Wie kann man moderne CMOS-Kameras vergleichen?

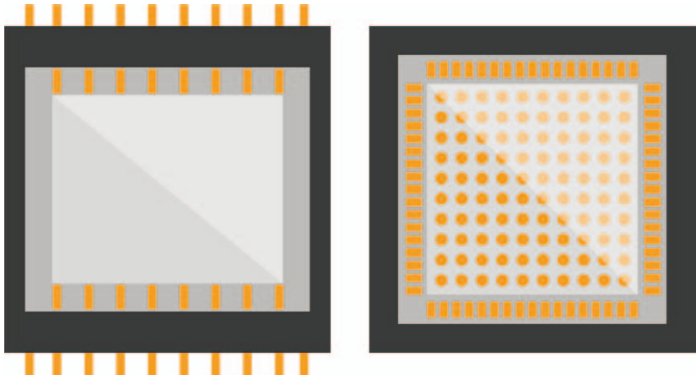

Bild 1: links - PIN OUT älterer 2 MP CCD-Sensor (20 Pins), rechts - PIN OUT neuer 2 MP CMOS-Sensor

Immer mehr Industriekameras verwenden moderne CMOS-Sensoren. Doch wo liegen die Unterschiede? Ist die Performance zweier Kameratypen gleich, wenn sie den gleichen CMOS-Sensor enthalten? In den Datenblättern einer Kamera steht der verwendete Sensor meist an einer der obersten Positionen. Doch gibt es deutliche Unterschiede z.B. in der Bildqualität, bei den Schnittstellen, und den Firmware Features. Dieses White Paper soll helfen, die „Spreu vom Weizen" zu trennen und gleichzeitig die Aspekte zu beleuchten, die für die Auswahl der passenden Kamera wichtig sind.

Neue CMOS-Sensoren und Integrationsunterschiede für den Kamerahersteller

Seit 2014 gibt es immer mehr CMOS-Sensoren. Dieser Trend hat auch im Bereich der Industriekameras eine Entwicklung in Gang gesetzt: Die neuen CMOS-Sensoren sind besser als viele ihrer Vorgänger, was Geschwindigkeit, Bildqualität und das Preis-Leistungs-Verhältnis betrifft und ermöglichen einen Performance-Schub.

Doch erst einmal müssen die Sensoren in die neuen Kameras der Hersteller integriert werden. In vielen Fällen werden neue Kameras um die Sensoren herum entwickelt. Bei dieser sogenannten Sensorintegration gibt es gravierende Unterschiede, die für den Anwender beim Testen von Kameras sofort sichtbar werden. Es gibt also „gute" und „schlechte" Sensorintegrationen.

Was zeichnet eine gute CMOS-Sensorintegration aus?

Auch wenn es bei neuen CMOS-Sensoren vermeintlich einfachere Ansteuerungs- und Verarbeitungsmöglichkeiten gibt als bei CCD-Sensoren, so gilt es für eine wirklich „gute" Integration doch einiges für den Kamerahersteller zu beachten:

Optimierung der Bildqualität

Das Fix Pattern Noise (Schachbrett oder Streifen), soll nicht sichtbar sein ebenso wenig wie Defektpixel, Defektpixelcluster oder blinkende Pixel. Dies erfordert Maßnahmen, die eine gewisse Leistungsfähigkeit der Kamerahardware voraussetzen, um zum Beispiel Shading-Algorithmen automatisch in der Firmware zu hinterlegen. Ein Ziel ist dabei, dass die Echtzeit des Bildeinzugs erhalten bleibt. Hierfür sind beispielsweise RAM- und FPGA-Kombinationen sehr vorteilhaft. So bekommt der Anwender keine Hardware-Last auf seinem PC oder seinen Embedded-Komponenten. In vielen Fällen wird nämlich deren Rechenlast für die eigentliche Bildverarbeitung (das Analysieren) komplett ausgenutzt. Für die Vorverarbeitung sind viele Kunden nicht bereit nochmal Software und Rechenpower zu investieren.

Der Sensor muss robust und sicher in der Hardware eingebaut werden. Über die Lebenszeit der Kamera sollen stabil Bilder geliefert werden. Dies erfordert bereits bei der Fertigung der Kamerahardware Maßnahmen, die die Robustheit verbessern. Schließlich soll die Kamera mehrere Jahre „leben" und muss dazu Stress wie z.B. Temperaturzyklen oder mechanischen Belastungen wie Vibration standhalten.

Neue CMOS-Sensoren erfordern hierbei eine deutlich sorgfältigere Vorgehensweise. Grund dafür sind gestiegene Sensorgrößen (>2/3 Zoll), höhere Auflösungen und Geschwindigkeiten. Dies führt zu einer größeren Anzahl von zu kontaktierenden Pins mit kleineren Abständen und damit zu einem anspruchsvollen Produktionsprozess für die Verlötung/Verklebung des Sensors auf der Platine. Alte CCD oder ältere CMOS-Sensoren weisen eine kleinere Pinzahl mit größeren Abständen auf. Der Produktionsprozess war also leichter.

