellwerte unempfindlich eingestellt wurde. Automatisch ergibt sich hier die Forderung nach einer systematischen Validierung der Kontrollqualität, auf welche später noch eingegangen wird. Leider kann nur das aktuelle Kontrollergebnis, d.h. die aufgefundenen fehlerhaften Etiketten bewertet werden. Ohne entsprechende Maßnahmen ist aber nicht sicher, ob

- vielleicht einzelne Etiketten übersprungen werden;
- die aktuellen Schwellwerte den Qualitätsvorgaben entsprechend eingestellt wurden;
- der verwendete Kontrollalgorithmus nicht eventuell von sich aus je nach Vorlage die Schwellwerte unterschiedlich bewertet, d.h. nicht deterministisch arbeitet.

Der Etikettendrucker erwartet, daß alle gängigen Fehler gefunden werden. In der *Tabelle 1* wurden einige relevante Fehlerbilder zusammengestellt. Wie lassen sich diese Fehler zuverlässig finden?

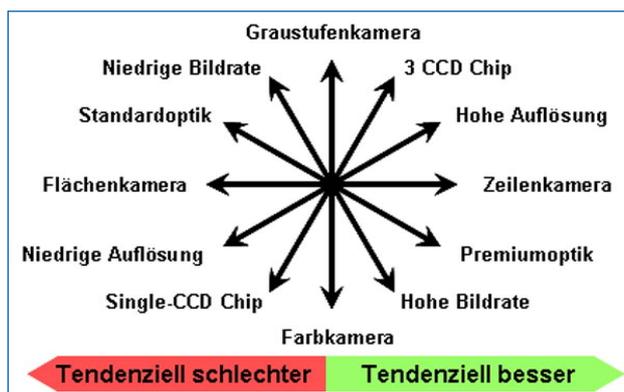
Die Auswahl der Kamera ist entscheidend

Natürlich entscheidet sich der Hersteller des Kontrollsystems je nach Anwendung für einen bestimmten Kameratyp. Da das Leistungs- und Preisspektrum der verfügbaren Kamertechnologien sehr breit ist, sollen hier einmal die wesentlichen Unterschiede herausgearbeitet werden. Die gegensätzlichen Entscheidungsmerkmale sind im Diagramm der *Abbildung 1* dargestellt.

Obwohl die ersten Systeme zur Druckkontrolle mit Flächenkameras ausgerüstet waren, hat sich heute im Wesentlichen die Zeilenkamera durchgesetzt. Dies hat verschiedene Gründe: Zeilenkameras sind in wesentlich höheren Auflösungen erhältlich. So gibt es heute Systeme, welche Zeilenkameras mit über 6000 Pixeln einsetzen. Dies entspricht – bei einem einmal als quadratisch angenommen Bild – einer Größe von 36 Megapixel. Dieser Auflösung (deren Notwendigkeit später noch gezeigt wird) stehen bis etwa 4 Megapixel bei gängigen Flächenkameras entgegen. Zeilenkameras tasten das Bild wie der Name impliziert Zeile für Zeile ab und haben damit entlang der Bahn keine Einschränkung bezüglich der Bildlänge. Im Unterschied dazu ist dies bei Flächenkameras in beiden Dimensionen fest und führt zu massiven Einschränkungen in Bahnaufrichtung. Die homogene Ausleuchtung über eine große Fläche ist auch ungemein schwieriger im Vergleich zu einer Linienaus-

ROBERT HEICHELE, Produktmanager für Inspektionstechnik, Erhardt+Leimer GmbH, Augsburg/D.
Dr. STEPHAN KREBS, Leiter Geschäftsbereich Inspektionstechnik, Erhardt+Leimer GmbH, Augsburg/D.

Abbildung 1: Gegensätzliche Entscheidungsmerkmale für die Auswahl einer Kamera.



leuchtung. Hierfür wird auch wesentlich mehr Maschinenlänge benötigt, wobei die Inspektionsfläche der Flächenkamera normalerweise über eine Haube großvolumig abgeschirmt werden muß.

