#### Vielseitig und flexibel

# Kamerasensoren – eine unterschätzte Technologie



Kamerasensoren als Kompaktgerät (links) mit integrierter Beleuchtung und fest verbautem Objektiv und als Lösung mit C-Mount-Objektivanschluss (rechts) (Bild: ipf GmbH)

Kamerasensoren bewähren sich in etlichen automatisierten Industrie-anwendungen. Dennoch werden deren Einsatzmöglichkeiten und damit vielfältigen Potenziale immer noch weitestgehend unterschätzt. Grund genug, sich näher mit diesem Thema zu beschäftigen und u. a. anhand von Praxisbeispielen Einblicke in eine gleichermaßen vielseitige wie leistungsfähige Sensortechnologie zu geben.

#### **Einige Meilensteine:**

Die Entwicklung des CCD-Chips (CCD: charge-coupled device) im Jahr 1970 legte nicht nur den Grundstein für den Siegeszug der Digitalfotografie, sondern war im Grunde auch einer der Wegbereiter für die industrielle Bildverarbeitung von heute, da sie, vereinfacht formuliert, u. a. auch das Qualitätsproblem bei der Speicherung von Bilddaten löste.

Knapp zehn Jahre später wurde hierzulande das erste industrietaugliche Bildverarbeitungssystem



Klassische Anwendungen von Kamerasensorik in der Metallindustrie: Kontrolle der korrekten Länge von metrischen Schrauben mit Standardgewinde (oben) und Qualitätsprüfung von Massenartikeln wie Schrauben oder Unterlegscheiben (unten) z.B. für eine sortenreine Verpackung (Bild: ipf GmbH)

mit Computerschnittstelle im Markt vorgestellt, das mit knapp 10 kg Gewicht und einem Preis von rund 80.000 Euro allerdings noch recht unhandlich und überdies sehr teuer war. Die erste sogenannte Smart-Kamera (1996) mit vollständig integrierter Bildverarbeitung revolutionierte gewissermaßen die Branche, wobei diese Lösung eine Auflösung von 753 x 582 Pixel und eine Taktfrequenz von 32 MHz hatte.

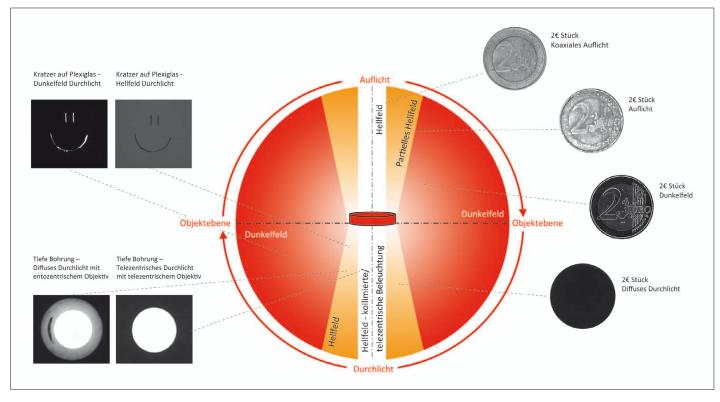
## Immense Fortschritte bei leistungsstarker Hard- und Software

Die industrielle Bildverarbeitung erlebte vor allem in den letzten Jahren rasante Fortschritte, nicht

zuletzt auch durch die immer kürzeren Entwicklungszyklen bei der Hardware, die zudem zusehends leistungsstärker mithin kompakter wird. Im Vergleich zur ersten Smart-Kamera verfügen heutige Systeme über deutliche höhere Auflösungen und sind bei der Bildverarbeitung ungleich schneller. Die Vielseitigkeit aktueller Kamerasensoren wird vor allem durch deren Parametriersoftware ermöglicht, die immense Einsatzpotenziale bei der automatisierten Prozessüberwachung in den Bereichen Objekterkennung und -vergleich bietet (Vollständigkeitskontrolle, Identifikation, Positionserkennung, Lageerkennung, Merkmalsvergleich, Musterver-

Autoren: Christian Fiebach, Geschäftsführer ipf electronic gmbh, Tobias Gelzhäuser, Produktmanagement Kamerasensorik/ Technische Beratung

> ipf electronic gmbh www.ipf.de



Einfluss unterschiedlicher Beleuchtungstechniken sowie -positionen auf die Darstellung verschiedenster Objekte. Hellfeld, partielles Hellfeld sowie Dunkelfeld können zur Prüfung bestimmte Objektmerkmale hervorheben, aber auch unterdrücken (Bild: ipf GmbH)

gleich, Farbanordnung, Farbmerkmalsprüfung etc.). Doch hierzu später mehr.

