

White Paper: Was ist beim Einsatz von Kamerasensorik zu beachten?

White Paper

Was ist beim Einsatz von Kamerasensorik zu beachten?

**Autor: Uwe Kleinschmidt,
Applikationsspezialist Kamerasensorik**

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----------|
| Einleitung | 3 |
| Anders „sehen“ | 4 |
| Augenscheinlich überlegen? | 5 |
| Keine objektive Graustufenbewertung | 5 |
| Begrenzt aufmerksam und schnell ermüdet | 6 |
| Zuverlässig und genau | 8 |
| „Pixelig“ statt hochauflösend | 8 |
| Das perfekte Objektiv gibt es nicht | 9 |
| Möglichst scharfe Bilddarstellung | 10 |
| Optimale Schärfe über den richtigen Arbeitsabstand | 10 |
| Einflussfaktor Prüfling | 10 |
| Vielfach unterschätzt: die Beleuchtung | 12 |
| Wahl der richtigen Beleuchtungsfarbe | 12 |
| Fotometrisches Entfernungsgesetz | 13 |

Einleitung

Um es gleich vorweg zu nehmen: Es gibt nicht „Die Bildverarbeitungs-Nutzende Branche“, denn jede Branche hat Potenzial für Kamerasensorik, und Bildverarbeitungssysteme eröffnen große Chancen in Bereichen, in denen konventionelle Sensorik nicht einsetzbar ist. Das haben mittlerweile sehr viele verschiedene Industriezweige ebenfalls entdeckt, sei es die Automobilindustrie, die Kunststoffindustrie, die Lebensmittelindustrie oder die pharmazeutische Industrie, um nur einige wenige zu nennen.

Der Einsatz von bildverarbeitenden Sensorsystemen ist immer dann denkbar, wenn konventionelle Sensoren, etwa induktive Schalter, optische Gabellichtschranken, optische Taster oder Lasertaster, in bestimmten Applikationsbereichen an ihre technischen Grenzen stoßen. Doch was kann hier Bildverarbeitungssensorik im Vergleich zu herkömmlichen Sensorlösungen? Und worauf ist in ihrer praktischen Anwendung besonders zu achten?

Die Einsatzfelder, in denen Standardsensoren sehr schnell an ihre Grenzen stoßen, sind breit gefächert. So versagen solche Sensoren häufig dann, wenn ein Prüfling nicht positioniert werden kann (etwa auf einem Förderband), mehrere Merkmale an einem Objekt zu prüfen sind (z. B. Bohrungen in einem Gussteil), wenn eine Fehlstelle an einem Objekt variiert (z. B. mehrere fehlende Nadeln in einem Nadellager) oder wenn Flächen bzw. Bereiche geprüft werden müssen (z. B. Zwei-Komponenten-Spritzteile wie Dichtungen).

Anders „sehen“

Ein All-In-One Bildverarbeitungssystem wie der Kamerasensor Opti-Check (OC64) (Abb. 1) von ipf electronic besteht aus einer Kamera mit integriertem Bildverarbeitungsrechner und komplexer Software, einer Optik und einer Beleuchtungseinheit.

Was in der Praxis eine derartige Kombination im Hinblick auf mitunter diffizile und von Standardsensorik nicht zu bewältigenden Prüfaufgaben zu leisten vermag, wird deutlich, wenn man einmal einen Kamerasensor mit dem menschlichen Sehsinn vergleicht.

