

# **WHITEPAPER**

KAMERASENSORIK TEIL 2

NEU- UND WEITERENTWICKLUNGEN

# INHALTSVERZEICHNIS

1 Einleitung .....	3
2 Erweiterte Funktionen und Merkmale .....	3
2.1 Vom Pixel zur Kontur.....	4
2.2 Objektkante markiert Übergang.....	4
2.3 Stabile Bestimmung der Kontur .....	5
3 Lagenachführung: Viele Freiheiten .....	6
3.1 Die Kombination kann entscheiden .....	6
4 Variable Objektivwahl und Blitzcontroller .....	7
5 Software zur Brennweitenberechnung .....	8
6 Kein Anlernen von Schriften .....	8
7 Alles eine Frage des Lichts .....	9
8 Neu- und Weiterentwicklungen .....	10
8.1 Profinet und höhere Rechenleistung.....	10
8.2 MultiviewerAnzeige über Webbrowser.....	10
8.3 Nicht nur einfacher kalibrieren.....	10
8.3.1 Perspektivische Effekte automatisch korrigieren .....	10
8.3.2 Integrierte Schattenkorrektur.....	11
8.3.3 Objektpositionen identifizieren.....	11
9 Technische Machbarkeitsanalyse .....	11
9.1 Zielgerichtete Versuche .....	12
9.2 Leistungsstarke Lösung für Abfüllstation gesucht.....	13
9.3 Kantenverlauf plus Lageerkennung und-nachführung .....	14
9.4 Differenzwertermittlung prüft Ovalität .....	15
9.5 Aussagekräftiger Analysebericht .....	15
9.6 Enorme Zeitersparnis und einfachere Inbetriebnahme.....	16
10 Applikationsbeispiele .....	17
10.1 Mit Gerätekombination zum Ziel.....	17
10.1.1 Konturvergleich mit Laserlinie.....	17
10.1.2 Eindeutige Identifizierung .....	18
10.2 Kennzeichnungen auf schwierigem Material erkennen .....	19
10.2.1 Schicht für Schicht zum High-End-Produkt .....	19
10.2.2 Durchgängige Nachverfolgung der Prozesse.....	19
10.2.3 Produktionsstopps durch Fehlerkennungen .....	20
10.2.4 Kamerasystem mit homogener Flächenleuchte .....	21

## 1 EINLEITUNG

Im Rahmen unserer „Know-how“-Reihe zum Thema Kamerasensorik beschäftigte sich das erste einführende White Paper unter dem Titel „Was ist beim Einsatz von Kamerasensorik zu beachten?“ mit den Grundlagen zu bildverarbeitenden Sensorsystemen. Ergänzend hierzu widmet sich dieses White Paper einigen wesentlichen Aspekten der Kamerasensorik sowie den technologischen Fortschritten in diesem Bereich (Stand: Juli 2019). Hierbei soll u.a. deutlich werden, dass die potenziellen Einsatzmöglichkeiten von Kamerasensoren mittlerweile weit über die reine Qualitätssicherung hinausgehen.

## 2 ERWEITERTE FUNKTIONEN UND MERKMALE

Wenn Anwender auf Anwendung trifft, muss ein Kamerasensor benutzerfreundlich sein, wobei „einfach“ schon zu wenig ist. Einfacher und bei Bedarf vielseitig, das sind die Eigenschaften, die bei solchen Systemen immer häufiger gefragt sind.



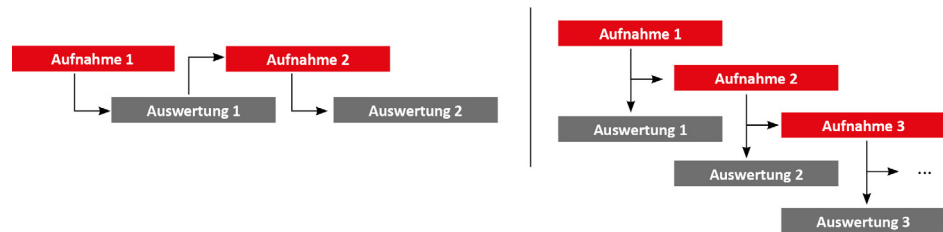
Kamerasensoren der Reihe OC53: Kompaktgerät (links) mit integrierter Optik, Beleuchtung sowie Elektronik und ein Kamerasensor mit C-Mount-Objektivanschluss. (Alle Bilder: ipf electronic gmbh)

Kamerasensoren sind komplette, softwaregestützte Bildverarbeitungseinheiten in einem industrietauglichen Metallgehäuse (Schutzklasse IP67), die als Kompaktgeräte Optik, Beleuchtung und Elektronik integrieren. Die Einsatzbereiche dieser Geräte liegen zwischen der klassischen Sensorik, wie zum Beispiel Einwegsysteme sowie Lichttaster, und der industriellen Bildverarbeitung. Darüber hinaus existieren Kamerasysteme, die mit C-Mount-Objektivanschluss ausgestattet sind und somit eine freie Objektivwahl zur einfachen Anpassung an spezielle Applikationen ermöglichen (siehe Kapitel 4). Kamerasensoren lassen sich überall dort einsetzen, wo automatisch montiert, gefördert, sortiert oder verpackt wird.

Insbesondere Kamerasensoren der Reihe **OC53** verfügen für solche oder ähnliche Aufgaben über interessante Funktionen und Merkmale. Hier nur einige Beispiele: Im Vergleich zu pixelbasierten Geräten sind die **OC53**-Kamerasensoren weitestgehend unabhängig von Fremdlichteinflüssen und bieten z. B. für die lageunabhängige Prüfung von Bauteilen eine Reihe an erweiterten Funktionalitäten mit unterschiedlichen Werkzeugen. Durch eine Bildauswertung quasi in Echtzeit lassen sich mit solchen Geräten außerdem je nach Umfang der Merkmalsprüfungen bis zu 144 Inspektionen in der Sekunde (Kompaktgeräte) durchführen.

**2.1 VOM PIXEL ZUR KONTUR**

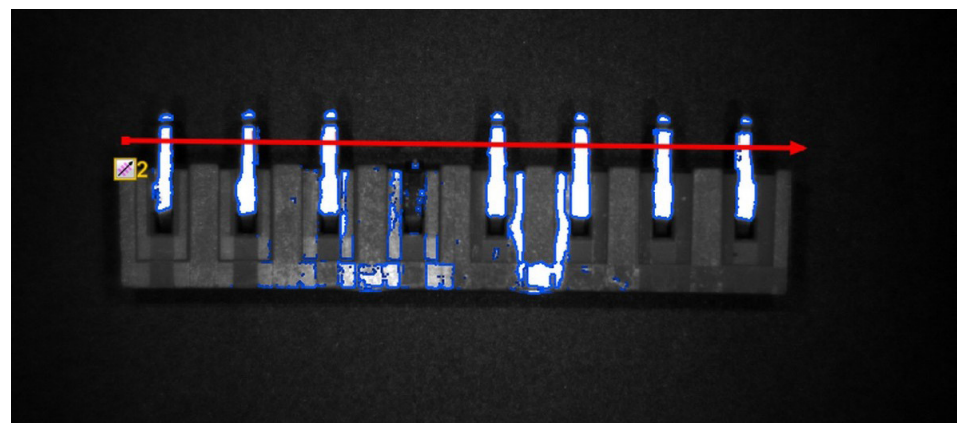
Das Sehvermögen eines Menschen kann selbst bei trübem Wetter noch Bäume und Häuser an ihren Umrissen klar erkennen und unterscheiden. Ähnlich funktioniert die konturbasierte Erkennung aktueller Kamerasensoren, wobei ihr spezieller Bildsensor die Konturen von Objekten in Echtzeit, also parallel zur Bildauswertung, errechnet. Das Resultat ist eine schnelle Detektion selbst unter schwierigen Umgebungsbedingungen. Doch warum ist die konturbasierte Bildaufnahme bei Fremdlichteinflüssen in manchen Fällen der pixelbasierten Arbeitsweise von Kamerasensoren überlegen? Ein Vergleich: Bei der pixelbasierenden Bildverarbeitung wird der Grauwert jedes einzelnen Pixels innerhalb eines zuvor festgelegten Prüffensers bewertet. Ändert sich die Helligkeit in dem vorgegeben Prüfbereich, ändern sich auch die Grauwerte der darin enthaltenen Pixel. Sind diese Änderungen zu stark, wird ein Prüfobjekt falsch bewertet, da das Bildverarbeitungssystem nicht erkennen kann, ob eine Bauteilvariation oder ein Fremdlichteinfluss die Ursache für die Grauwertänderungen ist.