#### Entwickelt für spezifische Einsatzbereiche

Die Auswahl an Kamerasensoren ist groß. Daher konzentriert sich dieser Fachbeitrag, auch mit Blick auf praktische Applikationsbeispiele, auf sogenannte Kompaktgeräte und Lösungen mit C-Mount-Objektivanschluss.

Kompaktkameras verfügen über ein durchgängig einheitliches Design in robuster Bauweise (z. B. Metallgehäuse in Schutzart IP67) und integrieren sowohl die Beleuchtung als auch das Objektiv. Durch den zunehmenden Einsatz von ITund softwaregestützten Lösungen in der industriellen Sensorik hielten auch USB- und RS232-Schittstellen Einzug bei den ersten Kompaktkameras. Mit verschiedensten festen Brennweiten und variablen Arbeitsabständen von bspw. 70 mm bis 300 mm sind solche Kamerasensoren heutzutage gewissermaßen als standardisierte Lösungen für ganz konkrete Einsätze in den Bereichen Lagenachführung, Geometrie, Vergleich und Identifikation zu verstehen. Um den Funktionsumfang und damit das Einsatzspektrum der Monochrom-Kameras deutlich auszubauen, konzentrierte man sich bei deren Weiterentwicklung in den vergangenen Jahren vor allem auf die Erweiterung von Software-Prüfwerkzeugen.

#### Viel Freiraum durch höhere Flexibilität

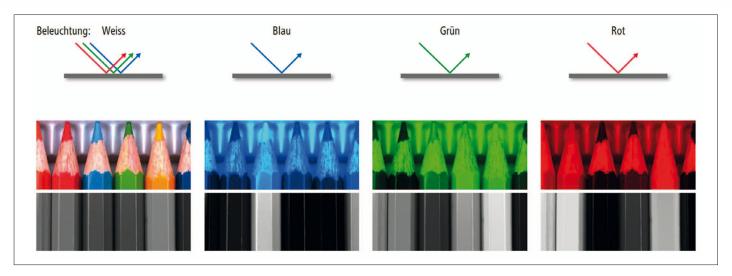
Fest verbaute Objektive, wie bei den Kompaktkameras, bedeuten jedoch unveränderliche Brennweiten. Da diese Geräte je nach Kameraversion somit zwangsläufig einen spezifischen Abbildungsmaßstab vorgeben, stoßen sie zumeist an Grenzen, wenn in Applikationen komplexerer Prüfaufgaben auf einer größeren oder kleineren Arbeitsfläche mit einem vordefinierten Arbeitsabstand durchgeführt werden müssen. Für solche Aufgaben eignen sich indes Kamerasensoren mit C-Mount-Objektivanschluss und Auflösungen bis 2 Megapixel, die je nach erforderlicher Brennweite eine völlig freie Objektivwahl und somit ein sehr breites Einsatzspektrum ermöglichen. Um außerdem die sogenannte Naheinstellgrenze (Mindestabstand zu einem Objekt) eines Kamerasensors variieren zu können, stehen für die verschiedensten Objektive Zwischenringe zur Verfügung.

#### Die richtige Beleuchtung zum Objektiv

Zur Wahl des richtigen Objektivs und damit der applikationsspezifisch erforderlichen Brennweite gehört die korrekte Beleuchtung. Kamerasensoren mit C-Mount-Objektaufnahme integrieren daher einen Blitzcontroller für den Einsatz von externer Beleuchtung. Der Controller versorgt die Lichtquellen nicht nur mit Spannung, sondern optional auch mit einem Blitzimpuls, der notwen-



Kamerasensoren mit C-Mount-Anschluss ermöglichen freie Objektivwahl und ein breites Einsatzspektrum. Die Abbildung zeigt die Komponenten zum Objektivanschluss: Zwischenring zur Variation der Naheinstellgrenze, Objektiv, Objektivschutzverlängerung und Objektivschutzkappe (von links) (Bild: ipf GmbH)



Einfluss farbiger Beleuchtung auf die Bildgebung zur Bewertung von z. B. Farbstiften. Selbst bei monochromer Bildgebung (unten) lassen sich hierdurch spezifische Farben hervorheben bzw. unterdrücken (Bild: ipf GmbH)

dig ist, um die Helligkeit einer externen Beleuchtung zu vervielfachen.