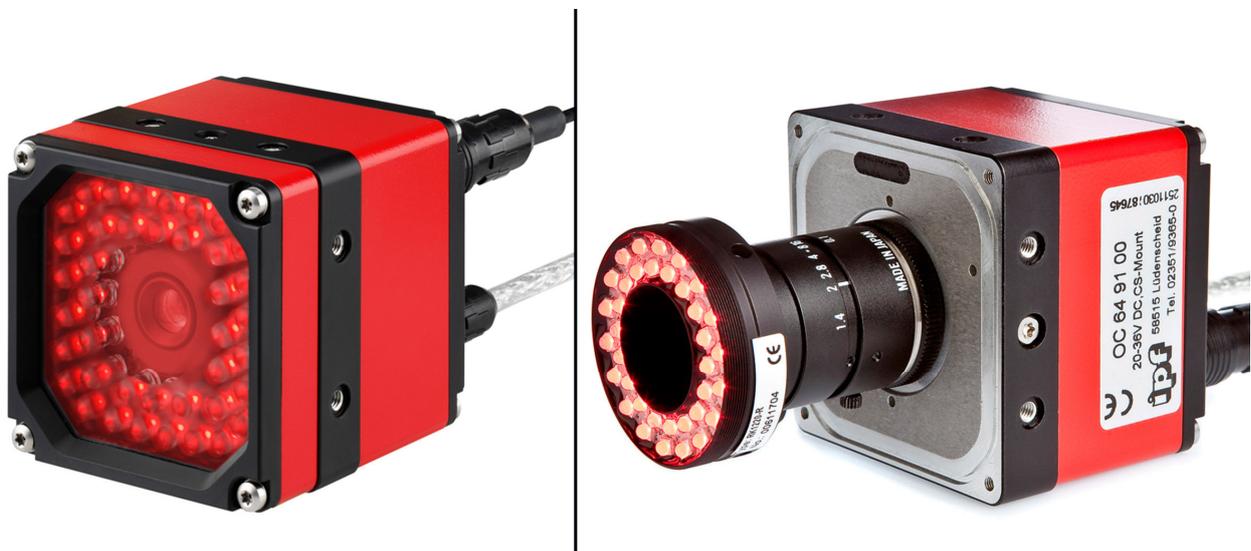


Abb. 1: Der Kamerasensor Opti-Check (OC64) von ipf electronic ist ein All-In-One Bildverarbeitungssystem

Augenscheinlich überlegen?

Für das farbliche Sehen bei Tageslicht oder bei Dämmerung verfügt das menschliche Auge über sechs Millionen sogenannte Zapfen. Bei dunkler Dämmerung oder bei nahezu vollständiger Dunkelheit kommen aufgrund ihrer höheren Lichtempfindlichkeit die 120 Millionen Stäbchen des Auges zum Einsatz, wobei der Mensch dann nur noch in der Lage ist, zwischen hell und dunkel bzw. schwarz und weiß zu unterscheiden. Weniger als 100 Graustufen kann das Auge in einem solchen Fall noch erkennen, was einer Auflösung von zirka 6 Bit entspricht.

Die Flimmergrenze des menschlichen Sehorgans, also die Frequenz, bei der eine Folge von Lichtblitzen als kontinuierliches Licht wahrgenommen wird, liegt nachts bei 16 Hz. In der Dunkelheit kann das Auge so 100.000 MB an Sehinformationen pro Sekunde übertragen.

Der Kamerasensor OC64 verfügt über eine Auflösung von 345.000 Pixel (bei einer Bildschirmauflösung 720 x 480 Pixel) und ist in der Lage 256 Graustufen (8 Bit) zu erkennen. Die Bildwiederholfrequenz ist mit bis zu 15 Hz der Flimmergrenze des menschlichen Sehorgans unter bestimmten Bedingungen ähnlich. Die Bildinformationen überträgt das Gerät mit 5,49 MB pro Sekunde.

Keine objektive Graustufenbewertung

Das menschliche Sehorgan scheint demnach einem Kamerasensor in einigen Bereichen wie Auflösung, Geschwindigkeit und Unterscheidungsvermögen überlegen (Abb. 3). Allerdings lassen sich derartige Vergleiche oder Bewertungen auch relativieren. So kann das Auge zwar bei guten Lichtverhältnissen und hohem Konzentrationsvermögen selbst geringe Kontrastunterschiede wahrnehmen, verfügt also auch bei sehr geringem Kontrast über eine hohes Unterscheidungsvermögen.

Jedoch hängt diese Kontrastwahrnehmung von den relativen Helligkeitsunterschieden ab, während sich die Kontrastwahrnehmung eines Kamerasensors an den absoluten Helligkeitsunterschieden orientiert. Dies führt dazu, dass der Sehsinn zwischen bestimmten Graustufen entweder große Kontraste oder kleine Kontraste wahrnimmt, obwohl die Abstufungen immer konstant sind. Eine objektive Bewertung der Graustufen über den Sehsinn ist demnach nicht gegeben (Abb. 2).