Links: Bildauswertung erfolgt nach der Bildaufnahme  
 Rechts: Bildauswertung erfolgt parallel zur Bildaufnahme

**2.2 OBJEKTKANTE MARKIERT ÜBERGANG**

Konturen bestehen im Grunde aus Kanten, die den Übergang von einem Hintergrund zu einem Objekt mit spezifischen Umrissen kennzeichnen. Vor diesem Hintergrund ist eine Kante in einem Kamerabild letztendlich nur ein Übergang von einem Pixel zu einem benachbarten Pixel mit einem spezifischen Sprung im Grauwert. Kamerasensoren kann „beigebracht“ werden, welche Kriterien relevant sind, um aus solchen Pixelinformationen eine Kante und damit eine Kontur eines Objektes abzuleiten. Bei einer Kontur wird demnach der spezifische Wert eines Graustufenunterschieds zwischen den Pixeln einer Kante ermittelt, wobei die Kamera diesen Unterschied erkennt.



Konturbasierte Erkennung: Die Vollständigkeit von Kontakten an einem Elektrobauteil wird mit dem Werkzeug „Kanten zählen“ geprüft.



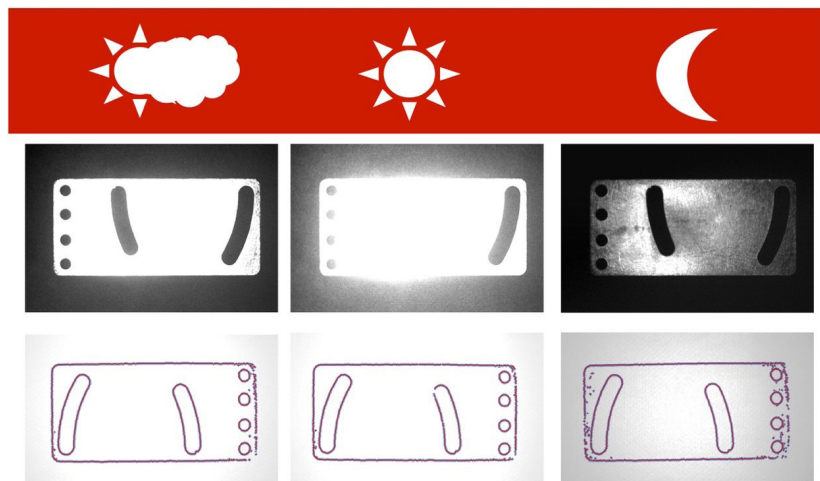
### 2.3 STABILE BESTIMMUNG DER KONTUR

Gelangt Fremdlicht auf eine Prüffläche, betrifft dies in der Regel den gesamten Detektionsbereich. Somit bleibt der Graustufenunterschied zwischen den Pixeln einer Kante über weite Bereiche konstant, wodurch eine sichere und daher relativ fremdlichtunempfindliche Abfrage von Objekten möglich ist.

Zur Verdeutlichung ein stark vereinfachtes und daher allgemein verständliches Beispiel: Theoretisch angenommen, ein Pixel stellt mit einem Grauwert von 80 den Hintergrund einer Prüffläche dar. Ein weiteres Pixel mit einem Grauwert von 120 markiert hingegen ein Prüfobjekt auf dieser Fläche. Zwischen Hintergrundpixel und Objektpixel ergibt sich somit ein Pixelsprung von 40 Grauwertstufen. Beeinflusst Fremdlicht den Prüfbereich, so würde sowohl der Grauwert des Hintergrund- als auch Objektpixels angehoben, und zwar im gleichen Verhältnis, so dass der Pixelsprung wiederum über 40 Grauwertstufen gehen würde.

Der Vorteil für die Praxis: Sollten sich die Helligkeitsbedingungen in einem Prüfbereich ändern, lässt sich dennoch aus dem Kamerabild die Kontur eines Bauteils ableiten, da dessen Kanten als Information für die Detektion herangezogen werden. Die Bestimmung dieser Kontur bleibt selbst bei wechselnden Umgebungsbedingungen (Helligkeit im Prüfbereich nimmt zu oder auch ab, z. B. aufgrund einer ausgefallenen Hallenbeleuchtung) über einen großen Bereich sehr stabil.

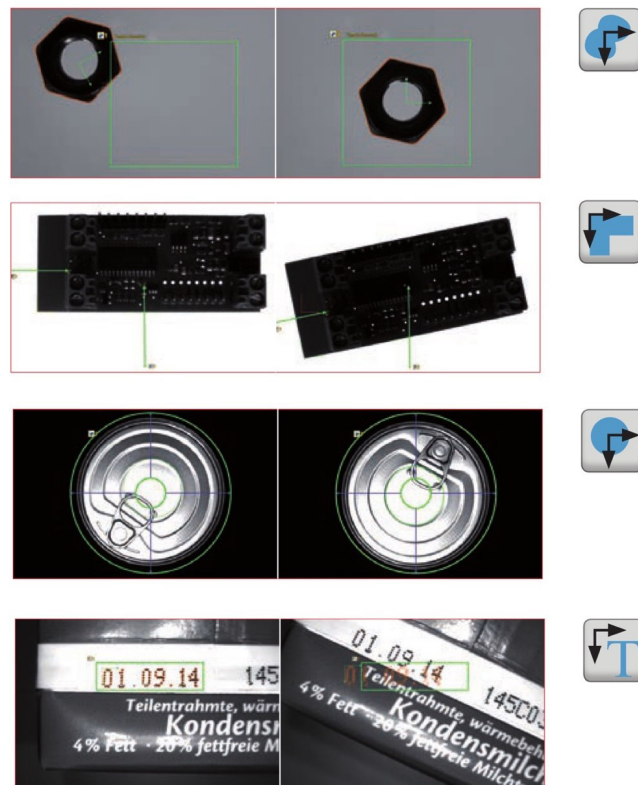
Dort, wo in der Vergangenheit mitunter eine komplette Einhausung einer Kamera notwendig war, um sie vor Fremdlichteinflüssen zu schützen, kann heute bei den Kamerasensoren der Reihe **OC53** je nach Prüfaufgabe mitunter eine einfache Beschattung der Prüffläche ausreichen.



Die Vorteile einer konturbasierten Erkennung (unten) werden im Vergleich mit der pixelbasierten Bildverarbeitung (oben) bei unterschiedlichen Lichtverhältnissen deutlich.

**3 LAGENACHFÜHRUNG: VIELE FREIHEITEN**

Ein weiterer Vorteil der genannten Kamerasensoren ist deren breitgefächerte Funktionalität im Bereich der Lagenachführung, die zur lageunabhängigen Prüfung von Bauteilen herangezogen wird. Lagenachführung bedeutet zunächst, dass die Position eines zu detektierenden Objektes im Bildbereich der Kamera bestimmt werden kann. Weicht diese Position in Bezug zur parametrisierten Lage ab, lässt sich das Objekt aufgrund einer 360 Grad Teileerkennung virtuell für die Erkennungsaufgabe ausrichten. Auch ältere Sensoren haben eine Lagenachführung, wobei die Betonung auf „eine“ liegt, da jeder in einem Bildausschnitt gelegte Prüfpunkt mit der einmal eingestellten Lagenachführung verknüpft ist. Mit neueren Systemen ist man indes hinsichtlich dieser Thematik völlig frei.