### Leistungsstark und dennoch einfach in der Bedienung

Wie bereits eingangs erwähnt, ist die Parametriersoftware im Grunde das Herzstück jedes Kamerasensors, da sie als entscheidende Schnittstelle zwischen Anwender und Gerät fungiert. Die Software wird zunächst auf einem PC installiert, um den Kamerasensor zu konfigurieren und Prüfprogramme zu erstellen. Danach ermöglicht ein Webinterface vordefinierte Veränderungen vorzunehmen und dies von jedem PC oder Laptop im Netzwerk, in dem sich auch der Kamerasensor befindet. Nach der Parametrierung eines Kamerasensors arbeitet dieser autonom, also ohne weitere Anbindung an die Software.

Eine leistungsstarke und somit vielfältig einsetzbare Parametriersoftware sollte Anwender in die Lage versetzen, aus einer Fülle an Prüfmerkmalen auszuwählen, um hieraus applikationsspezifische Prüfprogramme zu erstellen, die wiederum eine ganze Reihe an Objektmerkmalen abfragen und zudem auch Merkmalsprüfungen miteinander kombinieren können. Trotz aller Komplexität einer solchen Lösung muss die Software im Sinne der "Usability" dennoch einfach zu bedienen und daher mit nur wenigen Schritten konfiguriert und einsatzbereit sein.

#### Alles eine Frage des Lichts

Damit die Parametriersoftware und somit die Bildverarbeitung im Kamerasensor ein zur Objektprüfung verwertbares Bild erhält, ist vor allem zusätzlich zum Objektiv und damit der Brennweite die Art und Position der Lichtquelle (der Winkel, in der das Licht auf ein Prüfobjekt trifft) entscheidend. Hierbei wird generell zwischen Auf- und Durchlicht sowie zwischen Hellfeld, partielles Hellfeld und Dunkelfeld unterschieden.

Bei Auflicht befindet sich die Lichtquelle sensorseitig oberhalb einer Objektebene, während Durchlicht unterhalb der Objektebene angeordnet ist. Für Auflicht und Durchlicht stehen eine ganze Reihe an Beleuchtungstechniken zur Verfügung. Zu den Gebräuchlichsten gehören in diesem Zusammenhang wohl gerichtete koaxiale Beleuchtung (Auflicht), diffuse Beleuchtung (Auflicht, Durchlicht) sowie kollimierte/telezentrische Beleuchtung (Auflicht, Durchlicht).

An dieser Stelle hierauf detaillierter einzugehen, würde zu weit führen. Nur so viel: Diese Techniken eignen sich für die Ausleuchtung einer Fülle an transparenten und nicht-transparenten Objekten, z. B. mit reflektierenden, glänzenden oder unebenen Oberflächen, um nur einige wenige Beispiele zu nennen.

Aber welchen Einfluss haben Hellfeld und Dunkelfeld in Kombination mit einer entsprechenden Beleuchtungstechnik auf die Objektprüfung?

### Prüfaufgabe und Objekteigenschaften

Innerhalb des Hellfeldes wird das von einem Objekt reflektierte Licht vollständig vom Kamerasensor erfasst. Die Hellfeldbeleuchtung als Auflicht eignet sich daher insbesondere zur Ausleuchtung von rauen Objekten mit nur geringen reflektierenden Eigenschaften. Mit Durchlicht (diffus oder telezentrisch) können über das Hellfeld bspw. Bohrungen, Ausstanzungen oder Konturen in Objekten sehr gut geprüft werden.

