



# Drei Musketiere: Kamera, Optik und Beleuchtung

## Bildqualität als wesentlicher Faktor bei der Bildverarbeitung und -analyse

Gemeinsam sind die Musketiere stark: So ist es auch in der Bildverarbeitung. Nicht allein die Kamera ist ausschlaggebend, um die gewünschte Bildqualität zu erreichen, sondern ebenso das perfekt dazu passende Objektiv sowie die richtige Beleuchtung. Es spielen dabei vielschichtige Faktoren eine Rolle. Experten mit einem reichhaltigen Schatz an Erfahrungswissen sind hier gefragt.

**A**n die Qualitätssicherung durch Bildverarbeitung werden stets vielschichtige Anforderungen gestellt. Diese müssen bei der Auswahl und Kombination der Komponenten, wie Optik, Kamera und vor allem Beleuchtung, beachtet werden. Pixelgröße, Bildkreisdurchmesser, Linienpaare, Objektiv-Mount, Abbildungsmaßstab, Objektentfernung, Telezentrie, Verzeichnungen, Blendenstufen, Mikrolinsen, Shading oder unterschiedliche

Beleuchtungsmethoden – dies alles sind Elemente und Parameter, die für die finale Qualität der Anwenderlösung verantwortlich sind und deswegen mit einem Spezialisten besprochen werden sollten. So richten die Projektteams bei SVS-Vistek nicht nur auf die eigenentwickelten Kamerakomponenten ein besonderes Augenmerk, sondern auch auf die Qualität der Beratung bei den Zubehörprodukten wie Optik und Beleuchtung.

### Die Reise des Photons

Die wesentliche Aufgabe ist, die Information, die im Prüfobjekt steckt, möglichst originalgetreu in den Speicher eines Rechners zu

bekommen. Doch was erlebt ein Photon als Korpuskel/Welle, wenn es die Reise in eine Kamera antritt: Am Objektiv wird es gebeugt und setzt seinen Weg fort durch das Objektiv. Der Bildsensor fängt das Photon ein und wandelt die Lichtenergie um in elektrischen Strom. Dieser wird als analoge Größe mittels A/D-Wandler in digitale Signale umgesetzt. Der wesentliche Faktor hierbei ist, dass Bilder durch Licht transportiert werden. Die Grenze wird also durch die Wellenlänge bestimmt und eine grobe Abschätzung gibt uns die Richtung an. Rund  $0,5 \mu\text{m}$  beträgt die Wellenlänge  $\lambda$  des grünen Lichts. Der deutsche Physiker Ernst Karl Abbe hat uns



gelehrt, dass nur die Blende eines Objektivs die Abbildungsgrenze vorgibt – auch bei einem idealen, fehlerlosen Objektiv. Nehmen wir als einfaches Beispiel die Blendenzahl  $B = 4$ , so errechnet sich die Auflösungsgrenze  $D$  durch  $D = F \times B \times \lambda = 2,5 \times 4 \times 0,5 \mu\text{m} = 5 \mu\text{m}$ . So groß darf also der Durchmesser  $D$  des kleinsten grünen Punktes/Pixels hinter einem Objektiv sein.  $F$  ist dabei eine Konstante. Nun muss natürlich diese ideale Auflösung auch durch das Objektiv gebracht und gleichmäßig auf eine Bildebene verteilt werden. Das sind die Herausforderungen an die Objektivbauer und vom Anwender nicht so stark zu beeinflussen.

### Das passende Objektiv bestimmen

Um das passende Objektiv zu finden, das einen genügend großen Bildkreis mit der richtigen Auflösung anbietet, kann der Anwender aus vielen Objektivgruppen auswählen, die aus Fotografie und Technik zur Verfügung stehen. Beispielsweise ein Objektiv aus dem sog. 35-mm-Markt, der klassischen Kleinbildfotografie, war dazu bestimmt, hohe Auflösung zu bringen und den Bildkreis auszuleuchten, der das Format  $36 \times 24$  mm beinhaltet. Meist war das Objektiv auf die Bildmitte hin optimiert, da kein Mensch bei einem Foto auf den Rand

lassen sich nur mit geeigneter Software korrigieren, was zum SVS-Vistek-Gesamtkonzept „Optik + Kamera + Software“ führt. In den Kameras können Shading- oder Flatfield-Korrekturen dem Effekt entgegenwirken.

Auch ein Objektiv muss gezielt eingesetzt werden. Jeder kennt das Problem der Schärfentiefe. Wir leben nun mal in einer 3D-Welt und nehmen aber 2D-Bilder auf. Also wird eine größere Blende gewählt. Wir sollten aber den Physiker Abbe nicht vergessen. Bei der Blende  $f/4$  ergab sich eine Auflösungsgrenze von  $5 \mu\text{m}$ . Bei  $f/32$  sind es schon  $40 \mu\text{m}$  und das ist bereits eine recht grobe Auflösung.