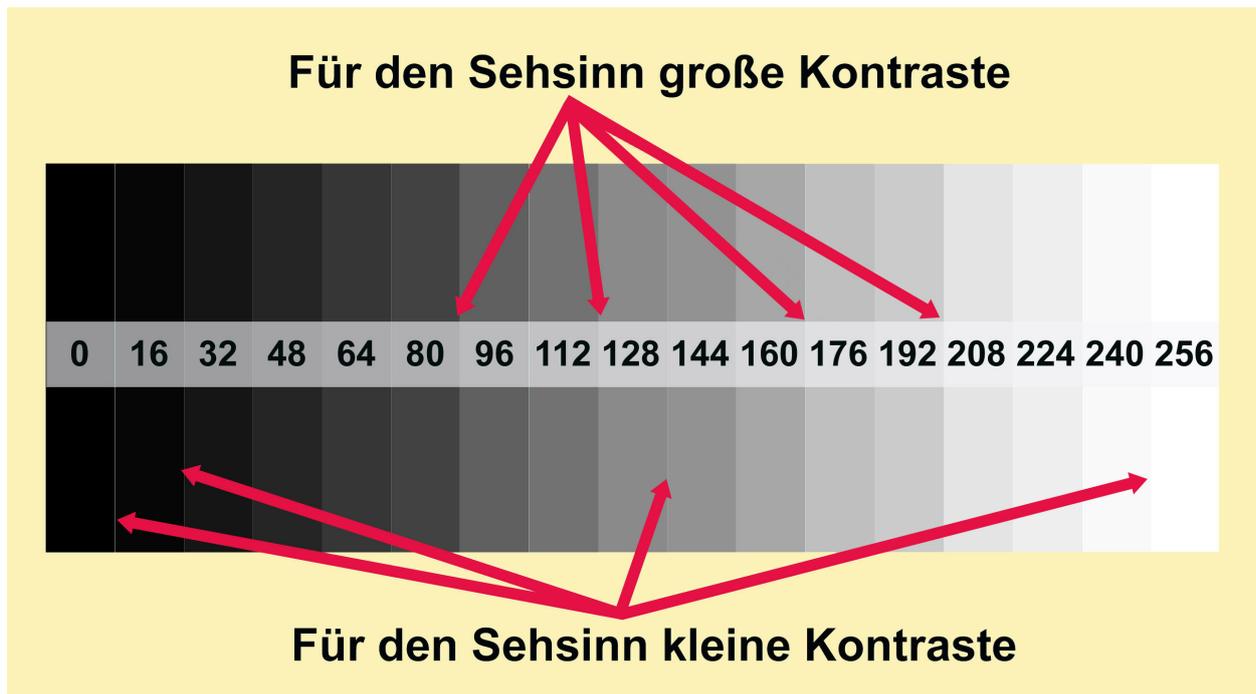


Abb. 2: Eine objektive Bewertung der Graustufen kann der Sehsinn nicht leisten.

Begrenzt aufmerksam und schnell ermüdet

Darüber hinaus hat das menschliche Sehorgan nur eine sehr begrenzte Aufmerksamkeitsdauer, die immer auch von der „Tagesform“ des Betrachters abhängig ist. Die ständige visuelle Prüfung sehr vieler gleicher Objekte wird somit schnell monoton und führt aufgrund der Ermüdung der Augen zu höheren Fehlbeurteilungen. Darüber hinaus kann die Fähigkeit zum kognitiven Sehen (mit Bekanntem vergleichen), die in manchen Fällen durchaus gefordert ist, bei der Prüfung von Objekten zu Fehlbewertungen führen, da Bekanntes in den Prüfling hineininterpretiert wird, obwohl es objektiv nicht vorhanden ist. Last, but not least kann das Auge nicht alles sehen und ist bei der schnellen Detailerkennung zu langsam.

Wie sich menschliche Sehen mitunter irritieren lässt, wird anhand der nachfolgenden Abbildung deutlich (Abb. 3)