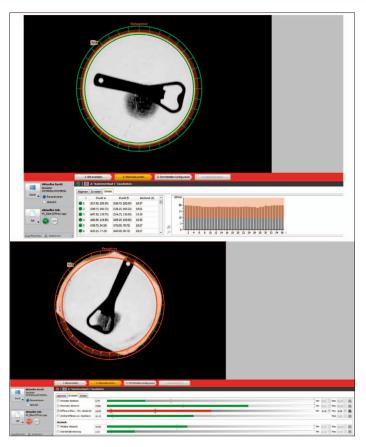
Beim Dunkelfeld wird hingegen das auf ein Objekt treffende Licht zum größten Teil außerhalb des Erfassungsbereichs der Kameraoptik reflektiert. Dunkelfeld-Ausleuchtungen als Auflicht werden daher vor allem zur Detektion von Gravuren oder Oberflächenfehlern wie bspw. Kratzer in nicht-transparenten Materialien eingesetzt. Dagegen lassen sich im Dunkelfeld bei Durchlicht sehr gut Materialfehler auf transparenten Objekten aus Kunststoff oder Glas erfassen. Die Grafik in Bild 4 verdeutlicht den Einfluss einiger beschriebener Beleuchtungstechniken sowie die Effekte von Hellfeld, partielles Hellfeld und Dunkelfeld auf verschiedene Objekte. Nicht nur die Art und Position der Lichtquelle haben Einfluss auf ein Prüfergebnis, sondern mitunter auch die Farbe der Beleuchtung. Selbst mit einem monochromen Kamerasensor können durch den Einsatz einer farbigen Beleuchtung (z. B. blau, grün oder rot) spezifische Farben hervorgehoben oder unterdrückt werden. Der durch eine derartige Beleuchtung erzeugte Kontrast kann als Unterstützung dienen, um relevante Merkmale sicher zu unterscheiden.







Fehlerhafte Kronkorken auf Flaschen. In einer Abfüllstation kontrolliert ein Kamerasensor u.a. den korrekten Sitz des Verschlusses auf den Flaschen (Bild: ipf GmbH)



Bei der Prüfung des Kantenverlaufs wurden insgesamt 36 Suchstrahlen innerhalb eines um die Verschlussaußenkontur liegenden Kreisringes angelegt (oben). Zusätzlich zur Lage des Verschlusses erfolgt die Prüfung der Ovalität (unten) mithilfe eines vordefinierten Differenzwertes (Bild: ipf GmbH)

#### Viele Potenziale für die Praxis

Wie in nahezu allen Fällen zeigt wiederum die Praxis am deutlichsten, welche Potenziale Kamerasensoren für unterschiedlichste und mitunter diffizile Aufgabenstellungen tatsächlich bergen. Hierzu zwei Applikationsbeispiele: Zum einen ein Getränkehersteller, der in einer Abfüllstation verschiedenfarbige Flaschenverschlüsse überprüfen möchte und zum anderen ein Fensterbauer, der in einer Sonderanlage die automatische Zuführung unterschiedlicher Fensterprofile überwachen will.

## Mit Kombination von Merkmalen zum Ziel

In einer Abfüllstation eines Getränkeproduzenten werden täglich bis zu 21.000 Flaschen mit wechselnden Produkten abgefüllt. Mit jedem Produktwechsel ändert sich auch der Flaschentyp sowie deren Kronkorken, die somit verschiedene Farben haben und überdies in ihrem Glanzgrad variieren. Die Kronkor-

ken sollen mit einem Kamerasensor durchgängig, also zu 100 Prozent, auf korrekten Sitz hin geprüft werden. Die Herausforderung, die verschiedenfarbigen und in ihrem Glanzgrad variierenden Flaschenverschlüsse eindeutig identifizieren zu können, löste man mit einer sogenannten Dombeleuchtung, die für diese Aufgabe ein diffuses und schattenfreies Licht liefert.

Die Parametriersoftware zum Kamerasensor ist äußerst vielseitig mithin flexibel einsetzbar, sodass sich für diese spezielle Applikation eine Kombination aus Merkmalsprüfungen empfahl: Kantenverlauf, Lageerkennung und -nachführung sowie Differenzwertermittlung.

#### Mit der Kante ans Runde

Das Prüfprogramm "Kantenverlauf" ermöglicht es, eine Objektkontur mit mehreren softwareseitigen Suchstrahlen abzutasten und den hierbei ermittelten Konturabstand pro Suchstrahl mit festgelegten



In einer Anlage, die automatisch Fensterprofile mit Dichtungen versieht, kommt zusätzlich zum Kamerasensor ein Laserlinienpointer zum Einsatz. Für jeden Profiltyp ergibt sich ein unterschiedlicher Konturverlauf der Laserlinie, der vom Kamerasensor erfasst und mit der in der Software hinterlegten Referenzkontur verglichen wird (Bild: ipf GmbH)

Bedingungen zu vergleichen. Die Abtastbereiche lassen sich hierzu in beliebiger Form gestalten und in diese theoretisch eine unbegrenzte Anzahl an Suchstrahlen legen. Theoretisch deshalb, da die Auswerte- und damit Reaktionszeit des Kamerasensors immer auch mit der Anzahl der Suchstrahlen korreliert.