Die nächste wichtige Entscheidung erfolgt in Bezug auf Graustufen- oder Farbkontrolle. Leider sind Farbkameras nicht mit den hohen Auflösungen und der Schärfewiedergabe von Graustufenkameras vergleichbar. Dem steht jedoch gegenüber, daß die Graustufenkamera lediglich nach Helligkeit und nicht nach Farbe unterscheiden kann und somit kein eindeutiges Resultat liefert. Hier muß eine Entscheidung gemäß der Anwendung gesucht werden.

Anwendungen, bei denen es vor allem auf die Richtigkeit von kleinen Text- oder grafischen Elementen ankommt, und wo auch Vollständigkeit eine Rolle spielt, werden mit einer Graustufenkamera kontrolliert. Beispiele hierfür sind Industrie- oder pharmazeutische Etiketten.

Anwendungen, bei denen es vor allem auf die Qualität der gesamten Wiedergabe ankommt, werden mit Farbkameras kontrolliert. Beispiele hierfür sind Etiketten für die Kosmetik- oder Lebensmittelindustrie. In der Qualität der Farbwiedergabe unterscheiden sich Farbkameras jedoch gewaltig. Üblicherweise werden Ein-Chip-Kameras eingesetzt, die zwar kostengünstig sind, aber bezüglich der Farbtreue Defizite aufweisen. Beispielsweise werden Orangetöne eher als Rot dargestellt, wobei Farbnuancen nicht aufgelöst werden. Seit neuestem sind allerdings auch Drei-Chip-Kameras mit optischer Farbseparierung verfügbar. Sie sind wesentlich teurer, jedoch spricht die Qualität der Farbwiedergabe für ihren Einsatz.

Eine maßgebliche Größe ist die maximale Geschwindigkeit, mit welcher die Druckkontrolle betrieben werden kann. Diese hängt im Wesentlichen vom verwendeten Kameratyp ab und wird (für Zeilenkameras) über die maximale Zeilenfrequenz der Kamera bestimmt. Graustufenkameras liegen je nach Auflösung in der Größenordnung zwischen 20 kHz und 50 kHz, Ein-Chip-Farbkameras unter 10 kHz und Drei-Chip-Farbkameras um die

20 kHz bei gängigen Auflösungen. Da die zur Verfügung stehenden Pixel einer Kamera normalerweise über die gesamte Bahnbreite ausgerichtet werden (Field of View) läßt sich die Pixelgröße leicht aus der Bahnbreite dividiert durch die Anzahl der Pixel ermitteln. Bei einer 4000 Pixel Kamera ergibt sich somit bei einer Bahnbreite von 400 mm eine Pixelbreite von 0,1 mm. Nimmt man nun an, daß die Pixelhöhe in Längsrichtung gleich sein soll, dann ergibt sich für eine Zeilenkamera mit 25 kHz Zeilenfrequenz bei der angenommenen Bahnbreite die maximale Kontrollgeschwindigkeit laut folgender Berechnung:

$$v_{\max} = \text{Zeilenfrequenz (Hz)} \times \text{Pixelhöhe (mm)} / 1000 \times 60 = 150 \text{ m/min}$$

Dieser Wert bedeutet eine fixe Grenze für die jeweilige Kamera. Sie kann nur dadurch nach oben verschoben werden, daß die Pixelhöhe im Verhältnis zur Pixelbreite vergrößert wird und damit das Bild in die Länge gezogen wird, was einer Verringerung der Auflösung in Bahnrichtung gleichkommt.

Die Beleuchtung ist kritisch

Der moderne Etikettendrucker setzt eine Vielzahl von Materialien und Verarbeitungsprozessen ein. Das Ergebnis ist normalerweise kein ein- oder zweifarbiges Etikett mit klar unterscheidbaren Merkmalen. Vielmehr werden Heißfolien, Prägetechniken, transparente Trägermaterialien, Silikonbeschichtungen und vieles mehr kombiniert und müssen gewöhnlich von einer Kamera auf die Richtigkeit der Anwendung kontrolliert werden. Entscheidend ist hier die Art der Beleuchtung, die entsprechende Aufträge entweder klar und homogen sichtbar macht oder zur Vermeidung von Pseudofehlern unterdrückt.

