

WHITEPAPER

KAMERASENSORIK TEIL 1

WAS IST BEIM EINSATZ VON

KAMERASENSOREN ZU BEACHTEN?

INHALTSVERZEICHNIS

1 Einleitung	3
2 Leistungsstarke Kombination aus Hard- und Software	3
3 Augenscheinlich überlegen?	4
3.1 Keine objektive Graustufenbewertung.....	4
3.2 Begrenzt aufmerksam und schnell ermüdet.....	5
3.3 Zuverlässig und genau	6
4 „Pixelig“ statt hochauflösend.....	6
4.1 Das perfekte Objektiv gibt es nicht	6
4.2 Möglichst scharfe Bilddarstellung	7
4.3 Optimale Schärfe über den richtigen Arbeitsabstand.....	8
5 Einflussfaktor Prüfling	8
5.1 Vielfach unterschätzt: die Beleuchtung.....	9
5.2 Wahl der richtigen Beleuchtungsfarbe.....	9
5.3 Fotometrisches Entfernungsgesetz	10

1 EINLEITUNG

Um es gleich vorweg zu nehmen: Es gibt nicht eine spezielle Branche, die für den Einsatz von bildverarbeitender Sensorik prädestiniert wäre. Vielmehr ergeben sich in nahezu jedem Industriebereich Potenziale für Kamerasensorik, wobei ein Augenmerk auf diese Technologie immer dann lohnenswert erscheint, wenn konventionelle Sensorlösungen nicht einsetzbar sind. Es mag daher nicht verwundern, dass sich der Einsatz von Kamerasensoren mittlerweile in sehr vielen Branchen durchgesetzt hat, sei es in der Automobilindustrie, der Kunststoffindustrie, der Lebensmittelindustrie oder der pharmazeutischen Industrie, um nur einige wenige Beispiele 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 leisten? 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 Geräte häufig dann, wenn ein Prüfling nicht positioniert werden kann (etwa auf einem Förderband), mehrere Merkmale an einem Objekt auf engem Raum 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). Das Portfolio an Kamerasensoren von ipf electronic besteht aus sogenannten Kompaktgeräten und Lösungen mit C-Mount-Anschluss. Zur Einführung in die Thematik bezieht sich dieses White Paper zunächst auf Monochrom-Geräte von ipf electronic.

2 LEISTUNGSSTARKE KOMBINATION AUS HARD- UND SOFTWARE

Kompaktkamerasensoren verfügen über ein durchgängig einheitliches Design in robuster Bauweise (Schutzart IP67) und integrieren sowohl die Beleuchtung als auch das Objektiv in einem Gehäuse. Die Kameras bieten verschiedene feste Brennweiten und je nach Gerät Arbeitsabstände, die von 50mm bis 300mm reichen. Für Applikationen, die indes einen variablen Arbeitsabstand oder verschiedene Abmessungen und Ausleuchtungen des Sicht- bzw. Prüffeldes erfordern, empfehlen sich zumeist Kamerasensoren mit C-Mount-Objektivanschluss. Hierzu mehr im White Paper „Kamerasensorik (Teil 2) – Neu- und Weiterentwicklungen“.

Gewissermaßen als Schnittstelle zwischen Anwender und Kamerasensor fungiert eine leistungsstarke Parametriersoftware, die es ermöglicht, bis zu 255 Prüfprogramme auf einer Kamera anzulegen und pro Programm bis zu 32 verschiedene Objektmerkmale zu prüfen. Was in der Praxis Monochrom-Kamerasensoren in Kombination mit der Parametriersoftware im Hinblick auf mitunter diffizile und von Standardsensorik zumeist nicht zu bewältigende Prüfaufgaben zu leisten vermögen, wird deutlich, wenn man einmal die Fähigkeiten solcher Geräte mit dem menschlichen Sehsinn vergleicht.