Die Kronkorken sollen in der Abfüllstation senkrecht von oben überprüft bzw. die Außenkontur des Verschlusses kontrolliert werden. Dies geschieht mit einem kreisringförmigen und über die Außenkontur des Kronkorkens gelegten Abtastbereich mit 36 Suchstrahlen innerhalb des Kreisringes.

Weil sich die Flaschen und somit die Kronkorken während des Transports auf einem Förderband nicht immer mittig im Erfassungsbereich der Kamera befinden, wird außerdem die Lageerkennung und -nachführung der Kamerasensorsoftware eingesetzt, die sich an der Deckelkontur der Kronkorken orientiert.

Die Kantenkontrolle stellt zunächst sicher, dass sich ein Kronkorken vollständig auf einer Flasche befindet. Andernfalls wird die Flasche als NIO bewertet und aus der Station ausgeschleust. Erfasst der Kamerasensor indes über alle Suchstrahlen einen Konturabstand, erfolgt eine zusätzliche Prüfung des Kronkorkens anhand eines vordefinierten Differenzwertes, der zuvor durch den Vergleich der Abstände vom längsten und kürzesten Suchstrahl ermittelt wurde. Dieser Wert markiert somit einen Toleranzbereich für die

zulässige Unrundheit oder Ovalität des Verschlusses. Ist diese zu groß, sitzt der Verschluss nicht korrekt und die Flasche wird aussortiert.

Um sämtliche, in ihren Farben und Glanzgrad variierende Kronkorken bei einem Produktwechsel zuverlässig kontrollieren zu können, wurde für jede Verschlussvariante ein separates Prüfprogramm erstellt und im Kamerasensor hinterlegt. Bei einem Produktwechsel muss somit lediglich das jeweilige Programm manuell oder automatisiert aufgerufen werden, sodass keine größeren Unterbrechungen in der Produktion entstehen.

#### Kamerasensor plus Laserlinienpointer

Hohe Automatisierung erfordert sichere Prozesse. Das gilt umso mehr, wenn es sich um eine Sonderanlage handelt, die pro Stunde rund 120 Fensterprofile automatisch mit Dichtungen versieht. Hierbei muss sie bis zu 50 verschiedene Profiltypen mit unterschiedlichen Farben und Oberflächenglanzgraden verarbeiten. Am Beginn der Anlage erfolgt auf einer Seite die Bestückung mit PA-Profilen für die Fensterrahmen bzw. -flügel. Gegenüberliegend werden bereits vorgefertigte Fensterprofile automatisch an eine Rollenbahn der Anlage übergeben. An dieser Stelle ist sicherzustellen, dass sich das jeweils richtige Profil für die Verarbeitung auf der Rollenbahn befindet. Zur automatisierten Identifizierung der unterschiedlichen Profiltypen wählte man einen Kamerasensor im Zusammenspiel mit einem Laserlinienpointer.

## Erkennung von Profiltypen durch Konturvergleich

Mit dem Laserpointer wird eine Linie auf der Profiloberseite über deren gesamte Breite projiziert und vom Kamerasensor erfasst. Aufgrund der in ihrer Kontur verschiedenartigen Profiltypen, ergibt sich für jeden Typen ein unterschiedlicher Verlauf der Laserlinie. Um alle Profiltypen identifizieren zu können, werden die betreffenden Profile bzw. die jeweiligen Laserlinienkonturen über die Parametriersoftware eingeteacht, im Prüfprogramm des Kamerasensors abgespeichert und mit den jeweiligen Einstellungen der Anlage zur Profilverarbeitung verknüpft. Für jeden Profiltyp ergibt sich somit ein separates Prüfprogramm. Muss die Anlage auf einen neuen Profiltypen umgerüstet werden, lässt sich über die Steuerung auch das entsprechende Prüfprogramm der Kamera aktivieren. Durch einen Vergleich des aktuell aufgenommenen Profils mit der in der Software hinterlegten Laserlinienkontur für den entsprechenden Profiltypen kann der Kamerasensor stets eindeutig überprüfen, ob das richtige Fensterprofil aus der Vorverarbeitung zugeführt wird. Der Konturvergleich mithilfe des Laserlinienpointers erweist sich zudem auch mit Blick auf die unterschiedlichen Profilfarben und Glanzgrade ihrer Oberflächen als sehr zuverlässig.