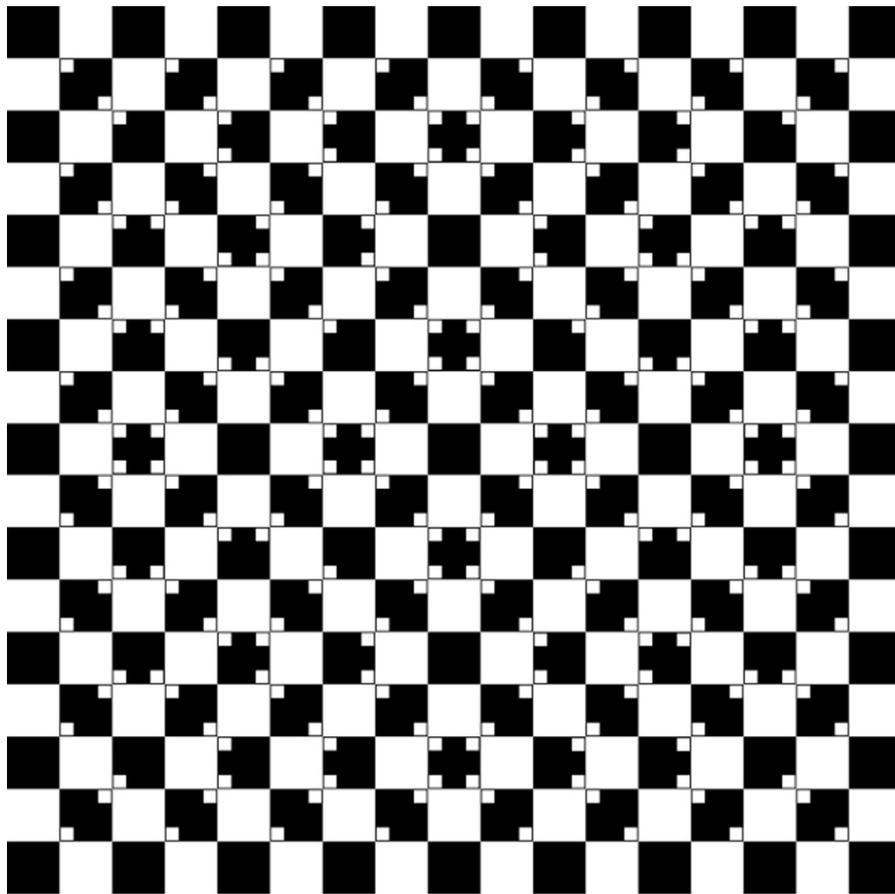


Abb. 3: Die Linien auf diesem Muster verlaufen scheinbar nicht parallel. Diese Sinnestäuschung wird durch die weißen Quadrate in den schwarzen Kästchen verursacht. (Quelle: Wikipedia)

Zuverlässig und genau

Die Bildverarbeitungssensorik vermeidet hingegen solche Mängel des menschlichen Sehens, da sie schnell und genau ist, berührungslos detektiert und stets 100-prozentig zuverlässig und objektiv sowie ermüdungsfrei arbeitet. Ein Kamerasensor kann daher insbesondere in den Bereichen punkten, die für die zuverlässige Erfassung und Bewertung von Objekten bei großen Produktionsvolumen in unterschiedlichsten Industriebranchen relevant sind – und darauf kommt es letztendlich an.

Dennoch gilt in diesem Zusammenhang der Leitsatz: **Was mit dem Auge nicht erkennbar ist, ist zu meist – abgesehen von wenigen Ausnahmen - auch mit einer Bildverarbeitung nicht sichtbar.**

Um All-In-One-Kamerasensoren wie den OC64 in verschiedensten Applikationen zielgerichtet und damit erfolgreich einsetzen zu können, sind vor allem einige grundlegende Einflussfaktoren (Bildaufnehmer, Objektiv, Prüfling und Beleuchtung) zu berücksichtigen, die die Zuverlässigkeit des Systems in der Praxis bestimmen.

„Pixelig“ statt hochauflösend

Für den Bereich des Bildaufnehmers sind u.a. Aspekte wie die Empfindlichkeit, die Farbbewertung, die Belichtungszeit etc. für die sichere Erkennung von Prüfbögen relevant.

So erkennt der Bildaufnehmer des OC64 die Farbe eines zu prüfenden Objektes in Graustufen. Die Pixel oder Bildpunkte sind hierbei die kleinsten Bausteine, die in Zeilen und Spalten organisiert werden (z.B. mit einer Anzahl von 720 x 480 Pixeln). Jeder Pixel kann Helligkeit von 0 (schwarz) bis 255 (weiß) also 256 Graustufen umsetzen. Was das menschliche Auge also hochauflösend sieht, wird vom Bildaufnehmer „pixelig“ dargestellt, so dass bei Rundungen ein sogenannter Treppeneffekt entsteht (Abb. 4).

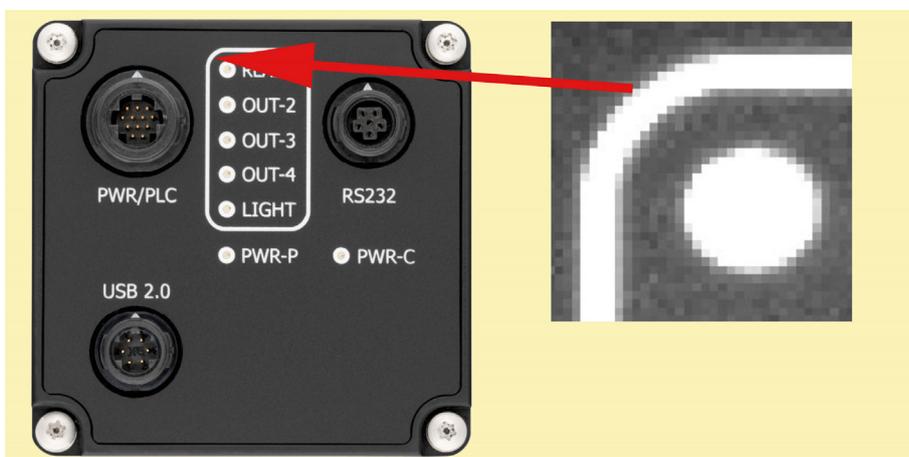


Abb. 4: Bei Rundungen entsteht ein sogenannter Treppeneffekt, wie in der Vergrößerung rechts zu sehen ist.