Lagenachführung an Konturen, Kanten, Kreisen oder Textzeilen (von oben).

**3.1 DIE KOMBINATION KANN ENTSCHIEDEN**

So lässt sich beispielsweise für einen Prüfling eine Lagenachführung definieren, die sich nur auf drei von fünf geplanten Prüffunktionen auswirkt. Konkreter: Zwei Prüffunktionen finden unabhängig von der Bauteillage immer am gleichen Ort im Bildbereich statt, während die restlichen Prüffunktionen entsprechend der Lage des Bauteils geometrisch nachgeführt werden. Die Kamerasensoren bieten in diesem Zusammenhang die Möglichkeit, mehrere Lagenachführungen miteinander zu kombinieren, um somit jedem einzelnen Prüfbefehl eine bestimmte Lagenachführung zuzuordnen zu können.

Hierzu ein Beispiel: Angenommen, an einem Objekt mit undefinierter Lage muss geprüft werden, ob sich an bestimmten Positionen Bohrungen befinden. Gleichzeitig soll sichergestellt sein, dass sich das Bauteil für eine nachfolgende Verarbeitung in einer vordefinierten Position mit einer entsprechenden Abweichungstoleranz auf einem Band befindet. Diese Aufgaben lassen sich nur realisieren, wenn durch eine entsprechende Lagenausführung die Prüfpunkte (Bohrungen) zu ermitteln sind. Parallel hierzu muss aber auch ein zusätzliches Prüfwerkzeug die Verdrehung des Bauteils feststellen können, wobei in diesem Fall das Werkzeug nicht nachgeführt werden darf. Ansonsten würde das Objekt, falls es sich in der falschen Position für die Weiterverarbeitung befindet, vom Kamerasensor als IO-Teil identifiziert.

#### **4 VARIABLE OBJEKTIVWAHL UND BLITZCONTROLLER**

Müssen solche oder weitaus komplexere Aufgaben bei einem vorgegebenen Arbeitsabstand auf einer größeren respektive kleineren Arbeitsfläche durchgeführt werden, können die in Kapitel 2 erwähnten Kompaktgeräte an Grenzen stoßen. Der Grund hierfür ist ein fest verbautes Objektiv, das aufgrund seiner Brennweite zwangsläufig einen spezifischen Abbildungsmaßstab vorgibt.

Um in diesem Zusammenhang mehr Informationen aus einem Erfassungsbereich zu gewinnen, ist ein Kamerasensor mit einem variabel wählbaren Objektiv und damit einer variablen Brennweite notwendig. Aus diesem Grund integriert die Kamerasensorreihe **OC53** von ipf electronic Geräte mit C-Mount-Anschluss. Solche Lösungen ermöglichen die Auswahl eines optimalen Objektivs entsprechend der gewünschten Brennweite für eine Anwendung.



Kamerasensoren mit C-Mount-Anschluss ermöglichen eine freie Objektivwahl und somit ein breites Einsatzspektrum. Die einzelnen Komponenten zum Objektivanschluss: Zwischenring zur Variation der Naheinstellgrenze, Objektiv, Objektivschutzverlängerung und Objektivschutzkappe (von links).

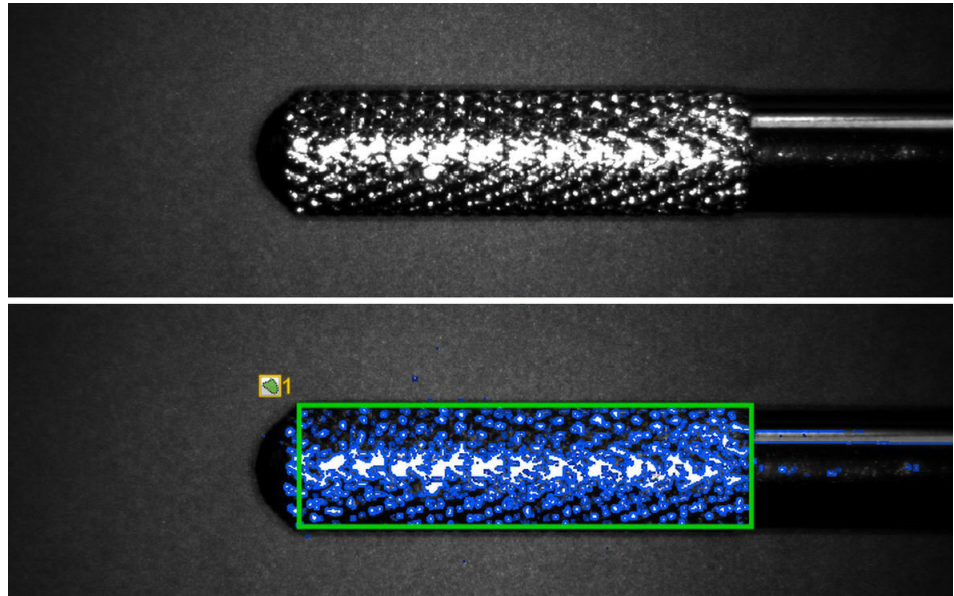
Zur Wahl des richtigen Objektivs bzw. der korrekten Brennweite muss natürlich auch die Beleuchtung passen. Kamerasensoren mit C-Mount-Anschluss integrieren daher einen Blitzcontroller, der den Einsatz von externer Beleuchtung entscheidend unterstützt. Der Controller versorgt dabei die externe Beleuchtung nicht nur mit Spannung, sondern auch mit dem zur Belichtungszeit synchronen Blitzimpuls, der für eine Vervielfachung der Beleuchtungshelligkeit erforderlich ist. Mehr zu diesem Thema in Kapitel 7.

### **5 SOFTWARE ZUR BRENNWEITENBERECHNUNG**

Eine Antwort auf die in der Praxis häufiger gestellte Frage, welcher Sensor bzw. welches Objektiv sich für eine ganz spezifische Anwendung eignet, kann die „OptiCheck Toolbox“ geben. Die kostenlose Software von ipf electronic wurde sowohl für Kompaktgeräte mit fest verbautem Objektiv als auch Geräte mit C-Mount-Anschluss entwickelt. Nach Eingabe von nur wenigen Parametern, wie z. B. Entfernung des Sensors zum Prüfobjekt, Größe des benötigten Sichtfeldes in x- und y-Richtung sowie der notwendigen Auflösung in Pixel pro Millimeter, macht die Softwareanwendung nicht nur Vorschläge für Lösungen mit der passenden Brennweite, sondern gibt auch anwendungsspezifische Empfehlungen zum Zubehör. Ist es z. B. in einem speziellen Einsatzfall notwendig, den Abstand zum Bildaufnehmer des Kamerasensors zu vergrößern, zeigt die „OptiCheck Toolbox“ die erforderliche Anzahl an Zwischenringen für das Objektiv an, um die sogenannte Naheinstellgrenze des Gerätes (Mindestabstand zu einem Objekt) variieren zu können.