Ansteuerung harmonisieren

Jeder Sensorhersteller und teilweise jeder Sensortyp verwendet unterschiedliche Register-Settings, die angesteuert werden müssen, um beispielsweise Belichtungszeiten einzustellen oder AOIs (Areas of

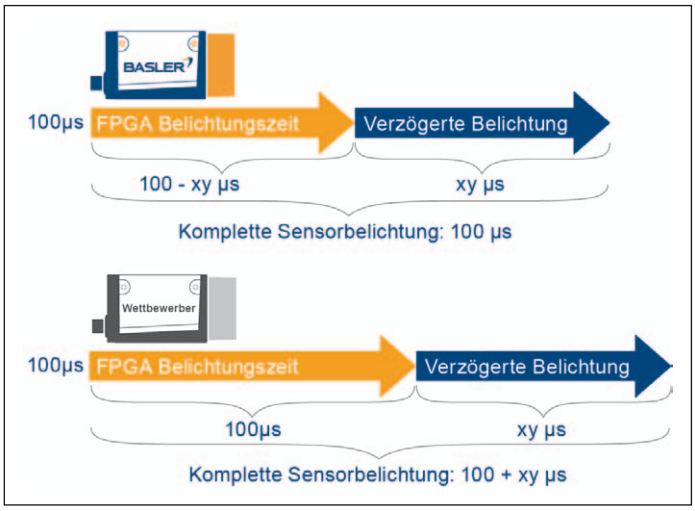

Bild 2: Belichtungszeit: Vergleich zwischen Basler Kamera und Kamera eines Wettbewerbers

Autor:

Autor: René von Fintel, Head of Product Market Management bei Basler

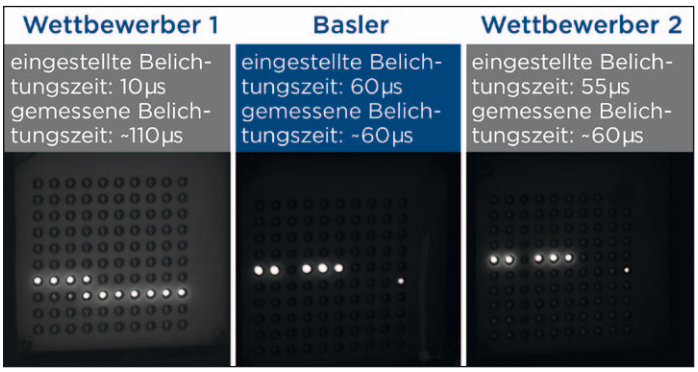

Bild 3: Detaillierte Analyse mit Chase Light (wird zur Ermittlung der richtigen Belichtungszeit benötigt)

Interest) zu setzen. Die Anzahl dieser Register-Settings kann in die Hunderte oder sogar Tausende gehen. Der Endanwender einer Kamera möchte hingegen ein standardisiertes Verhalten, was über Kameramodelle hinweg gleich und so einfach wie möglich sein soll. Dies erfordert für den Kamerahersteller viel Integrationsarbeit, damit die Firmware auf die jeweiligen Sensoren angepasst werden kann.

Sehr wichtig ist dabei auch die folgende Philosophie, derer sich Basler annimmt: „You get is what you set". Das heißt zum Beispiel, dass wenn der Endanwender in seiner Applikation eine Belichtungszeit an der Kamera einstellt, auch genau diese Belichtungszeit beim Sensor wirksam werden soll und mit dieser Zeit ein Bild aufgenommen werden soll. Alles andere führt zu verfälschten Ergebnissen. Lässt sich z.B. eine Zeit von 100 s in der Kamera API einstellen, dann sollte in der Realität keine Belichtungszeit von 100 s + × auf den Sensor angewendet werden. Bei einigen „falschen" Integrationen im Markt ist aber genau das der Fall. Der Endanwender bekommt dieses Verhalten unter Umständen nur durch sehr viel Testen mit.

Ein zweiter Punkt ist auch wichtig: Wenn die Einstellung in der Applikation wirksam wird, soll sie sich auch auf das nächste zu erzeugende Bild beziehen und nicht erst nach mehreren Bildern wirksam werden. Gerade günstige Rolling-Shutter-Sensoren haben hier ein Verhalten, dass mit einigem Aufwand in der Firmware der Kamera verbessert werden kann.

