

Optik einmal nicht von der Stange

Kundenspezifische Objektive für Megapixel-Bildsensoren

SLR-Kameras mit riesigen Pixelzahlen sind im Konsumentenbereich schon seit langem gang und gäbe. Mit dem Einzug von 5- bzw. 10-Megapixel-Bildsensoren in industriellen Kameras fand auch hier ein Paradigmenwechsel statt. War früher noch die Pixelzahl des Sensors der begrenzende Faktor, ist es heute oft die Auflösung des Objektivs. Dies hat weitreichende Konsequenzen für die Objektivauswahl.



Häufig ist es ambitionierten Nutzern digitaler Kamerasysteme nicht bewusst, dass es nur wenige Objektive auf dem Markt gibt, die 5- oder 10-Megapixel-Bildsensoren auflösen können. Dass es auf das richtige Verhältnis von Objektiv-

auflösung und Pixelgröße des Sensors ankommt, wird oft übersehen.

Die Unterschiede bei den Einzelpixelgrößen zwischen Halbformat- bzw. Vollformat-Bildsensoren in SLR-Kameras und industriellen Kameras mit Sen-

sorgrößen von 2/3“, 1/2.5“ (beide 5-Megapixel) oder 1/2.3“ (10-Megapixel) sind bemerkenswert. So erreichen die sog. Pixelriesen in den SLR-Kameras Pixelgrößen zwischen 7 μ und 5 μ . Auf der um ein Vielfaches kleineren Sensorfläche von industriellen Kameras ist ebenfalls eine große Zahl von Pixeln verteilt. Die Einzelpixel müssen hier also zwangsläufig kleiner sein. Mit Größen von nur 3,45 μ oder 2,2 μ (5-Megapixel-Bildsensor) bzw. 1,67 μ (10-Megapixel-Bildsensor) sind sie sogar drastisch kleiner. Diese Größenunterschiede sind von großer Bedeutung für die Bildaufnahme im Allgemeinen und für das Objektiv im Besonderen.

Zusammengefasst gilt:

- Je größer die Pixelfläche, desto mehr Licht kann in ihr gespeichert werden, und desto größer ist die Full-Well-Kapazität (Anzahl der Elektronen bis zur Sättigung). 5,5 μ große Pixel können ca. 20.000 Elektronen und 7 μ große Pixel ca. 40.000 Elektronen speichern. Bei einer Pixelgröße von 2,2 μ sind es dagegen nur noch etwa 3.000 Elektronen. Je größer die Full-Well-Kapazität ist, desto besser ist das Signal-Rausch-Verhältnis. So steigt das Rauschen, bei einer angenommenen Gaußverteilung von 7 μ zu 2,2 μ Pixelgröße, fast um das Vierfache an.
- Je kleiner das Pixel, desto geringer die Dynamik des Sensors.
- Je kleiner das Pixel, desto mehr Licht wird pro Zeiteinheit benötigt.
- Je kleiner das Pixel, desto hochauflösender muss das Objektiv sein.

5-Megapixel – für welchen Sensor?

Für welchen Bildsensor 5-Megapixel-Objektive gerechnet wurden, geht oft nur aus dem Kleingedruckten der Spezifikation hervor. Heißt es dort z.B. „gerechnet für 2/3“ Sensoren“, bedeutet dies, dass ein derartiges Objektiv einen 5-Megapixel 2/3“ CCD-Bildsensor mit 3,45 μ großen Pixeln auflösen kann, aber nicht mehr einen 1/2.5“ CMOS 5-Megapixel-Sensor mit 2,2 μ Pixelgröße. Wer bei der Wahl des Objektivs nur die Angabe der Pixelzahl 5-Megapixel oder 10-Megapixel beach-

Effektive Blendenzahl	Durchmesser des Beugungsscheibchens in μ m			
	Blau 470 nm	Grün 530 nm	Rot 650 nm	Infrarot 890 nm
2	2,3	2,6	3,2	4,3
2,8	3,2	3,6	4,5	6,1
4	4,6	5,2	6,4	8,7
5,6	6,4	7,2	9,0	12,2
8	9,2	10,3	12,9	17,4
11	12,6	14,2	17,7	23,9
16	18,3	20,7	25,8	34,7
22	25,2	28,5	35,4	47,8

Beugungsdurchmesser = $2 \cdot 1,22 \cdot \kappa \cdot \lambda$
 κ = effektive Blendenzahl
 λ = Wellenlänge des Lichts

Berechnet gemäß Rayleigh Criterion (vgl. Wikipedia).