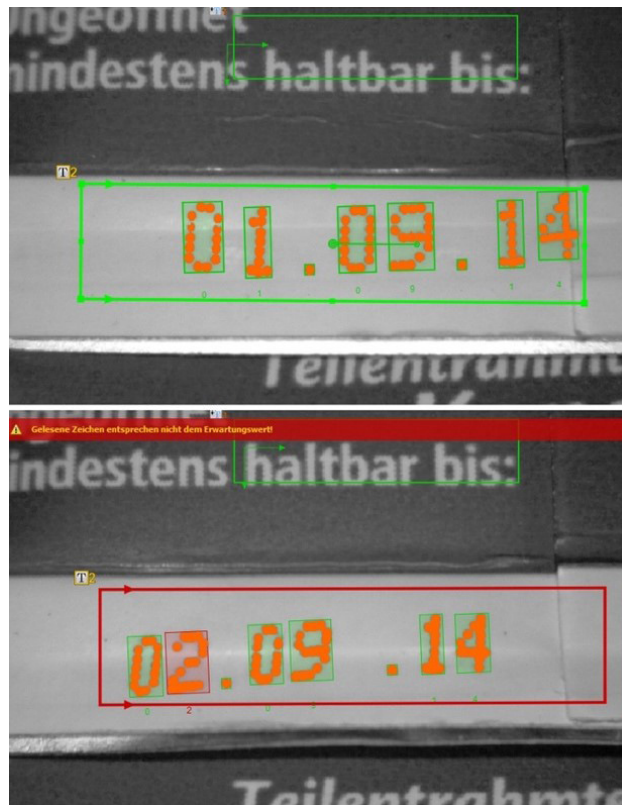
### **6 KEIN ANLERNEN VON SCHRIFTEN**

Was die potenziellen Einsatzfelder an betrifft, durften die Kamerasysteme angesichts der genannten Features und nicht zuletzt des breitgefächerten Angebots an Merkmalsprüfungen in den Bereichen Geometrie, Vergleich und Identifikation kaum Anwenderwünsche offen lassen. Im Rahmen von Identaufgaben ist in diesem Zusammenhang noch die OCR-Funktion (Erkennung von Standardschriftarten wie bspw. Arial, Calibri, etc.) hervorzuheben, die bei den **OC53** ohne vorheriges zeitraubendes Anlernen funktioniert, ganz gleich, ob es sich um einen Text (z. B. Freitext), ein Datum oder eine Zahlenkombination mit spezieller Formatierung handelt. Daher muss lediglich die Referenz eingeteacht oder die gewünschte Textinformation vorgegeben werden.

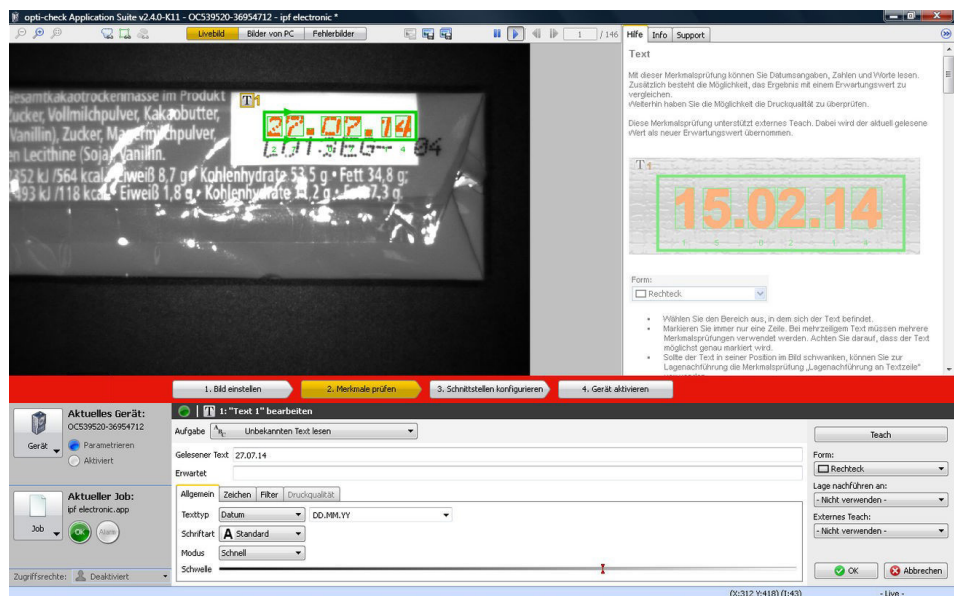


Detektion der Rändelung an einem Bauteil anhand von Konturpunkten





OCR-Funktionen lassen sich bei den OC53 ohne zeitraubendes Anlernen einsetzen, ganz gleich ob es sich um einen Text, ein Datum oder eine Zahlenkombination mit spezieller Formatierung handelt.



### **7 ALLES EINE FRAGE DES LICHTS**

Im einführenden White Paper zur Kamerasensorik wurde in einem Kapitel kurz auf das Thema Beleuchtung eingegangen. Sie gehört zu den am meisten unterschätzten Einflussfaktoren beim Einsatz von Kamerasensoren. Da das Thema sehr vielschichtig und überdies äußerst komplex ist, wird es in einem gesonderten White Paper (Teil 3 dieser Reihe) behandelt.

## **8 NEU- UND WEITERENTWICKLUNGEN**

Natürlich macht der Fortschritt auch bei Kamerasensoren nicht halt. Daher werden hier einige zentrale Neu- und Weiterentwicklungen vorgestellt, die insbesondere für den gleichermaßen praktischen wie zukunftsweisenden Einsatz der Geräte einige Vorteile versprechen.

### **8.1 PROFINET UND HÖHERE RECHENLEISTUNG**

ipf electronic ergänzte seine Reihe an Kamerasensoren durch Geräte mit Profinet-Schnittstelle, sodass sich die Kamerasensoren über den offenen Industrial-Ethernet-Standard einfacher in Feldbus-Umgebungen einbinden lassen. Darüber hinaus wurde die Rechenleistung der Kamerasensoren durch leistungsfähigere Prozessoren erhöht. Dies wirkt sich vor allem bei der automatischen Lagenachführung (siehe Kapitel 3) sowie bei der Code- und Schrifterkennung durch eine deutlich beschleunigte Reaktionszeit und schnellere Bildverarbeitung der Geräte aus.

### **8.2 MULTIVIEWERANZEIGE ÜBER WEBBROWSER**

Alle Kamerasensoren der Reihe **OC53** können im laufenden Fertigungsprozess über ein für jeden Standardbrowser geeignetes Webinterface konfiguriert werden. Zu den Weiterentwicklungen in diesem Bereich gehört z. B. die Möglichkeit, mithilfe des Webinterfaces bis zu 16 Kamerasensoren gleichzeitig auf einem Großbildschirm in Echtzeit zu visualisieren. Der Multiviewer liefert somit gewissermaßen ein Live-Bild der Funktionsweise aller im aktuellen Produktionsprozess installierten Kameras. Außerdem lassen sich für jedes Gerät je nach Voreinstellung eine Statistik (z. B. zur Anzahl an detektierten IO- und NIO-Teilen) abrufen, Prüfprogramme auf dem Sensor anwählen oder Prüfmerkmale parametrieren. Mit den Kamerainternen Freigabeebenen für verschiedene Benutzergruppen können zusätzlich die Möglichkeiten je nach Freigabestatus individuell variiert werden.

### **8.3 NICHT NUR EINFACHER KALIBRIEREN**

Vor allem der Parametriersoftware zu den Kamerasensoren **OC53** mit ihren vielseitigen Kombinationsmöglichkeiten ist es zu verdanken, dass sich immer wieder neue Anwendungsbereiche und somit interessante Potenziale für die Praxis ergeben. Dem Anwender stehen hierbei 19 unterschiedliche Werkzeuge zur Verfügung, mit denen bis zu 32 Merkmalsprüfungen pro Prüfaufgabe bzw. Programm durchgeführt werden können, wobei sich bis zu 255 Prüfprogramme auf einen Kamerasensor ablegen lassen.

Anfang 2019 stellte ipf electronic eine neue Version der Parametriersoftware für die Monochrom-Kameras der Reihe **OC53** mit Profinet-Anschluss vor. Nachfolgend die wesentlichen Features der Software.