3 AUGENSCH EINLICH 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 an das Gehirn übertragen.

Die Kamerasensoren von ipf electronic verfügen über eine Auflösung von bis zu 2 Megapixel und sind als Monochrom-Geräte in der Lage, 256 Graustufen (8 Bit) zu erkennen. Die Messzeit bei hoher Auflösung beträgt durchschnittlich 50 fps (Bilder pro Sekunde); bei hoher Geschwindigkeit erreichen die Geräte eine Messzeit von bis zu 100 fps.

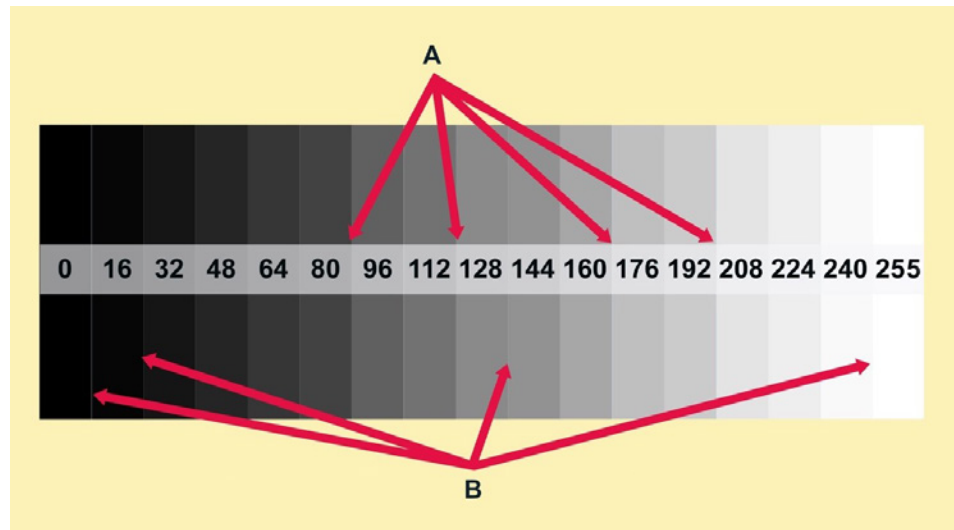


Kamerasensoren von ipf electronic: Kompaktgerät (links) und Kamerasensor mit C-Mount-Objektivanschluss.

3.1 KEINE OBJEKTIVE GRAUSTUFENBEWERTUNG

Ein menschliches Auge kann bei guten Lichtverhältnissen und hohem Konzentrationsvermögen selbst geringe Kontrastunterschiede wahrnehmen und verfügt demnach auch bei sehr geringem Kontrast über ein hohes Unterscheidungsvermögen. Diese Kontrastwahrnehmung hängt jedoch von den relativen Helligkeitsunterschieden ab, während sich die Kontrastwahrnehmung eines Kamerasensors an den absoluten Helligkeitsunterschieden orientiert.

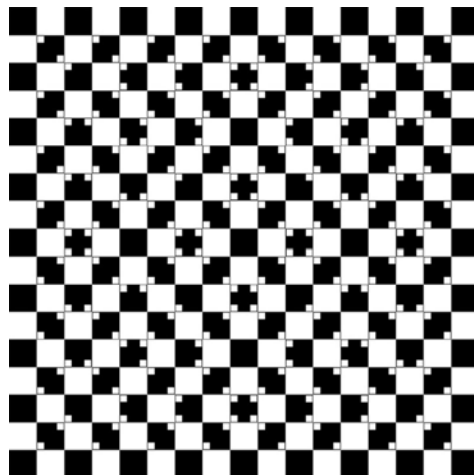
Dies führt dazu, dass der Sehsinn zwischen bestimmten Graustufen entweder große Kontraste oder kleine Kontraste wahrnimmt, obwohl die Abstufungen immer konstant sind. Eine rein objektive Bewertung der Graustufen über den Sehsinn ist demnach nicht gegeben.



Eine objektive Bewertung der Graustufen kann der Sehsinn nicht leisten. A: Für den Sehsinn große Kontraste. B: Für den Sehsinn kleine Kontraste. (Bild: ipf electronic gmbh)

3.2 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 Fehlbeurteilungen 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 menschliches Sehen mitunter irritieren lässt, wird anhand der nachfolgenden Abbildung deutlich.