Sicherstellung der Qualität

Eine weitere Integrationsaufgabe für den Kamerahersteller ist es, aus der gelieferten „Roh-Sensorqualität" eine stabile Qualität der Kamera sicherzustellen. Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die wichtigsten Qualitätsprobleme, die auftreten können und wie sie gelöst werden können. Da sich diese Qualitätsprobleme zum Teil nur im geringen Grauwertbereich oder im kleinsten m-Bereich auswirken, stellt die Feststellung und Fehlervermeidung eine sehr hohe Anforderung an die Testtools des Kameraherstellers.

Natürlich ist der Endanwender nicht immer bereit Geld für bessere Qualität zu zahlen. Eine Separierung der Fertigung in verschiedene Produkt-Linien mit unterschiedlichen Qualitätsstandards ist deshalb eine Lösung, die größere Kamerahersteller anbieten können.

Vergleich von CMOS-Kameras mit gleichem Sensor

Im White Paper „Kameraauswahl – wie finde ich die richtige Kamera für (m)ein Bildverarbeitungssystem?" werden grundsätzliche Aspekte beschrieben, die bei der Auswahl der Kamera (z.B. Flächen– oder Zeilenkamera) zu beachten sind. Was aber tun, wenn der Sensor mehr oder weniger feststeht, der für die Applikation benötigt wird? Es gibt bei vielen Sensoren eine Flut an verschiedenen Kameras und Herstellern.

Die nachfolgenden Aspekte sollen Anwendern, Ingenieuren und Projektteams helfen, die richtige Entscheidung bei der Auswahl der Kamera zu treffen. Diese Entscheidung kann natürlich je nach Applikation und Anforderungskatalog unterschiedlich ausfallen.

EMVA-Daten sind für die Praxis nicht immer aussagekräftig genug

Eine der wichtigsten Informationsquellen über die Performance einer Kamera sind die EMVA-Werte. Diese beschreiben die wesentlichen physikalischen Eigenschaften des verwendeten Sensors (QE → Empfindlichkeit; SNR → Rauschanfälligkeit; Dynamic Range → Dynamikumfang zwischen hell und dunkel). Allerdings geben EMVA-Daten nicht immer Hinweise auf Probleme, die sich aus dem Sensor-Design ergeben können: Ein Beispiel hierfür ist die Shutter-Line. Interessanterweise fallen dem menschlichen Auge solche Bildartefakte sofort auf, während EMVA-Werte davon unberührt bleiben. Ein anderes Beispiel sind zeitlich unterschiedlich auftretende Probleme, wie Defektpixel oder blinkende Pixel.

Die Vergleichsbilder zeigen, dass massive Unterschiede im Fixed Pattern Noise existieren können. Das Fixed Pattern Noise lässt sich in Bildern sehr deutlich sehen, aber auch in EMVA-Daten durch die Werte DSNU (Dark Signal Non Uniformity) und PRNU (Photo Responsive Non uniformity) messen. Im Wesentlichen ist dies so genanntes „Spatial Noise" (räumliches Rauschen), was schon einen guten Hinweis auf eine „schlechte Sensorintegration" geben kann. Je geringer die PRNU- und DSNU-Werte, desto besser wurde die Integration des Sensors gelöst.

Für den Anwender ist es daher extrem wichtig die Kamera gut und idealerweise sehr applikationsnah zu testen. Nicht jede Algorithmik reagiert gleich empfindlich auf Bildqualitäts-Probleme. Alles in allem ist es gut, sich auf einen Standard bei der Bildqualität verlassen zu können, den meist nur größere Markenhersteller bieten. Dies spart Testzeit und langwieriges Optimieren in der eigenen Applikation.

Aufbau der Kamera: Baugröße, Temperaturentwicklung, Hardwareperformance

Für die Entscheidung und den Vergleich von Kameras ist auch die Hardware sehr wichtig. Vorrangig wären dies die Baugröße außen, die verwendete Hardware innen und ihre Reaktion auf Umwelteinflüsse, insbesondere der Temperatur.

Gleiche Sensoren finden sich in ganz unterschiedlichen Kameraformaten wieder. Während sich für Sensorgröße bis 2/3" ein C-Mount und ein Formfaktor von 29 × 29 im klassischen Machine Vision Markt durchgesetzt hat, gibt es bei kleineren (vor allem Rolling Shutter CMOS) Sensoren kleinere Baugrößen oder sogar Boardlevel-Varianten. Kleine Baugrößen bringen mehr Flexibilität, um Platz im System zu sparen. Da aber auch Stromverbrauch und

Qualitätsaspekt	Aufgrund welches Sensorproblems?	Lösung durch Kamerahersteller	Kostenauswirkung
Sichtbare tote Pixel	Defekte Pixel oder Defektpixelcluster	Defekt-Pixelkorrektur (Interpolation)	höhere Fertigungszeit
Gut abgegrenzte dunkle Flecken im Bild*	Glasdefekte oder Schmutz unter Deckglas	Aussortierung	höherer Ausschuss
Unschärfe zu den Ecken*	Tilt (Sensor-Chip relativ zum Sensor-Gehäuse)	Tilt-Korrektur	höhere Fertigungszeit und/ oder Hardwarekosten
Schmierige dunkle Flecken im Bild*	Festsitzender Schmutz auf dem Sensor	Sensor reinigen	höhere Fertigungszeit und/ oder Ausschuss

* Hinweis: Solche Erscheinungen können in der Endanwendung auch durch das Objektiv hervorgerufen werden.