#### **8.3.1 PERSPEKTIVISCHE EFFEKTE AUTOMATISCH KORRIGIEREN**

Es gibt immer wieder Applikationen, in denen ein Kamerasensor nicht exakt senkrecht über einen zu detektierenden Inspektionsbereich installiert werden kann, z. B. bei Einsatz eines Roboterarms zum Materialhandling oder zur Vermeidung von Reflexionen bei der Detektion von glänzenden bzw. reflektierenden Materialien (z. B. Abfrage von Barcodes unter Folienverpackungen). Wird ein **OC53** jedoch in einem bestimmten Winkel zu einem zu prüfenden Objekt montiert, so führt dies zur Verzeichnung des Kamerabildes und somit zu Prüfergebnisabweichungen, die bislang mit einigem Aufwand über die Parametriersoftware korrigiert werden mussten.

Mithilfe eines Kalibriertarget kann nun jedoch die Kameraposition einfach eingelernt werden. Das Kalibriertarget wird hierzu nach der Kameramontage unter das Gerät gelegt und ausgerichtet. Quasi per Knopfdruck lässt sich anschließend ein **OC53** kalibrieren, wobei die Kamera in Echtzeit das aufgenommene Bild automatisch entzerrt. Durch Einsatz der Kalibrierplatte und Weltkoordinaten ist überdies eine einfache Umrechnung von Pixeln zu einer Maßeinheit möglich.



Mithilfe eines Kalibriertargets lässt sich der Kamerasensor quasi per Knopfdruck kalibrieren und somit ein Bild in Echtzeit entzerren.

### **8.3.2 INTEGRIERTE SCHATTENKORREKTUR**

Ein weiteres nützliches Feature der Software zu den Monochrom-Geräten mit Profinet ist die integrierte Schattenkorrektur zum Ausgleich einer inhomogenen Helligkeitsverteilung auf einem zu detektierenden Objekt. Solche Schatteneffekte werden z. B. durch verschiedenste Arbeitsabstände der Kamera (Schrägstellung des Gerätes) oder aber durch das Kameraobjektiv sowie die Beleuchtung des Gerätes verursacht. Auch diese Effekte können nun über die Parametriersoftware quasi per Knopfdruck korrigiert werden.

### **8.3.3 OBJEKTPOSITIONEN IDENTIFIZIEREN**

Darüber hinaus sind die Kamerasensoren mit der jüngsten Version der Parametriersoftware (Stand April 2019) jetzt in der Lage, mehrere gleichartige Objekte im Suchraum auf Basis eines zuvor eingeteachten Teils zu finden und deren Position zu bestimmen. Diese Funktion ist vor allem für Robotik-Anwendungen z. B. beim „Griff in die Kiste“ (Bin Picking) interessant, zumal die Kamera auch Objektüberlagerungen sowie den Greiferraum eines Roboters prüft. Als Zusatzfeature lässt sich außerdem die Anzahl von Objekten ermitteln.

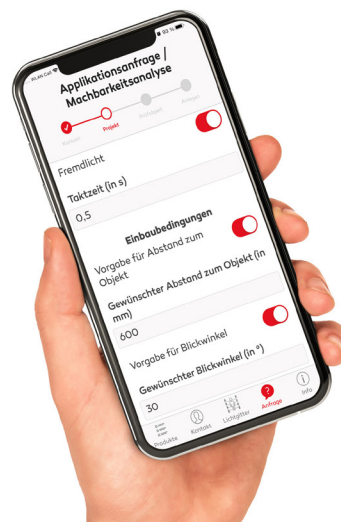
## **9 TECHNISCHE MACHBARKEITSANALYSE**

Wie dieses White Paper zeigt, sind Kamerasensoren sehr vielseitig einsetzbar und haben sich in Kombination mit der leistungsstarken Parametriersoftware zu den Gerätereihen sowie einer großen Auswahl an Beleuchtungslösungen (siehe hierzu das White Paper Kamerasensorik Teil 3 – Alles eine Frage des Lichts) bereits in sehr unterschiedlichen Industrieprozessen bewährt. Potenzielle Einsatzbereiche für Kamerasensoren finden sich u.a. in der Kunststoffindustrie, Elektronikindustrie, Automobilindustrie, im Maschinenbau, in Abfüllbetrieben (Brauereien, Sektellereien, etc.), in Sägewerken, bei Herstellern von Hygieneartikeln, und, und, und.

### 9.1 ZIELGERICHTETE VERSUCHE

Ob sich ein Kamerasensor als technologische Lösung tatsächlich für den Einsatz in einer spezifischen Applikation empfiehlt und welches Gerät bzw. welche Gerätekombination aus Kamerasensor, Objektiv und Beleuchtung hierfür in Frage kommt, kann im Grunde nur nach einer ersten Prüfung der konkreten Anwendung und im Anschluss daran, falls erforderlich, durch eine technische Machbarkeitsanalyse geklärt werden. Dieser von ipf electronic kostenfrei angebotene Service hat den entscheidenden Vorteil, dass sich die Produktspezialisten für den Bereich Kamerasensorik eingehend mit einer Kundenapplikation befassen und u.a. anhand von Versuchsaufbauten im hauseigenen Labor mit kundenseitigen IO- und NIO-Teilen eine optimale Lösung entwickeln können.

Doch es ist nicht allein die Aufgabe, die ein Kamerasensor in einer konkreten Applikation erfüllen soll, die letztendlich zu einer optimal abgestimmten Lösung führt. So beeinflussen bspw. bestimmte Umgebungsbedingungen oder Objekteigenschaften sowie einige weitere Faktoren die Auswahl eines wirklich geeigneten Systems. Im Vorfeld einer technischen Machbarkeitsanalyse erarbeitet der Produktspezialist von ipf electronic daher gemeinsam mit dem Kunden hierzu zunächst eine Checkliste. Eine Applikationsanfrage zu einer Machbarkeitsanalyse lässt sich außerdem direkt über die App von ipf electronic für Mobilgeräte stellen, wobei hier ebenfalls einige konkrete Fragen zu beantworten sind.



In der Applikationsanfrage über die IPF-App werden u.a. einige wichtige Angaben zur Anwendung abgefragt.

Auszugweise werden hier einige Angaben genannt, die für die Checkliste relevant sind:

- / Beschreibung der Aufgabenstellung
- / Angaben zu Umgebungsbedingungen (z. B. Lichtverhältnisse, Temperatur, Schmutz, etc.)
- / Größe und Geschwindigkeit des zu prüfenden Objektes
- / Objektbeschaffenheit (Material) inkl. spezifischer Eigenschaften (z. B. Farbe, Glanzgrad, etc.)
- / Notwendige Bildfeldgröße für die Objekterfassung
- / Erforderliche Zykluszeit, die u.a. durch die jeweilige Applikation vorgegeben wird

Sind die wesentlichen Fragen zur Applikation anhand der Checkliste geklärt, kann mit der detaillierten technischen Machbarkeitsanalyse begonnen werden. Beispielhaft soll an dieser Stelle eine Vorgehensweise im Zuge einer solchen Analyse in der Praxis veranschaulicht werden.



**9.2 LEISTUNGSSTARKE LÖSUNG FÜR ABFÜLLSTATION GESUCHT**

In einer Wein- und Sektkellerei werden pro Tag u.a. bis zu 21.000 Flaschen mit Mischgetränken abgefüllt. Die Produkte an der Abfüllanlage wechseln über den Tag, verbunden nicht nur mit einem Austausch des Getränkes, sondern auch der Flaschentypen mit verschiedenfarbigen Kronkorken. In diesem konkreten Fall stand von vorneherein fest, dass die Überprüfung der Flaschenverschlüsse auf den korrekten Sitz und etwaige Beschädigungen nur durch den Einsatz eines Bildverarbeitungssystem zu leisten ist, insbesondere da in der Station sechs Flaschen pro Sekunde zu prüfen sind. Da die verschiedenfarbigen Kronkorken in ihrem Glanzgrad variieren, bestand eine Herausforderung darin, eine geeignete Beleuchtung zu finden, die derartige Einflüsse weitestgehend eliminiert. Für eingehende Vorversuche erhielt ipf electronic vom Kunden einige Flaschenmuster mit fehlerhaften Verschlüssen.