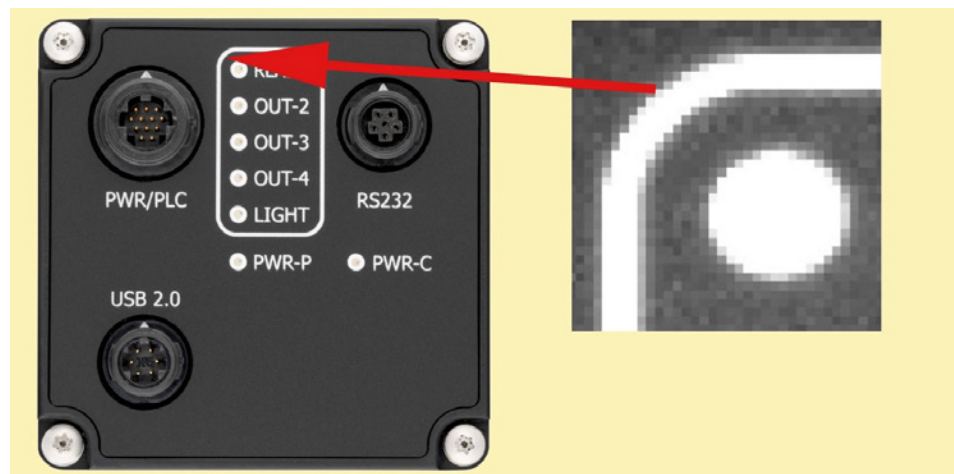
Die Linien auf diesem Muster verlaufen scheinbar nicht parallel. Diese Sinnestäuschung beruht auf den weißen Quadraten in den schwarzen Kästchen. (Quelle: Wikipedia)

3.3 ZUVERLÄSSIG UND GENAU

Die Bildverarbeitungssensorik kennt solche Effekte bzw. Beeinflussungen des menschlichen Sehens nicht, da sie schnell und genau ist, berührungslos detektiert und stets zu 100 Prozent zuverlässig, objektiv und 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. Im Vergleich zum menschlichen Sehsinn können Kamerasensoren außerdem aufgrund einer sehr schnellen Messzeit selbst Objekte, die sich sehr schnell bewegen, zuverlässig erfassen und bewerten.

4 „PIXELIG“ STATT HOCHAUFLÖSEND

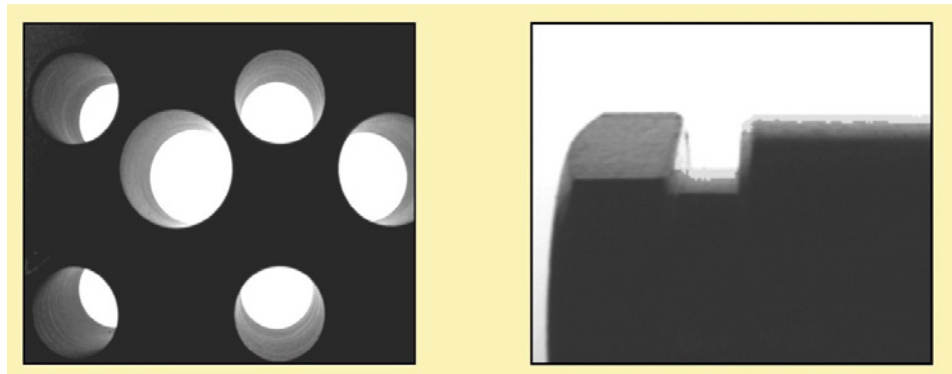
Im Bereich des Bildaufnehmers sind u.a. Aspekte wie die Empfindlichkeit, die Farbbewertung, die Belichtungszeit etc. für die sichere Erkennung von Prüfobjekten relevant. So erkennt der Bildaufnehmer einer Monochrom-Kamera die Farbe eines zu prüfenden Objektes in Graustufen. Die Pixel oder Bildpunkte sind hierbei die kleinsten Bausteine, die in Zeilen und Spalten organisiert werden (z. B. 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 demnach „pixelig“ dargestellt, so dass bei Rundungen ein sogenannter Treppeneffekt entsteht.