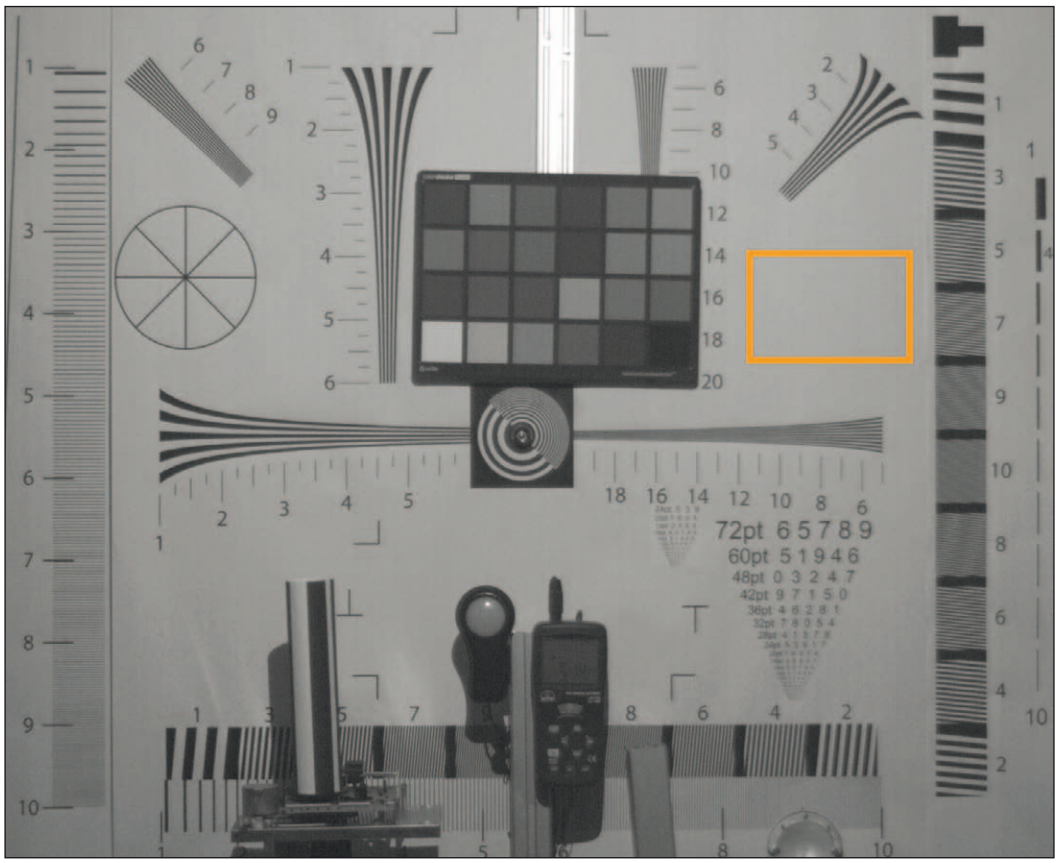

Bild 4: Testchart des Super-Low-Light Tests. Der orangefarbene Kasten zeigt die folgenden Ausschnittsvergrößerungen

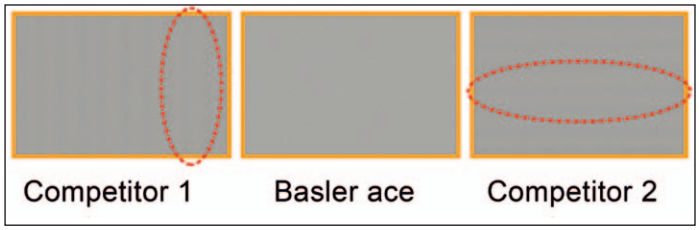

Bild 5: Ausschnittsvergrößerung des Testcharts – Rauschverhalten der einzelnen Kameras in mit 1,0 Lux beleuchteter Umgebung

Wärmeentwicklung (weil für die Wärmeabgabe eine große Oberfläche eher von Vorteil ist) beachtet werden müssen, findet sich meist ein Optimum in der Mitte.

Haptik

Während in typischen Fabrikautomatisierungs-Anwendungen eher dieses Optimum wichtig ist, gibt es zum Teil Anwendungen aus anderen Bereichen, wie Medizintechnik, wo das Gehäuse noch andere Eigenschaften aufweisen sollte. So trifft zum Beispiel eine gute Haptik und ansprechendes Design bei sichtbaren Kameras, wie es in der Mikroskopie der Fall ist, eher die Kundenbedürfnisse.