Durchmesser von Airy-Scheibchen in Abhängigkeit der effektiven Blendenzahl und Beleuchtungswellenlänge

tet, könnte ein Objektiv entstehen, das für manche 5-Megapixel-Sensortypen nicht geeignet ist. Angaben wie z.B. „geeignet für Pixelgrößen bis zu 2,2 μ “ sollten daher unbedingt beachtet werden. Aber selbst wenn man ein zum Sensor passendes hochauflösendes Objektiv findet, ist es nicht automatisch ohne Einschränkungen zu verwenden. So besitzt jedes CCTV-Objektiv einen optimalen Entfernungsbereich, in welchem es die größte Auflösung liefert. Auch diese Angabe findet sich nur selten in den Datenblättern.

Besonders groß ist der Einfluss der verwendeten Blende und Beleuchtungswellenlänge auf die Auflösung eines Objektivs. Wie Tabelle 1 zeigt, wachsen die Airy-Scheibchen (Beugungsscheibchen oder Unschärfekreis) mit zunehmender Blendenzahl drastisch im Durchmesser. Wenn die Kamera z.B. einen 2/3" Bildsensor mit 3,45 μ großen Pixeln besitzt und man die Blende auf F=16 schließt, beträgt der Airy-Durchmesser 18,3 μ und überstreicht mehr als 5 Pixel. Verallgemeinert gilt, dass je kleiner die Blende ist, das Objektiv desto schneller in die Unschärfe läuft. Ähnliches gilt für die Beleuchtungswellenlänge. Selbst hochwertigste

Objektive können daher nur unter ganz bestimmten Bedingungen ihre Stärken voll ausspielen.

Ein gutes Objektiv sollte grobe und feine Strukturen über den gesamten Bildbereich mit möglichst hohem Kontrast darstellen können. Das Maß dafür ist die Modulations-Transfer-Funktion (MTF). Sie gibt an, wie viele Linienpaare mit welchem Kontrast noch abgebildet werden können.

Ein überraschender Lösungsweg

Gute, hochauflösende Objektive sind oft teurer als die zugehörigen Kameras und bis jetzt nicht in allen Bauformen und Brennweiten zu haben. In bestimmten Fällen gibt es aber einen ökonomisch sinnvollen Ausweg: Man sollte sich für sehr spezielle Anwendungen ein maßgeschneidertes Objektiv rechnen lassen. Hier ein exemplarisches Beispiel:

Ein Maschinenhersteller musste eine hochauflösende 5-Megapixel-Kamera mit

2,2 μ Pixelgröße in seiner Maschine einsetzen, um die gewünschte Präzision zu garantieren. Er testete unterschiedliche 5-Megapixel-Standardobjektive und entschied sich für das Objektiv, welches den besten Kompromiss an Auflösung, Tiefenschärfe, Bauform, Robustheit und Preis darstellte. Das ausgesuchte Objektiv war zwar in der Maschine einsetzbar, hätte aber idealerweise eine noch höhere Auflösung bei zugleich größtmöglicher Tiefenschärfe besitzen sollen. Auch eine kleinere und robustere Bauweise und einen günstigeren Preis hätte man sich gewünscht.

Da alle Parameter bei dieser Applikation konstant und bekannt waren, konnte unter Beachtung der Kundenpräferenzen ein optimiertes Objektiv gerechnet werden. Die kundenspezifische Objektivarvariante brachte die deutlichen Verbesserungen gegenüber der Katalogware und war in Stückzahlen zudem noch preisgünstiger als das Standardobjektiv.

Bei der Auswahl von Objektiven für kleine Pixelgrößen, wie bei 5- bzw. 10-Megapixel-Sensoren, sind applikationsspezifische Versionen häufig realisierbar. So zeigt die Praxis, dass das kundenspezifische Objektiv nicht ein Katalogobjektiv sein muss. Vielmehr sollte ein Experte prüfen, ob mit einer Kundenanfertigung ein besseres Kosten-Nutzen-Verhältnis erzielt werden kann.



Links: 50 mm Standardobjektiv gerechnet für eine Auflösung von 3,45 μ Pixeln. Rechts: kundenspezifische Variante, 50 mm Objektiv gerechnet für 2,2 μ Pixelgröße, 660 nm, beugungsbegrenzt.

Kundenspezifische Variante in Einzelkomponenten zerlegt. Oben: Objektivblock über Gewinde fokussierbar, Unten: Gehäuse mit C-Mount und Konterring.

► **Autor**
Dr. Hans Ludwig,
Key Account Manager Industrial Vision

► **Kontakt**
 NET New Electronic Technology, Finning
 Tel.: 08806/9234-0
 Fax: 08806/9234-77
 info@net-gmbh.com
 www.net-gmbh.com