Das perfekte Objektiv gibt es nicht

Bei der Detektion von Prüflingen besteht immer der Wunsch, dass diese durch ein Kameraobjektiv möglichst maßstabsgetreu, scharf, kontrastreich, farbtreu und gleichmäßig hell abgebildet werden. Doch die Realität sieht anders aus. Alle Objektive haben, gewissermaßen von Natur aus, immer Abbildungsfehler. Deshalb sind u.a. Verzerrungen, Verzeichnungen, perspektivischen Fehlern oder perspektivisch nicht gewollten Effekten bei der Objekterkennung in Kombination mit einer Beleuchtung besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Solche Effekte treten vor allem auf, wenn sich Prüflinge nicht konstant in der Bildmitte des Kamera-Sichtfeldes befinden. (Abb. 5 und Abb. 6)

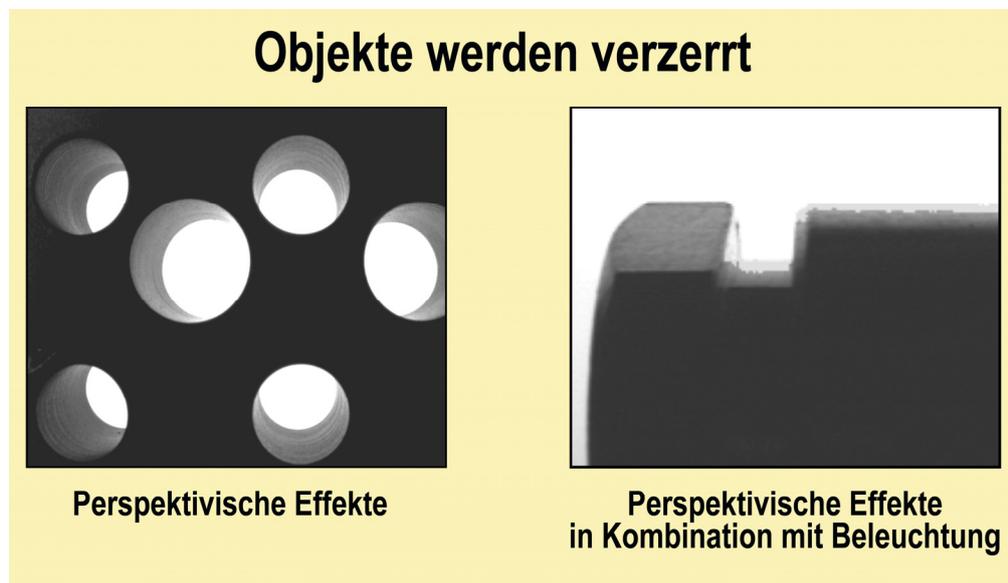


Abb. 5: Die Darstellung der Objekte wird aufgrund perspektivischer Effekte verzerrt.