Bei der verarbeiteten Hardware in der Kamera kommen viele nicht sichtbare Eigenschaften zum Tragen, die bei Vergleichen von verschiedenen Kameras mit gleichem Sensor beachtet werden sollten. Dies fängt bei dem eingesetzten FPGA an (FPGAS und zum Teil DSPs stellen den Kern für viele Kamera-Konzepte dar). Ein leistungsfähiges FPGA in Verbindung mit einer effizienten Firmware ermöglicht viele Firmware-Funktionen (vor allem Bildverbesserungen) in der Kamera, die nicht auf dem PC / Processing Board gerechnet werden müssen. Des Weiteren ist auch ein kamerainternes RAM von Vorteil, um Bilder zwischen zu speichern und die Datenstabilität damit zu erhöhen oder aber auch Features, wie einen Burst-Mode zu ermöglichen.

Höhere Frameraten

Neuere CMOS-Sensoren laufen mit deutlich höheren Frameraten als ältere CMOS-Sensoren oder CCD-Sensoren. Neben dem Performancegewinn führt dies aber auch zu einem höheren Stromverbrauch und damit erhöhter Wärmeentwicklung innerhalb der Kamera. Eine höhere Eigentemperatur der Kamera kann in verschiedenen Applikationen ein Problem darstellen oder sich negativ auf die Bildqualität auswirken. Wenn man nun Temperaturvergleiche zwischen Kameras durchführen will, sollte man unbedingt darauf achten, dass bei genau gleichen Bildraten und Bildqualitäten gemessen wird. Das Kameradesign spielt eine große Rolle in Bezug auf die Ableitung entstehender Wärme. Eine gute Wärmeableitung ist wichtig, damit sich durch erhöhte Temperatur nicht das Bildrauschen erhöht oder gar Bauteile geschädigt werden. Man erkennt Unterschiede im thermischen Design von Kameras bei Temperaturvergleichen zwischen Kamera-Kern und dem Außen-Gehäuse. Zusätzlich sollte die Kamera so (mit benachbarter Geometrie und Objektiv) montiert sein, wie später in der Anwendung. Weitere Informationen hierzu finden Sie auch in der Application Note „How to Monitor the Camera Housing Temperature of Basler ace USB3 and GigE Vision Cameras". Eine Messung „auf dem Tisch" eignet sich nicht, da sich so nicht die Wärmeflüsse wie in der Anwendung einstellen.

Prüfung auf hilfreiche Firmware-Funktionen und Datenübertragungsstabilität

Wesentliche Unterschiede zwischen Kameras mit dem gleichen Sensor resultieren auch aus der Firmware und der Software. Zum einen wäre hier die Standard-Kompatibilität mit GenICam genannt („Ansprechen" der Kamera) sowie die Kompatibilität mit den Interfacestandards wie GigEVision und USB3 Vision. Diese Standards definieren prinzipiell die Kommunikationswege und Schnittstellen.

Standardkonformität sorgt für einen geringen Integrationsaufwand und garantiert eine gewisse Qualität in

Bild 6: Kamera-Aufbau - Performance durch FPGA und RAM

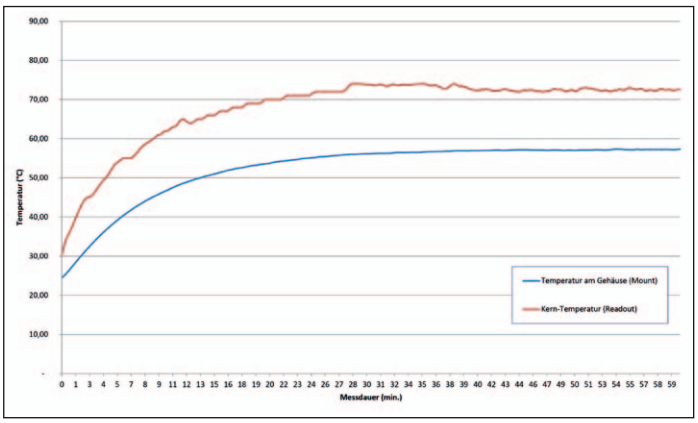

Bild 7: Temperaturtest ohne Montage mit Wärmeabfuhr und Objektiv „auf dem Tisch"