Zu Testzwecken im Labor stellte die Wein- und Sektkellerei auch einige NIO-Produkte mit fehlerhaften Kronkorken zur Verfügung.

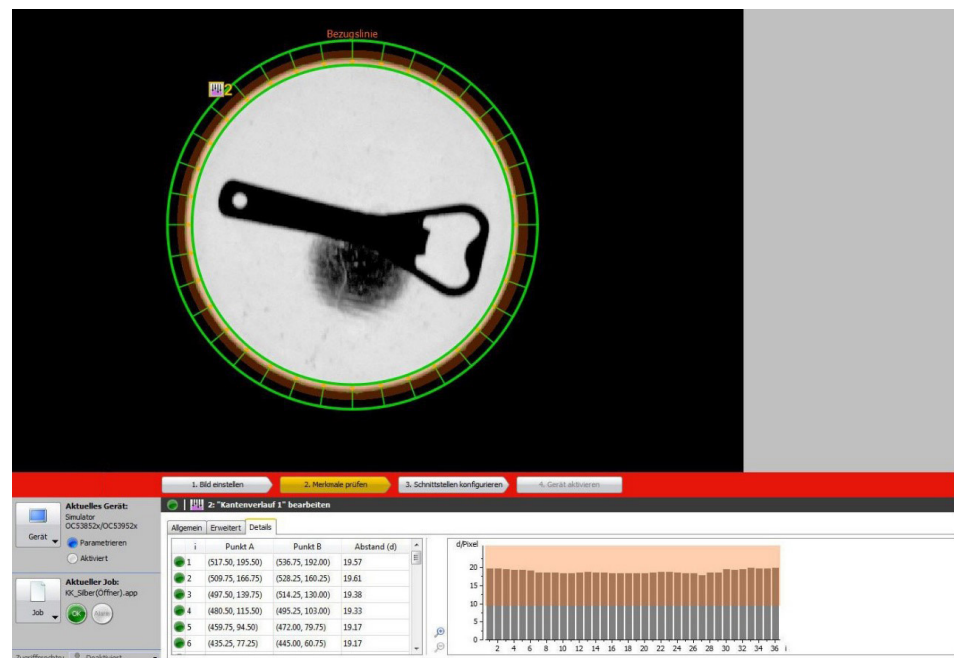
**9.3 KANTENVERLAUF PLUS LAGEERKENNUNG UND -NACHFÜHRUNG**

Im Labor von ipf electronic wurden anhand dieser Muster verschiedene Kamerasensoren in Kombination mit möglichen Beleuchtungslösungen getestet. Als beste Wahl erwies sich im Verlauf der Versuche eine Kompakt-Kamera der Reihe **OC53** mit einer Dombelichtung. Diese Beleuchtungslösung liefert zur Prüfung der verschiedenfarbigen und im Glanzgrad variierenden Kronkorken ein diffuses, schattenfreies Licht für eine scharfe, kontrastreiche Abbildung des Prüfobjektes.

Ein Hauptaugenmerk der technischen Machbarkeitsanalyse galt der Fragestellung, mit welcher Merkmalsprüfung der Software zu den Kamerasensoren der korrekte Sitz der Flaschenverschlüsse geprüft werden sollte. Hierbei war u.a. zu berücksichtigen, dass die Flaschen beim schnellen Transport auf einem Förderband ihre Positionen im Erfassungsbereich des Kamerasensors leicht verändern können. Die Laborversuche ergaben, dass sich die Merkmalsprüfung „Kantenverlauf“ für die Kontrolle der Kronkorken am besten eignete. Mit dieser Funktion lässt sich eine Objektkontur mit mehreren softwareseitigen Suchstrahlen abtasten und der hierbei ermittelte Konturabstand pro Suchstrahl mit zuvor festgelegten Bedingungen vergleichen.

Die Abtastbereiche können in diesem Zusammenhang in beliebiger Form gestaltet und in diese theoretisch eine unbegrenzte Anzahl an Suchstrahlen gelegt werden. Theoretisch deshalb, weil die Anzahl der Suchstrahlen immer auch einen Einfluss auf die Auswertzeit und damit Reaktionszeit des Kamerasensors hat. Daher ist bei der Wahl der Anzahl der Suchstrahlen stets die erforderliche Taktzeit in einer Applikation zu berücksichtigen.

Die Kronkorken der Flaschen (genauer: die Außenkontur der Verschlüsse) sollen in der beschriebenen Abfüllanlage senkrecht von oben überprüft werden. Dies geschieht über einen kreisringförmigen Abtastbereich, der über die Kronkorkenaußenkontur gelegt wurde, wobei sich innerhalb des somit entstehenden Kreisrings insgesamt 36 Suchstrahlen befinden.



Zur Prüfung des Kantenverlaufs wurden insgesamt 36 Suchstrahlen innerhalb eines um die Verschlussaußenkontur (hier ein Kronkorken mit dem Motiv eines Flaschenöffners) liegenden Kreisringes angelegt.

Eine Lageerkennung und -nachführung der Softwareprüfwerkzeuge anhand der Deckelkontur stellt zudem sicher, dass der Kamerasensor die bereits beschriebenen leichten Positionsänderungen der Flaschen beim Transport über ein Förderband automatisch ausgleicht.

**9.4 DIFFERENZWERTERMITTLUNG PRÜFT OVALITÄT**

Durch die zuvor beschriebene Merkmalsprüfung Kantenverlauf kann zunächst sichergestellt werden, dass sich ein Kronkorken wirklich vollständig auf einer Flasche befindet. Bei einem fehlerhaft platzierten Verschluss liegt die Außenkontur indes teilweise außerhalb des ringförmigen Abtastbereiches. An diesen Stellen kann somit über den hiervon betroffenen Suchstrahl bzw. über die betroffenen Suchstrahlen kein Abstand zur Kronkorkenaußenkontur ermittelt werden. Der Verschluss wird damit als NIO bewertet und die betreffende Flasche nach der Prüfung aus der Abfüllanlage geschleust.

Erfasst der Kamerasensor jedoch über sämtliche Suchstrahlen einen Konturabstand, erfolgt eine zusätzliche Prüfung des Kronkorkens anhand eines vordefinierten Grenzwertes. Hierbei werden die Abstände vom längsten und kürzesten Suchstrahl miteinander verglichen und hieraus die Differenz gebildet. Der Differenzwert markiert somit einen Toleranzbereich für die zulässige Unrundheit oder Ovalität eines Verschlusses. Ist diese zu groß, sitzt der Verschluss nicht korrekt und die Flasche muss ebenfalls aussortiert werden.



Zusätzlich zur Lage des Verschlusses erfolgt die Prüfung der Ovalität des Kronkorkens mithilfe eines vordefinierten Differenzwertes.

Die Versuche im Labor von ipf electronic berücksichtigten auch die häufigen Produktwechsel an der Abfüllstation. Daher erstellte man zur Prüfung sämtlicher verschiedenfarbiger Verschlüsse über die Software pro Verschlussvariante ein separates Prüfprogramm und hinterlegte es im Kamerasensor. Für die konkrete Anwendung war in diesem Zusammenhang später vorgesehen, dass ein Mitarbeiter an der Abfüllstation bei einem Produktwechsel über einen Schalter das jeweilige Prüfprogramm auswählt.