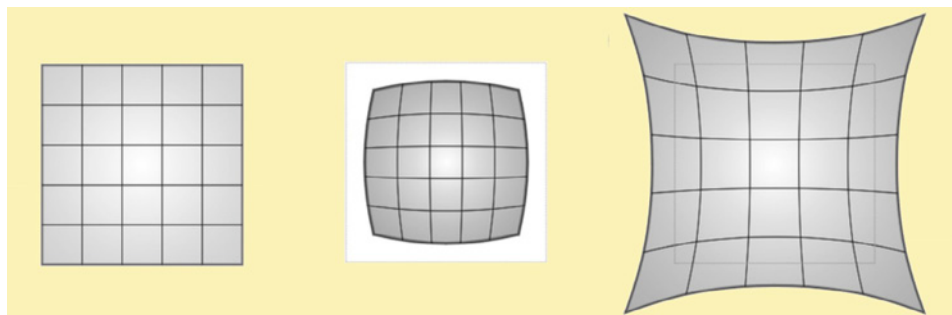
Bei Rundungen entsteht ein sogenannter Treppeneffekt, wie die Vergrößerung zeigt. (Bild: ipf electronic gmbh)

4.1 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 Messpunkte bzw. Messbereiche nicht im Zentrum der Kamera bzw. des Objektivs befinden. Dies ist in der Regel beim Einsatz von entozentrischen Objektiven der Fall. Telezentrische Objektive ermöglichen stattdessen eine verzerrungsfreie Abbildung der Prüf- oder Messmerkmale.



Die Darstellung der Objekte wird aufgrund perspektivischer Effekte verzerrt. (Bild: ipf electronic gmbh)



Verzerrung/Verzeichnung: Die Verzerrung ist abhängig vom Standort und dem Winkel eines Kamerasensors zum Objekt. Dies ist bei Objekten zu beachten, die sich an verschiedenen Stellen im Bildbereich befinden. Verzeichnungsfreie Abbildung (links), tonnenförmige Verzerrung (mitte) und kissenförmige Verzerrung (rechts). (Bild: ipf electronic gmbh)



Aufnahmen von zwei Schrauben mit einem entozentrischen Objektiv (links) und einem telezentrischen Objektiv, durch das die Konturen des Gewindes exakt und somit verzeichnungsfrei dargestellt werden.

4.2 MÖGLICHST SCHARFE BILDDARSTELLUNG

Im Zusammenhang mit einem möglichst scharfen Abbild eine Prüfobjektes sind Kenntnisse bzgl. der Schärfentiefe von Objektiven hilfreich. Nutzer von digitalen Spiegelreflexkameras kennen diesen Begriff und 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.

4.3 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 Objektive der Kompaktgeräte auf die maximale optische Schärfe erfolgt über die manuelle Fokuseinstellung am Gerät. Die Blende lässt sich nicht verändern.

5 EINFLUSSFAKTOR PRÜFLING

Die Bewegungen von Prüfbjekten 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.

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

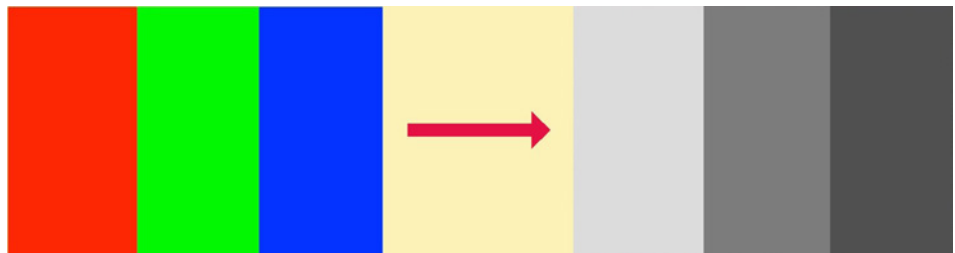
Mögliche Faktoren, die die Erfassung eines Prüflings mit einem Kamerasensor beeinflussen.