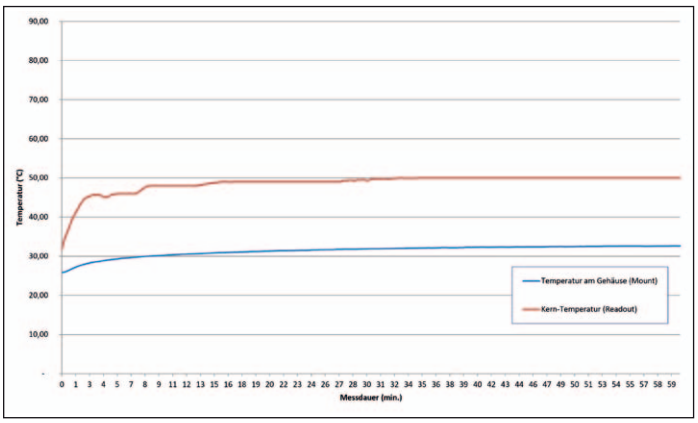

Bild 8: Gleiche Messung mit Montage mit Wärmeabfuhr und Objektiv

der Datenübertragung. Nichtsdestotrotz kann jede Kamera, trotz Standard, unterschiedlich bezüglich der Leistungsfähigkeit der Firmware und der dazugehörigen Software sein. Eine ausgereifte Software- und Treiberumgebung für die Ansteuerung der Kameras und etablierte Programmierumgebung (inkl. Kompatibilitäten mit verschiedenen Betriebssystem oder Programmiersprachen) kann nicht jeder Kamerahersteller bieten. Sie sind aber ein Muss für jedes größere Design-In.

Beim Thema Datenstabilittät hilft zusätzlich eine Kamera-Firmware mit Frame Buffer enorm, gerade bei höheren Bandbreiten/ Frameraten. Zusätzlich zu dem Grundbedürfnis der Datenstabiltität gibt es eine ganze Menge standardisierter oder proprietäre Features, die die Performance des Vision Systems steigern können, manche holen aus ein und demselben Sensor ein deutlich besseres Ergebnis heraus. Im Folgenden stellen wir drei Beispiele anhand der Basler ace Kamera vor.

Beispiel 1: Precision Time Protocol (PTP) mit neuem GigE Vision Standard

Der neue GigE Vision 2.0-Standard bringt eine Funktion mit sich, die es ermöglicht über ein und dasselbe GigE-Kabel nahezu in Echtzeit die Kamera zu triggern (ohne separate Kabel für die üblichen Hardware I/Os). Dies geschieht über das PTP. Dieses Protokoll ermöglicht das Setzen von zeitgesteuerten Kommandos, die exakt zum gleichen Zeitpunkt ausgeführt werden. Der Versatz (und damit die Echtzeitfähigkeit) ist so gering, dass sie teilweise nah am Nanosekundenbereich liegt.

Diese PTP-Funktion ist hilfreich für Anwendungen, die Objekte mit mehreren Kameras aus verschiedenen Perspektiven aufnehmen (Beispiel 3D-Vermessung) und deutliche Vorteile in Komplexität und Kosten für die Verkabelung damit haben.

Beispiel 2: Sequencer Feature

Die Sequencer-Funktion ist eine Funktion, die es ermöglicht, in sehr kurzer Zeit unterschiedliche Kamera-Einstellungen für die Bildaufnahme wirksam werden zu lassen. So können vorprogrammierte Bildsequenzen von der Kamera aufgenommen werden, die gerade bei schnellen CMOS-Sensoren mit sehr schnellen Wechseln der Bildeinstellungen ausgeführt werden. Mit der Belichtungszeit und dem Gain kann man so den Kontrast enorm erhöhen.

Ein anderer Anwendungsfall wäre bei Farbkontrast und der Verwendung verschiedener Beleuchtungsfarbspektren. Zusammen mit dem Sequencer könnte man daraus die verschiedenen Farbinformationen gewinnen. Der Sequencer ist sehr hilfreich, wenn in kurzer Zeit verschiedene Eigenschaften des Objektes betont werden müssen. Beispiele könnten hier Verkehrsüberwachungen, Glasinspektionssystem oder Laborautomationssysteme sein. Mit dem Sequencer könnten zum Beispiel in der Endapplikation mit der richtigen Software sehr einfach HDR-Bilder zusammengefügt werden.

Beispiel 3: PGI Featureset

PGI ist ein Featureset, das die volle Leistungsfähigkeit der FPGA-Kapazität der Kameras ausnutzt und nicht auf Kosten der CPU-Last des Vision System Rechners geht. PGI besteht aus vier wesentlichen Komponenten, die bei Farbkameras enorme Verbesserungen bringen: 5x5 Debayering für sehr gute Farbechtheit, Antialiasing um bei Linienverläufen Farbsäume zu verhindern, Sharpness zur Schärfeverbesserung sowie De-Noising, um das Rauschverhalten deutlich zu verbessern.