**9.5 AUSSAGEKRÄFTIGER ANALYSEBERICHT**

Ist die technische Machbarkeitsanalyse erfolgreich abgeschlossen und entscheidet sich der Kunde für die Lösung von ipf electronic, erhält er einen aussagekräftigen Bericht mit den folgenden Inhalten:

- / Beschreibung des Prüfergebnisses inklusive Fotos vom Versuchsaufbau
- / Auflistung der bei der Analyse verwendeten Hardware (Kamerasensor, Objektive, Beleuchtung, etc.)
- / Auflistung der für den Versuchsaufbau verwendeten Softwareparameter als Orientierung für die spätere kundenseitige Parametrierung des Kamerasensors in der konkreten Applikation
- / Beschreibung der einzelnen Prüfschritte
- / Detaillierte Ergebnisse der Objektprüfung mit eindeutiger Machbarkeitsaussage

**9.6 ENORME ZEITERSPARNIS UND EINFACHERE INBETRIEBNAHME**

Das Praxisbeispiel verdeutlicht, dass eine technische Machbarkeitsanalyse anhand von Kundenmustern mitunter mit hohem Aufwand verbunden sein kann, um für eine Applikation eine optimale Systemlösung zu erhalten. Einen Aufwand, den sich der Kunden letztendlich erspart, denn er muss keine Zeit in eigene Versuche investieren und gelangt dank der Spezialisten von ipf electronic zu einem maßgeschneiderten System, das optimal auf die spezifische Applikation hin abgestimmt ist.

In der Folge wird hierdurch auch deutlich der Aufwand für die Installation und Inbetriebnahme der Lösung vor Ort verringert. Auf Kundenwunsch leisten die Ingenieure von ipf electronic zudem Unterstützung bei der Parametrierung vor Ort.



Die Prüfstation innerhalb der Abfüllanlage. Beleuchtung und Kamera befinden sich zum Schutz in einer Umhausung.

Die in dem Praxisbeispiel beschriebene Systemlösung ist bereits seit längerer Zeit in Betrieb und funktioniert nach Aussagen des Kunden einwandfrei. Der Kamerasensor detektiert alle Flaschenverschlüsse zu 100 Prozent und erkennt zuverlässig sämtliche fehlerhaften Kronkorken, ganz gleich welches Produkt gerade in der betreffenden Anlage abgefüllt wird.



## **10 APPLIKATIONSBEISPIELE**

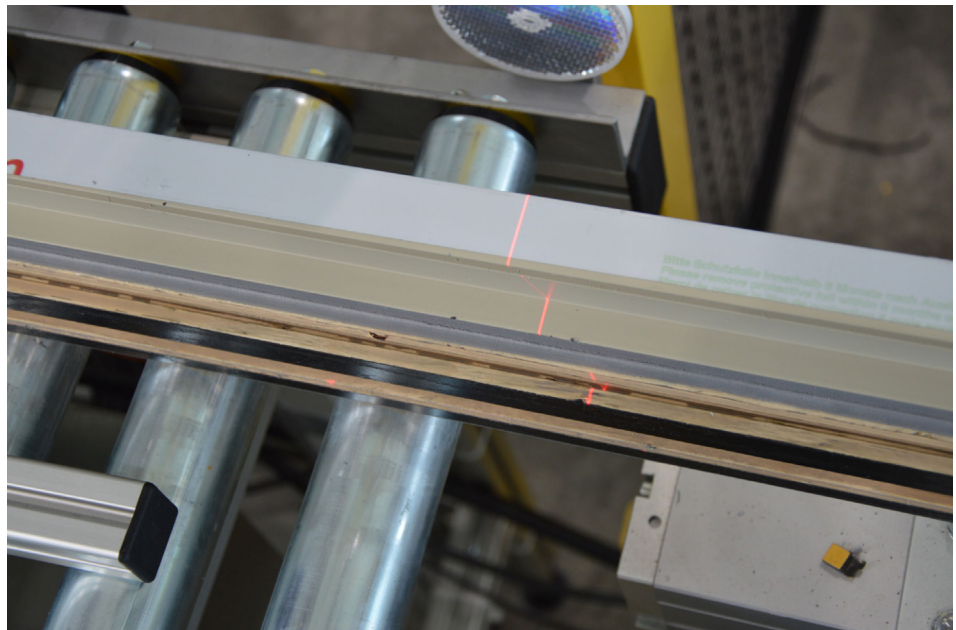
Abschließend einige Applikationsbeispiele, die einen Eindruck von der Leistungsfähigkeit von Kamerasensoren anhand von spezifischen Herausforderungen aus der Praxis vermitteln sollen. Beide nachfolgenden Beispiele verdeutlichen außerdem, wie wichtig schon allein eine gewisse Applikationserfahrung ist, damit eine wirklich optimale Lösung für den Einsatz von Kamerasensorik gefunden wird.

### **10.1 MIT GERÄTEKOMBINATION ZUM ZIEL**

In einer Sonderanlage eines Fensterbauers werden pro Stunde rund 120 Fensterprofile automatisch mit Dichtungen versehen. Die Anlage verarbeitet hierbei bis zu 50 verschiedene Profiltypen mit unterschiedlichen Farben und Oberflächenglanzgraden. Am Beginn der Sonderanlage erfolgt auf einer Seite die manuelle Bestückung mit den PA-Profilen für die Fensterrahmen bzw. Fensterflügel in einen Werkstückpuffer. Gegenüberliegend werden die bereits von einer anderen Maschine vorgefertigten Fensterprofile automatisch an eine Rollenbahn übergeben. Diese Fensterprofile bestehen aus einer Aluschale, einem PU-Schaum als Wärmedämmung und einem Holzprofil als Fensterträger. An der Rollenbahn ist sicherzustellen, dass der jeweils zugeführte Profiltyp korrekt ist, da das Rüsten der Anlage auf die jeweiligen Werkstücke automatisch erfolgt. Zur automatisierten Identifizierung der unterschiedlichen Profiltypen wählte man einen Kamerasensor in Kombination mit einem Linienlaser.

#### **10.1.1 KONTURVERGLEICH MIT LASERLINIE**

Zur eindeutigen Identifizierung der unterschiedlichen Fensterprofiltypen wurde aus den Prüfwerkzeugen der Parametriersoftware zum Kamerasensor für den „Merkmalsvergleich“ die Funktion „Konturvergleich“ ausgewählt.



Für jeden Profiltyp ergibt sich ein unterschiedlicher Konturverlauf der Laserlinie, der vom Kamerasensor erfasst und mit der in der Software hinterlegten Referenzkontur verglichen wird.

Mit dem Linienlaser wird auf der Profiloberseite über die gesamte Breite eines Profils eine Laserlinie projiziert und vom Kamerasensor erfasst. Da sich die Profiltypen in ihrer Kontur voneinander unterscheiden, ergibt sich für jeden Typen ein unterschiedlicher Verlauf der Laserlinie. Diese und weitere Informationen lassen sich pro Profiltyp als separates Prüfprogramm in der Software hinterlegen. Zur eindeutigen Identifizierung aller Profiltypen, werden daher die betreffenden Profile bzw. die jeweiligen Laserlinienkonturen eingeteacht, in der Software abgespeichert und mit den jeweiligen Einstellungen der Anlage zur Profilverarbeitung verknüpft.

**10.1.2 EINDEUTIGE IDENTIFIZIERUNG**

Wird die Anlage demnach auf einen neuen Profiltypen umgerüstet, lässt sich über die Steuerung auch das entsprechende Prüfprogramm der Kamera aktivieren. Durch einen Vergleich des aktuell aufgenommenen Profils mit den in der Software hinterlegten Laserlinienkonturen für den entsprechenden Profiltypen kann der Kamerasensor somit stets eindeutig überprüfen, ob das richtige Fensterprofil aus der Vorverarbeitung zugeführt wird oder nicht. Da die Oberseiten der verschiedenen Profiltypen unterschiedliche Farben haben und zudem unterschiedliche Glanzgrade aufweisen können, erweist sich der Konturvergleich mithilfe des Linienlasers als besonders zuverlässig. Hat der Kamerasensor den richtigen Fensterprofieltypen erkannt, können die einzelnen Werkstücke zur Verarbeitung in der Sonderanlage weitertransportiert werden.



Kamerasensor und Linienlaser sind oberhalb einer Rollenbahn montiert, auf dem sich Profile aus der Vorverarbeitung befinden.