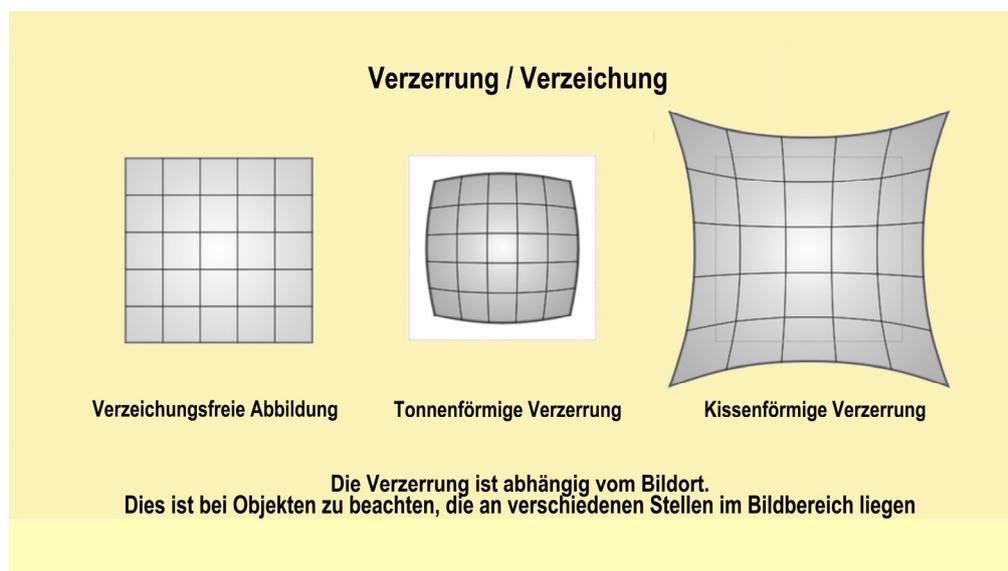


Abb. 6

Möglichst scharfe Bilddarstellung

Im Zusammenhang mit einem möglichst scharfen Abbild eines Prüfobjektes sind Kenntnisse bzgl. der Schärfentiefe von Objektiven hilfreich. Nutzer von digitalen Spiegelreflexkameras kennen diesen Begriff, verwenden auch häufig die Bezeichnung „Tiefenschärfe“. Die Formel für die Einstellung des Kamerafokus bleibt dennoch gleich: Je kleiner die Blendenöffnung, desto größer die Schärfentiefe, d. h., ein größerer Entfernungsbereich wird scharf dargestellt. Je größer jedoch die Blendenöffnung gewählt wird, desto geringer die Schärfentiefe – Gegenstände mit unterschiedlichen Abständen zur Kamera werden mal scharf mal unscharf dargestellt. Diesen Effekt kann man nur mit teuren telezentrischen Objektiven vermeiden.

Der als „Schärfentiefe“ bezeichnete Schärfbereich ist also die Ausdehnung eines Bereichs im Objekt-raum eines abbildenden optischen Systems, der auf der Bildebene hinreichend scharf abgebildet wird. Das bedeutet, ein Objekt kann im Bereich der Schärfentiefe bewegt werden, ohne dass sein Bild auf der Bildebene merklich unscharf wird.

Optimale Schärfe über den richtigen Arbeitsabstand

Der Abstand des Kamerasensors zum Prüfling sollte demnach immer so gewählt werden, dass im Bereich der Schärfentiefe eine möglichst deutliche Bilddarstellung realisierbar ist. Die Justierung der Objektivs des All-In-One-OC64 auf die maximale optische Schärfe erfolgt demnach über die Wahl des korrekten Arbeitsabstands zum Prüfling. Der Fokus bzw. die Blende am OC64 lässt sich vor diesem Hintergrund bewusst nicht verändern, um Sabotage oder Fehlbedienungen zu vermeiden. Außerdem kann der Kamerasensor so im Falle eines Defektes sehr schnell und damit ohne aufwendige Voreinstellungen ausgetauscht werden.

Da die Objektivs des OC64 äußerst Verzerrungsarm (2 %) sind, wird eine sehr genaue Inspektion auch am Randbereich des Bildes möglich.

Einflussfaktor Prüfling

Die Bewegungen von Prüfobjekten oder eines Kamerasensors (z. B. durch Schwingungen) können eine Bewegungsunschärfe des Abbildes zur Folge haben. Dieser Effekt wird umso größer, je länger die Belichtungszeit des Bildverarbeitungssensors eingestellt ist. Bei der Prüfung von Objekten, die sich sehr schnell bewegen, ist also die Wahl der korrekten Belichtungszeit entscheidend. Weitere Einflüsse durch den Prüfling können zudem optischer, mechanischer oder chemischer Natur sein (Abb. 7).

| Gruppe | Einflussfaktor | Mögliche Gründe für Änderung der Eigenschaften | |
|---------------------|----------------------|--|---------------------|
| Optische | Teilefarbe | geändertes Material | |
| | Muster | geändertes Werkzeug | |
| | Reflexion | | geändertes Material |
| | | | Fertigungsverfahren |
| | | | Oberflächen-Finish |
| | Transmission | | geändertes Material |
| geändertes Material | | | |
| | | | |
| Mechanische | Kantenform | neues oder verschlissenes Werkzeug | |
| | Oberflächengeometrie | neues oder verschlissenes Werkzeug | |
| | Oberflächenfehler | neues oder verschlissenes Werkzeug | |
| | Oberflächenrauheit | geänderter Werkzeugqualität | |
| | Rattermarken | verschlissenes Werkzeug | |
| | Oberflächen-Finish | anderer Lieferant | |
| | | | |
| Chemische | Rostschutz | korrodiert zu stark | |
| | Ölfilm | Korrosionsschutz | |
| | Schneidemulsion | anderes Fertigungsverfahren | |

Abb. 7: Mögliche Einflussfaktoren, die die Erfassung eines Prüfling mit einem Kamerasensor beeinflussen.