Dies ist sehr hilfreich bei Applikationen, die eine gute Farbechtheit erfordern (Medizin), die genaue Konturen benötigen (Code- oder Number Plate Reading) oder bei denen Schärfe in Kombination mit Farberkennung eine große Rolle spielt (Bauteilerkennung und Platzierungsposition im Bereich Elektronikboardbestückung). Bild 11 am Schluss zeigt, welche Optimierungen durch PGI möglich sind:

Preisunterschiede trotz gleichem Sensor

Auch wenn ein und derselbe CMOS-Sensor zum Einsatz kommt, gibt es zwischen verschiedenen Kameras gewaltige Preisunterschiede. Der Preis der Kamera sollte im Verhältnis zu den Gesamtkosten des Vision-Systems passen: Die Statistik des Jahres 2015

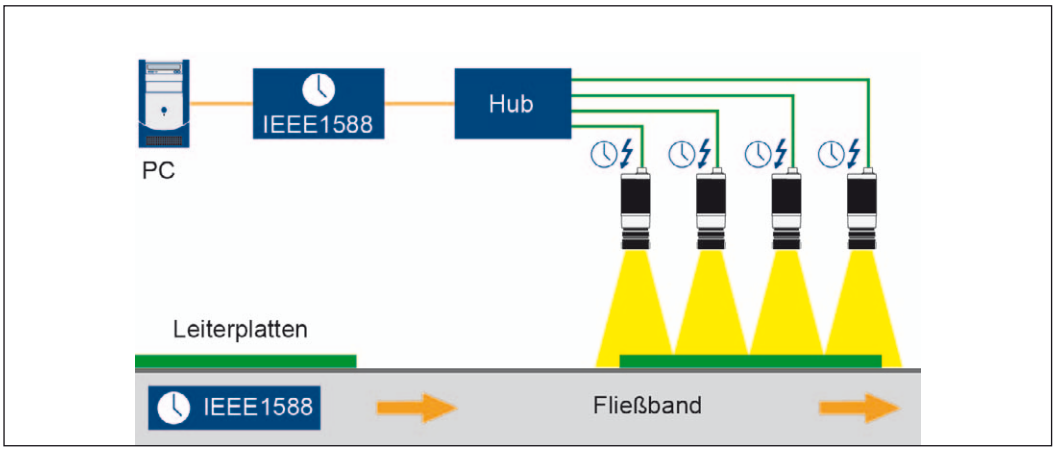

Bild 9: Echtzeitfähigkeit von GigE-Kameras mittels PTP

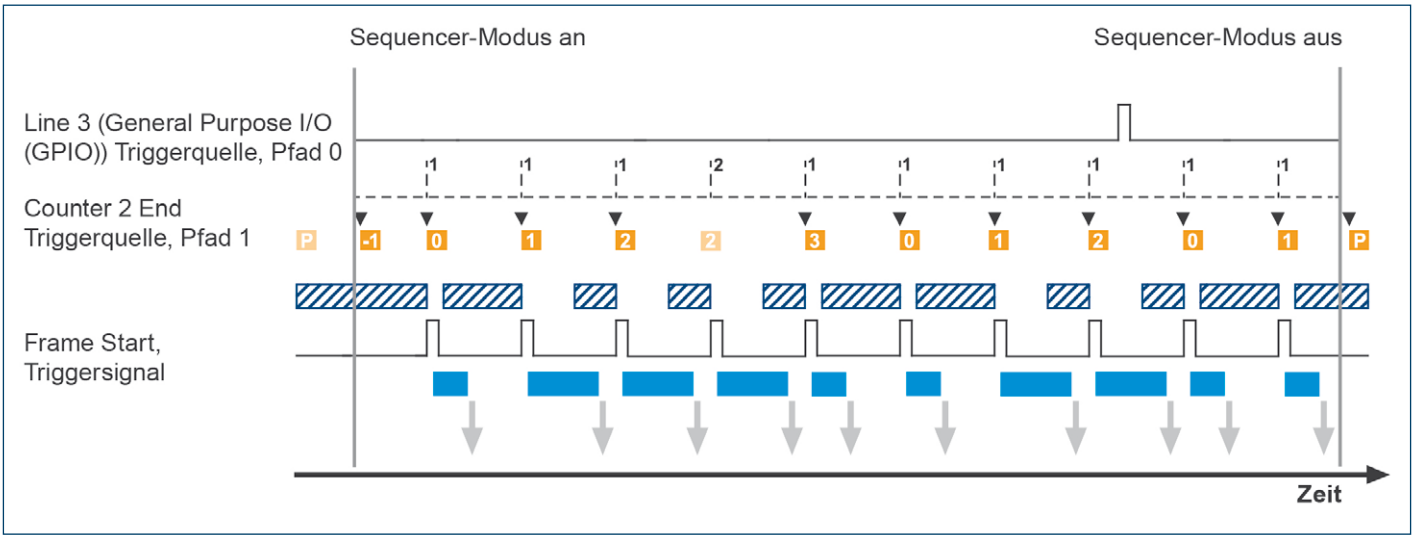

Bild 10: Ausführung Sequencer mit unterschiedlichen Belichtungszeiten (blau)

sagt, dass der Anteil der Kamera an den Gesamtkosten (PC, Objektiv, Kabel und Beleuchtung) im Schnitt ca. 25% waren.