5.1 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 Prüfergebn beeinflussen. Da Bildverarbeitungs-Algorithmen bei Monochromgeräten 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. Detaillierte Informationen zu diesem Thema liefert das White Paper „Kamerasensoren (Teil 2) – Neu- und Weiterentwicklungen“.

5.2 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 im monochromen Kamerabild 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 Weiß-Darstellung visualisiert. Ist die Objektfarbe indes komplementär zur Beleuchtungsfarbe, wird die Oberfläche als dunkle Schwarz-Darstellung abgebildet. Gewisse Kenntnisse der Farbenlehre sind demnach sehr hilfreich, wenn es um die Wahl der korrekten Beleuchtungsfarbe im Sinne einer kontrastreichen Darstellung eines Objektes geht. Auch hierzu mehr im White Paper Kamerasensoren (Teil 2).



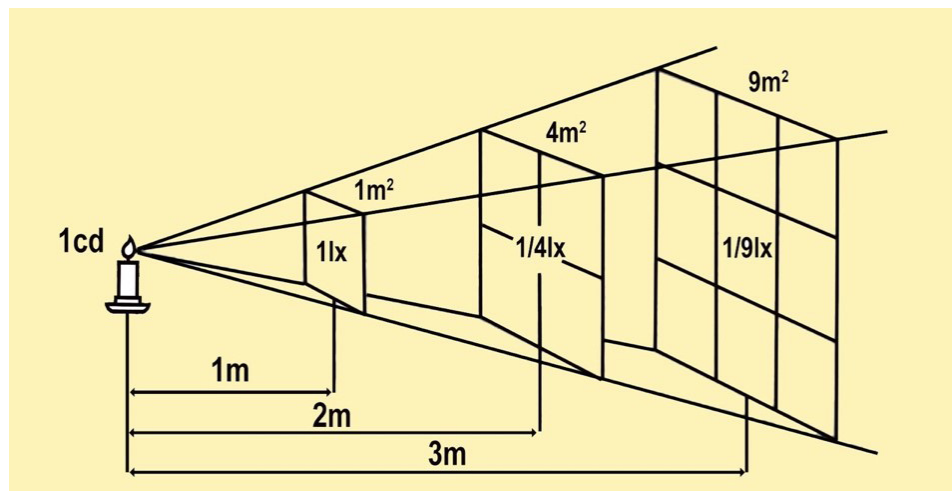
Original des Kamerasensors (links), Schwarz/Weiß-Darstellung (rechts). Wird z. B. eine Oberfläche mit den Farben rot, grün und blau mit Rotlicht angestrahlt, wird der rote Bereich als weiße Fläche dargestellt, da hier das rote Licht am besten von der Oberfläche reflektiert wird. Ist die Objektfarbe indes komplementär zur Beleuchtungsfarbe, wird die Oberfläche als dunkle Schwarz-Darstellung abgebildet. (Bild: ipf electronic gmbh)



Gewisse Kenntnisse der Farbenlehre können hilfreich sein. Die Abbildung zeigt einen Farbkreis indem sich die Komplementärfarben genau gegenüber stehen. 1 rot, 2 orange, 3 gelb, 4 gelb-grün, 5 grün, 6 blau-grün, 7 blau, 8 blau-violett, 9 violett, 10 magenta. (Bild: ipf electronic gmbh)

5.3 FOTOMETRISCHES ENTFERNUNGSGESETZ

Um geringe Fremdlichteinflüsse auf das Kamerasystem zu erreichen, ist indes ein helles und konstantes Licht der Beleuchtung notwendig. Salopp formuliert, könnte man sagen: je intensiver das Kunstlicht, um so größer die Fremdlichtunempfindlichkeit. Um ein Prüfobjekt intensiv auszuleuchten, ist 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. Für die Praxis bedeutet das: Je weiter die Beleuchtung von einem Prüfobjekt entfernt ist, desto heller muss die Lichtquelle sein.



Die Beleuchtungsstärke nimmt mit dem Quadrat der Entfernung zur Lichtquelle ab. (Bild: ipf electronic gmbh)

© 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: September 2024