Vielfach unterschätzt: die Beleuchtung

Einer der am meisten unterschätzten Einflussfaktoren bei Bildverarbeitungssystemen ist die Beleuchtung, da u. a. deren Helligkeit und Richtung maßgeblich die Bilddarstellung und damit das Prüfergebnis beeinflussen. Da Bildverarbeitungs-Algorithmen gewissermaßen von Grauwertübergängen „leben“, kann etwa zu viel Licht die Bildinformation zerstören. Damit kein Informationsverlust durch Überbelichtung oder zu starker Sättigung entsteht, sollten die hellsten Grauwerte bei der Abbildung eines Prüflings immer ca. 10% kleiner sein, als der bei weiß erreichte Maximalwert von 255.

Wahl der richtigen Beleuchtungsfarbe

Auch die Farbe des Lichts beeinflusst die Darstellung der Oberfläche eines Prüflings, aber auch die Darstellung des Hintergrunds, auf dem sich ein Prüfobjekt befindet. Wird z. B. eine Oberfläche mit den Farben rot, grün und blau mit Rotlicht angestrahlt, wird der rote Bereich als weiße Fläche dargestellt, da hier das rote Licht am besten von der Oberfläche reflektiert wird. Entspricht die Oberflächenfarbe also der Lichtfarbe, so wird diese als helle Schwarz-/Weiß-Darstellung visualisiert. Ist die Objektfarbe indes komplementär zur Beleuchtungsfarbe, wird die Oberfläche als dunkle Schwarz-/Weiß-Darstellung abgebildet (Abb. 8). Gewisse Kenntnisse der Farbenlehre sind demnach sehr hilfreich, wenn es um die Wahl der korrekten Beleuchtungsfarbe im Sinne einer kontrastreichen Darstellung eines Objektes geht (Abb. 9).

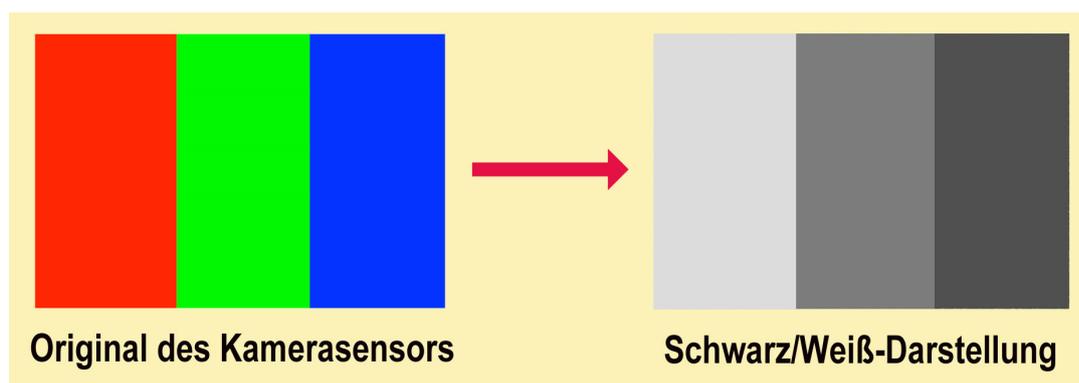


Abb. 8: Wird z. B. eine Oberfläche mit den Farben rot, grün und blau mit Rotlicht angestrahlt, wird der rote Bereich als weiße Fläche dargestellt, da hier das rote Licht am besten von der Oberfläche reflektiert wird. Ist die Objektfarbe indes komplementär zur Beleuchtungsfarbe, wird die Oberfläche als dunkle Schwarz-/Weiß-Darstellung abgebildet