Für eine qualitativ hochwertige Beleuchtung sind neben der Lichtintensität weiterhin das emittierte Frequenzspektrum und die Richtung der Einstrahlung wichtig. Die Lichtintensität muß natürlich auf die Empfindlichkeit der verwendeten Kamera-Technologie abgestimmt sein. Bei den heute verfügbaren hochauflösenden Zeilenkameras werden an die Intensität hohe Anforderungen gestellt, die jedoch von Hochleistungslichtquellen erfüllt werden können. Kritischer ist die Frage nach dem emittierten Lichtspektrum, welches für Farbanwendungen möglichst weiß sein sollte. Hier seien besonders Metallampfen und LED-Beleuchtungen erwähnt, welche nebenbei auch noch mit einer sehr hohen Lebensdauer aufwarten.

Fehlende Buchstaben, bzw. Buchstabenteile		Zugelaufene Buchstaben	
Verschmierungen		Registerungenauigkeit (Blitzer)	
Flecken bzw. Spritzer		Registerungenauigkeit (Stanzkante)	
Barcode		Farbvariation	

Tabelle 1: Auswahl verschiedener Fehlerarten.

baren hochauflösenden Zeilenkameras werden an die Intensität hohe Anforderungen gestellt, die jedoch von Hochleistungslichtquellen erfüllt werden können. Kritischer ist die Frage nach dem emittierten Lichtspektrum, welches für Farbanwendungen möglichst weiß sein sollte. Hier seien besonders Metallampfen und LED-Beleuchtungen erwähnt, welche nebenbei auch noch mit einer sehr hohen Lebensdauer aufwarten.

Wichtig ist auch die Frage nach der Einstrahlungsrichtung. Für eine erfolgreiche Kontrolle ist die Homogenität des Bildes über die Laufzeit entscheidend, deshalb muß auf die Beleuchtung spezieller Aufträge wie Metallfolien, Hologramme, Prägungen, etc. ein besonderes Augenmerk gerichtet werden.

Gerichtetes oder diffuses Licht

Um den Anforderungen gerecht zu werden, kommen prinzipiell zwei Beleuchtungsprinzipien zur Anwendung. Das erste Prinzip arbeitet mit einer gerichteten Lichtquelle, was bedeutet, daß die Bahn aus



Abbildung 2: Druckkontrollsystem mit gerichtetem Licht auf Umroller.

einem bestimmten Winkel beleuchtet wird. Ist die Kamera nicht im gleichen Einfallswinkel montiert, so werden reflektierende Metalloberflächen dunkel aber homogen wiedergegeben. Diese Art der Beleuchtung eignet sich, um damit Fehler bzw. das Vorhandensein von Folien zu kontrollieren. Dreht man nun die Kamera in Richtung der Reflexionsachse des gerichteten Lichtstrahls, so gelangt man bei gleichen Winkelverhältnissen in den Bereich der Totalreflexion. Durch Optimieren des Kamerawinkels können in diesem Fall homogene Folien als auch Silikonaufräge kontrolliert werden. Neben der definierten Licht-einstrahlung besitzt dieses Prinzip auch den Vorteil, daß das Licht über einen Lichtwellenleiter transportiert wird und somit die Bahn am Ort der Beleuchtung keinerlei Erwärmung erfährt.

Im Unterschied zu den Beleuchtungseinrichtungen mit gerichtetem Licht findet auch häufig das sogenannte »Dome Light« Anwendung. Hierbei wird die Bahn mit diffusum Licht, das aus möglichst vielen Richtungen kommt, beleuchtet. Eine Schattenbildung tritt bei dieser Beleuchtungsart nicht auf, weshalb sie sich vor allem auch für die Ausleuchtung von erhabenen Strukturen wie Prägungen eignet. Generell ist die Auswahl der Beleuchtung für viele Anwendungen kritisch und sollte mit Hilfe von Musterrollen vor dem Projektstart durch entsprechende Labortests umfangreich geklärt werden.