Die Praxisbeispiele vermitteln einen Eindruck, welche vielfältigen Möglichkeiten Kamerasensoren in unterschiedlichsten, automatisierten Applikationen zur Erfassung und Bewertung von Objekten bieten. Mitunter führen in diesem Zusammenhang nicht nur die Kombination von Merkmalsprüfungen, sondern auch Technologien, wie der Einsatz eines Laserlinienpointers bei der Profiltypenerkennung, zum Ziel.

## Fortschritte und Weiterentwicklungen

Wie in nahezu allen Bereichen der Sensorik, macht auch die Entwicklung von Kamerasensoren permanent Fortschritte, wie z. B. die Ausstattung der Geräte mit Profinet-Schnittstelle zur Einbindung ins industrielle Ethernet und nicht zuletzt auch Neu- sowie Weiterentwicklungen bei der Parametriersoftware belegen.

Exemplarisch für die jüngsten Neuerungen ist bspw. eine automatische Echtzeit-Korrektur perspektivischer Effekte im Kamerabild über die Parametriersoftware, um das Gerät schneller mithin einfacher zu teachen, wenn es z. B. nur in einem bestimmten Winkel zu einem Prüffeld und damit Objekt montiert werden kann. Ein anderes Beispiel ist eine integrierte Schattenkorrektur, die es quasi per Knopfdruck ermöglicht, eine inhomogene Helligkeitsverteilung auf einem zu detektierenden Öbjekt auszugleichen. Solche und weitere Entwicklungen erleichtern zusätzlich die Installation und Inbetriebnahme von Kamerasensoren und eröffnen überdies interessante Potenziale für neue Einsatzfelder, etwa im nach wie vor wachsenden Markt an Robotik-Anwendungen. Hierzu gehört z. B. eine Softwarefunktion, die in der Lage ist, mehrere gleichartige Objekte in einem Suchraum anhand eines zuvor eingeteachten Teils zu finden und deren Position zu bestimmen. Eine Funktion, die vor allem beim "Griff in die Kiste" (Bin Picking) mit einem Roboter Vorteile verspricht, zumal ein Kamerasensor hierbei auch Objektüberlagerungen sowie den Greifarm eines Roboters prüft.

## Abschließend alles auf Anfang

Eingangs hieß es, Kamerasensoren seien eine vielfach unterschätzte Technologie. Das mag bspw. daran liegen, dass sich aus Anwendersicht anstelle dieser Technologie, für die eine oder andere Applikation möglicherweise zunächst augenscheinlich näherliegende Sensorlösungen ergeben und erst in einer Testphase die Potenziale von Kamerasensoren als echte Alternative erkannt werden. Dabei lassen sich Kamerasensoren in der Regel immer dann einsetzen, wenn konventionelle Lösungen, z. B. induktive Schalter, optische Gabellichtschranken oder optische Taster bzw. Lasertaster, in bestimmten Anwendungen an ihre technischen Grenzen stoßen. Das kann der Fall sein, wenn sich Prüflinge nicht positionieren lassen (z. B. auf einem Förderband), meh-



Der Kamerasensor mit C-Mount-Objektivanschluss und Laserlinienpointer sind oberhalb einer Rollenbahn montiert, über die die Profile der automatisierten Anlage zugeführt werden (Bild: ipf GmbH)

rere Merkmale an einem Objekt zu prüfen sind, eine zu detektierende Fehlstelle an einem Objekt variiert oder wenn Flächen bzw. Bereiche eines Objektes zu prüfen sind.

In diesem Zusammenhang bietet die große Auswahl an Kamerasensoren in Kombination mit deren Parametriersoftware eine derartige Fülle an Einsatzmöglichkeiten, dass

es im Falle einer konkreten Anwendung immer auch empfehlenswert ist, sich näher mit dieser Technologie zu beschäftigen bzw. einen Applikationsspezialisten zu Rate zu ziehen. Wie dem auch sei, der Fortschritt im Bereich der Kamerasensoren geht weiter und man darf daher weiterhin auf zukünftige Entwicklungen gespannt sein.