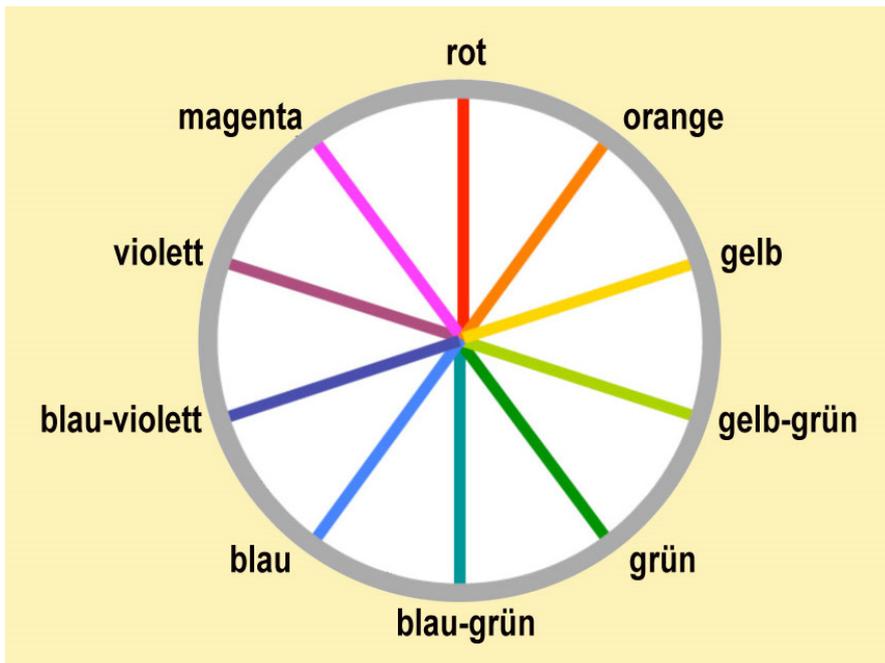


Abb. 9: Gewisse Kenntnisse der Farbenlehre können hilfreich sein. Die Abbildung zeigt einen Farbkreis indem sich die Komplementärfarben genau gegenüber stehen.

Fotometrisches Entfernungsgesetz

Um ein Prüfobjekt richtig auszuleuchten, ist zudem das sogenannte Fotometrische Entfernungsgesetz zu berücksichtigen. Es besagt, dass die Beleuchtungsstärke E (die Lichtstärke pro Flächenelement) mit dem Quadrat der Entfernung zu einer Lichtquelle abnimmt (Abb. 10). Für die Praxis bedeutet das: Je weiter die Beleuchtung von einem Prüfobjekt entfernt ist, desto heller muss die Lichtquelle sein.

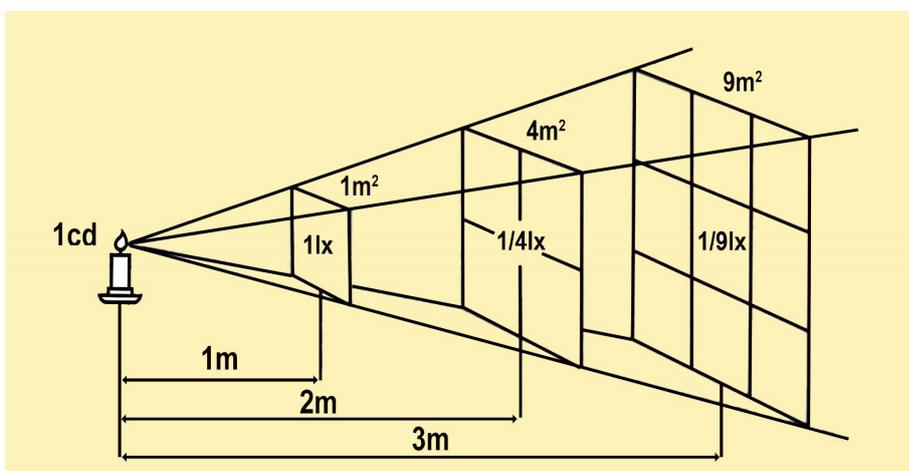


Abb. 10: Das fotometrische Entfernungsgesetz besagt, dass die Beleuchtungsstärke mit dem Quadrat der Entfernung zur Lichtquelle abnimmt.

Fazit: Beleuchtungsrichtung, Abstand, Lichtfarbe und die Helligkeit entscheiden maßgeblich über gute Kontraste und damit über zuverlässige Prüfergebnisse.

Die mittlere Helligkeit der Beleuchtung über den Prüfbereich ist beim All-In-One-Kamerasensor werkseitig voreingestellt. Die Einstellung der Bildhelligkeit erfolgt nicht über die Beleuchtungsintensität, sondern über die Belichtungszeit des Bildaufnehmers. Um den Sensor optimal an verschiedenste Applikationen anpassen zu können, stehen drei unterschiedliche Beleuchtungsfarben (rot, infrarot und blau) zur Verfügung.

Die natürliche Vignettierung – den Helligkeitsabfall im Bildbereich - kompensiert der Kamerasensor durch ein spezielles Beleuchtungsprofil aus 40 exakt ausgerichteten LED, die für ein homogen ausgeleuchteten Bildbereich sorgen. Um die schnelle Alterung der LED zu vermeiden, ist die Beleuchtung blitzbar und schaltet bei einer Übertemperatur von über +55° Celsius automatisch ab, was auch die Lebensdauer des Gesamtgeräts erhöht.

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.