Welche Fehlergrößen können detektiert werden?

Entscheidend für die Wahl eines Kontrollsystems ist natürlich die Frage nach der minimalen Fehlergröße, die vom System zuverlässig

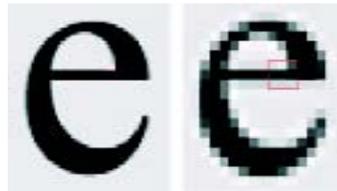


Abbildung 3: Vergrößerung links bei 6000 Pixel Auflösung, rechts bei 2000 Pixel Auflösung.

erkannt werden kann. Farbabweichungen treten meist großflächig auf, weshalb in den folgenden Ausführungen auf diese Fehlerart bei der Klärung dieser Frage nicht eingegangen wird. Somit werden lediglich Fehler betrachtet, welche sich aus fehlendem oder zusätzlichem Auftrag ergeben. Oft wird die kleinste detektierbare Fehlergröße der Größe eines Kamerapixels gleichgesetzt. Dies ist bei der Kontrolle von homogenen Oberflächen oder auch von homogenen Hintergrundbereichen statthaft. Befinden sich kleinste Fehler nahe oder sogar in veränderlichen Bereichen wie zum Beispiel Buchstaben, so ist diese Definition nicht mehr haltbar. Eine leichte Verdickung des Buchstabens ist sicherlich in den meisten Fällen akzeptabel und sollte nicht zu einer Fehlermeldung führen. Auch kleine Registerschwankungen oder Verzerrungen, welche durch Veränderungen der Bahnspannung oder bei flexiblen Folien auftreten, müssen vom Kontrollsystem zugelassen werden. Obwohl moderne Kontrollsysteme solche Effekte durch adaptive Kontroll-Algorithmen kompensieren, stehen die Qualität des Drucks und die Genauigkeit der Kontrolle in engem Zusammenhang. Aus diesen Überlegungen folgt, daß sich der kleinste detektierbare Fehler immer über eine gewisse Anzahl von als fehlerhaft detektierten Pixeln ergibt, wel-



Abbildung 4: Validierungsmerkmale auf dem Rapport.

che sich an der Druckgenauigkeit orientiert und in der Praxis in jeder Richtung mindestens zwei bis drei beträgt. Wichtig ist hier auch bei kritischen Anwendungen die Validierbarkeit einer bestimmten minimalen Fehlergröße, was bedeutet, daß Fehler oberhalb der definierten Grenzen zuverlässig und nicht nur zufällig detektiert werden.

Um den Einfluß der Kameraauflösung zu verdeutlichen, zeigt die *Abbildung 3* einen Buchstaben bei einer Auflösung von 6000 Pixeln und bei 2000 Pixeln. Ist zum Beispiel die waagerechte Linie im »e« weggebrochen, was dem Buchstaben »c« gleichkommt, so wird mit der obigen Schlußfolgerung klar,

Fehlerart	Bahnbreite Kameratyp		250 bis 300 mm		300 bis 400 mm		400 bis 550 mm	
	unter 250 mm		Farbe	Grau	Farbe	Grau	Farbe	Grau
Große Spritzer und Flecken	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●
Mittelgroße Spritzer und Flecken	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●
Kleine Spritzer und Flecken	●●	●●●●	●●	●●●●	●●	●●●●	●●	●●●●
Großflächige Farbabweichungen	●●●●	●●	●●●●	●●	●●●●	●●	●●●●	●●
Kleine Passerabweichungen	●●●●	●●	●●●●	●●	●●●●	●●	●●	●●
Fehler im Druck (über 10 Punkt)	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●	●●●●
Fehler im Druck (8-10 Punkt)	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●	●●●●	●●	●●●●
Fehler im Druck (5-7 Punkt)	●●	●●●●	●●	●●●●	●●	●●●●	●●	●●
Verwechslung von Eindrucken	●●	●●●●	●●	●●●●	●●	●●●●	●●	●●

Tabelle 2: Entscheidungsmatrix für die Wahl zwischen Farbkamera und Graustufenkamera.

daß ein Kontrollsystem mit 2000 Pixel Auflösung im vorliegenden Fall an seine Grenzen stoßen dürfte.