**10.2 KENNZEICHNUNGEN AUF SCHWIERIGEM MATERIAL ERKENNEN**

Ein Betrieb verändert die Materialeigenschaften und -funktionen von Glas durch nur wenige Nanometer dicke Tauchbeschichtungen im seltenen Sol-Gel-Verfahren. Hierbei werden Glasscheiben, im Fachjargon „Substrat“ genannt, in eine spezifische Beschichtungsflüssigkeit getaucht und mit einer definierten Geschwindigkeit wieder herausgezogen. Auf diese Weise entstehen u.a. Farbeffektglas und auch optische Filter bspw. für die Medizintechnik, Beleuchtungstechnik, Industrie sowie Forschung und Entwicklung.

**10.2.1 SCHICHT FÜR SCHICHT ZUM HIGH-END-PRODUKT**

Die Glasscheiben für die optischen Filter werden nach einer Grundreinigung und einem mehrstufigen Reinigungs- sowie Trocknungsverfahren auf einer Einzelförderstrecke in einen Reinraum transportiert und dort in einen codierten Werkstückträger positioniert. Mit einem Roboter gelangen die Scheiben danach in eine von vier Beschichtungskammern. Nach der Beschichtung positioniert der Roboter die Scheiben erneut in einen Werkstückträger. In einem Rollenherdofen erfolgt anschließend die Aushärtung der Beschichtung. Danach wird das Substrat in der Regel erneut dem Prozess für die Folgebearbeitungen zugeführt, wobei in der chaotischen Fertigung bestimmte Produkte den Prozess über mehrere Tage bis zu 22-mal durchlaufen.

**10.2.2 DURCHGÄNGIGE NACHVERFOLGUNG DER PROZESSE**

Bei der Vielfalt an unterschiedlich komplexen Produkten, die sich zur gleichen Zeit in der Anlage befinden, ist eine sichere Nachverfolgung unerlässlich. Daher wird jedes Substrat vor dem ersten Einschleusen in die Anlage mit einem 2D-Code gekennzeichnet und über ein Kamerasystem direkt verifiziert. Eine weitere Kamera ist vor der Wiedereinschleusung für bereits beschichtete Produkte installiert. Das dritte Kamerasystem befindet sich im Reinraum vor dem Einlauf in den Werkstückträger. Sämtliche Geräte sind per Feldbusknoten in die Profibus DP-Installation eingebunden. Die Kameras mit integrierter Auflichtbeleuchtung sind seit Gründung des Betriebs im Einsatz und werden stets auf den Stand der Technik gehalten. Dennoch gab es in den letzten Jahren immer wieder Probleme.



### 10.2.3 PRODUKTIONSSTOPPS DURCH FEHLERKENNUNGEN

Die unterschiedlich dicken Substrate mit voneinander abweichenden optischen Eigenschaften stehen nicht immer rechtwinklig zum Kamerasystem auf der Förderstrecke, was manchmal zu unerwünschten Reflexionen führte, sodass die Kameras den 2D-Code nicht erfassten. Außerdem erweiterte der Betrieb seine Produktpalette durch neue Glasmaterialien, mit denen die Kameras ebenfalls Probleme hatten, weil z. B. die Materialhärte u. U. das Kennzeichnungsergebnis negativ beeinflusst.

Eine Fehllösung des Codes führte sofort zur Produktionsunterbrechung. War die Kamera im Reinraum hierfür die Ursache, musste ein Mitarbeiter mit entsprechender Bekleidung den Reinraum betreten, den 22-stelligen Code notieren und ihn dann manuell in die Prozessvisualisierung übertragen. Zusätzlich zum hohen Zeitaufwand barg dies immer auch Fehlerpotenziale, etwa weil der Code falsch notiert oder nicht korrekt eingegeben wurde. Hinzu kam letztendlich, dass der Kamerahersteller die Systeme abkündigte und die Pflege der Parametriersoftware einstellte, sodass ein adäquater Ersatz gefunden werden musste.



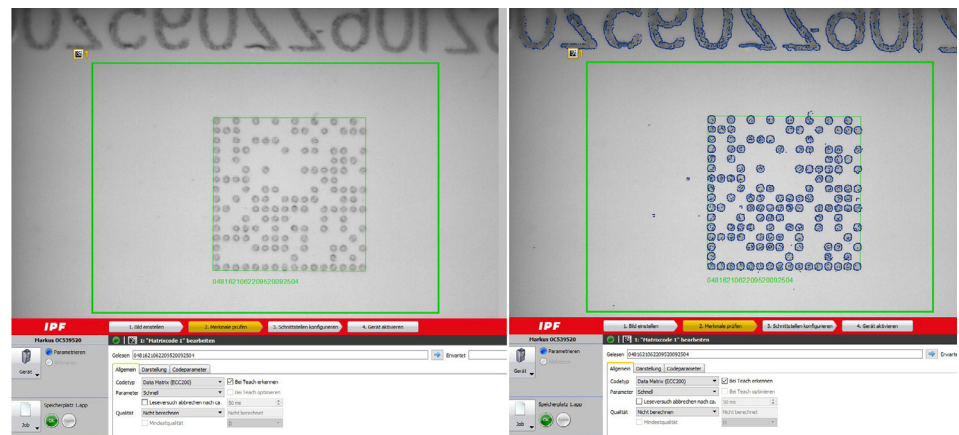
Einer der Kameras im Einsatz. Aufgrund von Durchlicht als Beleuchtungstechnik beeinflussen störende Reflexionen oder die Qualität der Beschriftung nicht mehr die zuverlässige Erkennung des Codes.



**10.2.4 KAMERASYSTEM MIT HOMOGENER FLÄCHENLEUCHTUNG**

ipf electronic empfahl dem Kunden schließlich einen Kamerasensor der Reihe **OC53** in Kombination mit einer homogenen Flächenleuchte, die im Durchlichtverfahren arbeitet. Nach der Installation des ersten Systems im Reinraum zeigte sich, dass schon die Veränderung der Beleuchtungstechnik mit Durchlicht zu einer verlässlicheren Erfassung des 2D-Codes führte, weil eine leichte Schrägstellung der Scheiben sowie die Qualität der Kennzeichnung nun keine Rolle mehr spielen. Zusätzlich wirkte sich das große Bildfeld mit verbesserter Lagenachführung positiv auf die Erkennung der Codes aus.

Die bereits im Kapitel 9.3 erwähnte Lagenachführung ist ein leistungsstarkes Feature der Parametriersoftware zu den Kamerasensoren und ermöglicht es, die Position sowie Drehlage bspw. eines Produktes, Textes oder Codes anhand von Konturen, Kanten, Kreisen oder Zeilen zu ermitteln. Alle nachfolgenden Merkmalsprüfungen, in diesem konkreten Fall die Erfassung eines 2D-Codes, werden an der ermittelten Objektposition ausgerichtet.



Einer der Kameras im Einsatz. Aufgrund von Durchlicht als Beleuchtungstechnik beeinflussen störende Reflexionen oder die Qualität der Beschriftung nicht mehr die zuverlässige Erkennung des Codes.

Nach dem erfolgreichen Testbetrieb des ersten Kamerasystems wurden auch die beiden anderen älteren Kameras an der Erst- sowie Wiedereinschleusung durch die neuen Lösungen von ipf electronic ersetzt. Die Probleme mit der Erfassung der Kennzeichnungen, der damit verbundene Aufwand und vor allen Dingen die Produktionsstillstände konnten somit nachhaltig beseitigt werden.

**© ipf electronic gmbh: Dieses White Paper ist urheberrechtlich geschützt. Die Verwendung des Textes (auch in Auszügen) sowie der Bildmaterialien in diesem Dokument ist nur mit schriftlicher Genehmigung der ipf electronic gmbh gestattet.**



**ipf electronic gmbh**  
info@ipf.de • www.ipf.de

Änderungen vorbehalten! Stand: Februar 2022