Größere Kamera-Hersteller können durch ihre hohen Stückzahlen Einkaufspreise besser verhandeln oder ihre Produktionsmethoden deutlich effizienter gestalten und damit bessere Preise ermöglichen. Nun kommt es natürlich auch auf die vorher erwähnten Punkte an. Manchmal lohnt es sich, mehr Geld für die Kamera auszugeben, beispielsweise wenn sich durch Firmware-Funktionen PC-Hardwarekosten einsparen lassen oder weniger intensive (und damit günstigere) Beleuchtung eingesetzt werden kann. Auch eine bessere Qualität bei mechanischer Robustheit und Datenstabilität kann zwar bei der Beschaffung leicht teurer ausfallen, im Nachhinein aber viel Geld sparen, wenn weniger Ausfälle vorliegen oder weniger Probleme "im Feld" behoben werden müssen.

Kameraauswahl heißt Entscheidung für einen langfristigen „Partner"

Die Entscheidung für eine Kamera im System heißt meist, sich für Jahre im Design auf einen Partner einzulassen. Nicht selten sind Kameras aufgrund des Integrationsaufwandes dann eine „Single Source" Komponente. Dabei kann es sich nicht nur im Bereich Kosten lohnen, mit einem großen und etablierten Kamerahersteller zusammenzuarbeiten. Weitere Aspekte sich für eine „Marke" zu entscheiden, sind auch die Lieferfähigkeit oder Qualitätsaspekte. Die Lieferfähigkeit wird heutzutage immer wichtiger, wo Schlagwörter wie Kapitalbindung, Bestandsminimierung oder just-in-time Lieferung im Fokus stehen, um „Verschwendung" im Bereich der Supply Chain zu minimieren. Allerdings können längst nicht alle Industriekamerahersteller auf diese Herausforderung Antworten geben: Kurze Lieferzeiten, volatile Bestellmengen oder schnelle Großprojekt-Bedienung müssen gut geplant werden und in der Unternehmensorganisation verankert sein. Dies sollte auf jeden Fall im Auswahlpozess für einen Hersteller berücksichtigt werden.

Ähnliches gilt für die Qualitätsaspekte. Größe und Etablierung einer Marke am Markt sprechen meistens dafür, dass solch ein Hersteller Qualität „managet" um Ausfallquoten im Produktionsprozess als auch auf Kundenseiten zu minimieren. Dazu gehören Beschwerdeprozesse und kontinuierliche Fehler-Analyse. Tests für jede Kamera, die den Warenausgang passiert sind dabei essentiell, um Qualität zu sichern. Unter anderem wichtig sind dabei vor allem die Sensorbezogenen Bildqualitätstest (EMVA-Tests, Schmutz etc.), die für die Endanwendung wichtig sind. Viele Bauteile unterliegen einer Chargenschwankung (gerade der CMOS-Sensor an sich) und nur durch Tests kann eine kontinuierliche stabile Qualität sichergestellt werden.

Lohnt sich eigentlich eine „Eigenintegration"?

Zu guter Letzt sei hier noch ein Thema angerissen. Eventuell denken Entwicklungsteams, die mit Vision-Integration zu tun haben auch über eine Eigenintegration nach und möchten eine eigene Kamera entwickeln. Oder sie möchten die Sensoren direkt auf Boards verlöten und dann ansteuern. Dies macht in der Regel erst bei sehr großen Stückzahlen Sinn. Trotzdem kann es selbst dann noch sein, dass die Aufwände sich nicht amortisieren. Außerdem sind solche Anlagen von diesen Sensoren auch sehr lange abhängig, da eine neue Integration wieder zu vielen Veränderungen führt. Ein Problem, dass bei standardkonformen Industriekameras stark minimiert ist. Sollte die „Eigenintegration" aus der Überlegung zum Platzsparen heraus resultieren, so gibt es heute schon Board-level-Kameras die auch mit einem Flachbandkabel und LVDS-Schnittstellen ausgestattet sind. Sie sind leicht zu integrieren und sind trotzdem gut zu kontrollieren.

Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass sich trotz gleichem CMOS-Sensortyp enorme Unterschiede zwischen Kameramodellen und Kameraherstellern ergeben. Wie der Sensor integriert wurde ist dabei von vielen Facetten geprägt. Es ist für Projektteams, einzelne Ingenieure oder Einkäufer sehr wichtig einen Vergleich durchzuführen und dabei die für sie wichtigen Aspekte zu berücksichtigen.

■ *Basler AG*
www.baslerweb.com

Bild 11: Vergleich Originalbild mit optimiertem Bild