Validierung der Kontrollqualität

Bezüglich der Validierbarkeit eines Kontrollsystems sei zunächst bemerkt, daß hierzu Anwendungen aus dem Bereich Sicherheitsdruck oder Pharmazie ganz gezielt Forderungen stellen. Sie beziehen sich aber vor allem auf Rückverfolgbarkeit sämtlicher Bedieneraktionen über ein entsprechendes Berichtswesen und über Sicherungstechniken.

Im nächsten Abschnitt soll aber beschrieben werden, was hinsichtlich der Validierung der Kontrollqualität gemacht werden kann. Leider ist sich der Etikettendrucker der Problematik meist gar nicht bewußt. Ein Druckkontrollsystem arbeitet in so genannter positiver Logik, das heißt, solange das System keine Fehler detektiert, wird auch angenommen, daß die Ware fehlerfrei ausgeliefert wird. Was aber, wenn der Bediener, um die Produktivität zu erhöhen, die Schwellwerte zurückgestellt hat, welche vorher in umfangreichen Tests mühsam ermittelt wurden?

Systeme, die das Einstellen der Schwellwerte während der Produktion erlauben, sind natürlich gegen ein solches Vergehen nicht gefeit. Am Ende kann sich der Drucker auch nicht wirklich über die Qualität der ausgelieferten Ware sicher sein. Andere Konzepte sind hier strenger und lassen eine Veränderung der Schwellwerte nur vorab zu. Die Schwellwerte sind zudem gewöhnlich über Testreihen abgesichert (= validiert) worden. Streng genommen reicht das aber auch nicht, weil sich ja auch systemimmanente Parameter, zum Beispiel in der Beleuchtung, geändert haben könnten.

Hier müsste entweder in definierten Zeitabständen ein Testlauf mit einer präparierten Rolle erfolgen, oder man nutzt den folgenden Trick, welcher als Funktion von verschiedenen Druckkontrollsystemen angeboten wird: Irgendwo auf dem Rapport wird in einem ungenutzten Bereich ein Fehler bereits auf der Druckplatte aufgebracht. Je nach Anzahl Nutzen wird dieser Fehler immer dann im entsprechenden Raster detektiert, wenn die Druckkontrolle entsprechend den Qualitätsanforderungen aufgesetzt wurde. Die Kontrolle innerhalb dieses speziellen Bereiches kann für eine spontane Validierung aktiviert und danach wieder deaktiviert werden. Die *Abbildung 4* zeigt, wie dieses Konzept mit Etiketten realisiert werden kann. Die Validierung erfolgt im Hinblick auf ein zusätzliches und fehlendes Linienelement. Als Strichdicke für das Validierungsmerkmal wird sinnvollerweise die Strichdicke des verwendeten Zeichensatzes gewählt.

Im nächsten Heft befaßt sich der zweite Teil dieses Beitrags mit Fragestellungen bezüglich des Einsatzes der 100-Prozent-Druckkontrolle im Workflow des Etikettendruckers. Aspekte, die Druckvorstufe, Druck und Finishing betreffen, werden gleichermaßen betrachtet.

(wird fortgesetzt)

Besuchen Sie uns auf der
LABLEXPO EUROPE
26.–29. September 2007
in Brüssel/B.

Redaktion und
Anzeigenabteilung von

ETIKETTEN-LABELS

NARROWTECH

freuen sich
auf Ihren Besuch
am Stand L70 in Halle 7.