### Kamera: Dynamikbereich ausschlaggebend

Nun ist die Kamera an der Reihe. Photonen treffen auf den Sensor auf und durch die Energie des Lichtes werden in rasterförmig angeordneten Pixeln Elektronen frei und gespeichert. Wie viele Elektronen frei werden, bestimmt hauptsächlich das Halbleitermaterial des Sensors, das Silizium. Wie störungsfrei danach die Elektronen transportiert und der Analogwert der Spannung verstärkt wird, ist das Know-how der Kamerahersteller. Sehr wichtig für die Qualität einer Kamera ist der Dynamikbereich. Also bei welcher Lichtmenge die Kamera brauchbare Bilder aufnimmt. Wie hell kann die Lichtsituation sein und wie dunkel darf sie sein? Licht kann Kontraste



**Die Bildqualität hängt von der Kombination des Gesamtsystems ab. Deshalb richtet SVS-Vistek nicht nur auf die eigenentwickelten Kamerakomponenten ein besonderes Augenmerk, sondern auch auf die Qualität der Zubehörteile, wie Optik und Beleuchtung.**

schaut. Setzt ein Fachmann diese Objektive für kleinere Formate als  $36 \times 24$  mm ein – z.B. mit 1-Zoll- oder 2/3-Zoll-Sensoren, so bekommt er damit eine absolut hohe Qualität. Die Abmessungen des Objektivs sind in diesem Fall jedoch relativ groß.

Manche Grenzen lassen sich trotz bester Objektivbaukunst nicht überwinden. Das beste Beispiel ist der natürliche Randabfall bei weitwinkligen Objektiven. Solche Effekte

„ In der Messtechnik interessieren vor allem das Signal und seine Genauigkeit, das Signal-Rausch-Verhältnis.“

von 1:100.000 und mehr produzieren. Davon ist die Technik, selbst mit modernen CCD- oder CMOS-Sensoren, noch weit entfernt. In der Messtechnik interessiert vor allem das Signal und seine Genauigkeit. Also das kleinste Nutzsignal, das größer ist als das Rauschen und natürlich das höchste Nutzsignal. Den Quotienten nennen die Experten das Signal-Rausch-Verhältnis (SNR, signal-to-noise ratio). Das Nutzsignal sollte sich deutlich vom Hintergrundrauschen abheben. Das SNR muss also hinreichend groß sein. Ein kleines SNR kann zur Folge haben, dass bei Digitalübertragungen die Fehlerrate steigt.

Die Größe des Pixels ist eine weitere essenzielle Eigenschaft einer Kamera bzw. ihres Bildsensors. Sie bestimmt den hellsten zulässigen Lichtwert, denn in ein größeres Gefäß passen sozusagen mehr Elektronen. Der Sinn dieser Größe wird durch obige Überlegungen bezüglich des Lichts mitbestimmt. Da sprachen wir von einer Auflösungsgrenze  $D = 5 \mu\text{m}$  bei grünem Licht. Nach Harry Nyquist, einem US-amerikanischen Physiker, ist die halbe Größe notwendig, um eindeutig zu messen. Kleiner wird

es nicht bei grünem Licht und Blende F/4. Pixelgrößen zwischen 2,5 µm und 5 µm sind also noch sinnvoll.

Faktoren wie Sättigungskapazität, Dynamik oder SNR auf einheitliche Weise zu messen und verständlich zu machen, ist Ziel der Arbeitsgruppe zur Erstellung der Norm EMVA 1288. Darin ist festgelegt, wie die Prüfungen von Kameraherstellern zu

---

” **Licht kann Kontraste von 1:100.000 und mehr produzieren. Davon ist die Technik, selbst mit modernen CCD- oder CMOS-Sensoren, noch weit entfernt.“**

erfolgen haben, damit die Daten vergleichbar sind. Der Anwender muss so das Innere der Kamera nicht mehr kennen. SVS-Vistek arbeitet in diesem Gremium mit und liefert auch normgerechte Prüfdaten für die Produkte.

Bei der Entwicklung von Kameras stellen sich noch weitere Fragen: Welcher Sensor, CCD oder CMOS, ist der bessere? Welche Transfermethode ist sinnvoll: Interline-, Frame- oder Full-Frame- Transfer? Welche

Schnittstellen sind optimal geeignet: CameraLink, CoaXPress, Gigabit-Ethernet oder USB 2.0/3.0? Dann folgen die Anwendungseigenschaften einer Industriekamera wie Betriebsarten, I/O-Technik, das Anschlusskonzept, der Umgang mit Beleuchtungssteuerungen von LED-Leuchten. Immer wichtiger ist auch die Schutzklasse – welchen Umgebungsbedingungen muss die Kamera standhalten?

#### **Das richtige Licht**

Licht ist nicht nur wichtig auf dem Weg vom Objekt zur Kamera, sondern auch von der Beleuchtung zum Objekt. Als erstes denkt der Projektgenieur an eine homogene, unstrukturierte Beleuchtung. Dadurch wird das Objekt am wenigsten verfälscht. Diese wird durch das Prinzip „Leuchte im Unendlichen“ verwirklicht, wobei das Bild der Leuchte dann in der Blendenebene des Objektivs liegt und im Bild nicht sichtbar ist. Bei natürlicher Beleuchtung durch die Sonne ist das immer so.

Angenähert wird diese Beleuchtungssituation durch diffuse Beleuchtungsaufbauten, die ebenfalls keine Struktur im Bild hinterlassen. Das bekannteste Beispiel ist die Ulbricht-Kugel.

Nicht nur die Lichtverteilung, sondern auch die Richtung ist wichtig. Eine Beleuchtung gegen die Blickrichtung der Kamera wird als „Durch-Licht“ bezeichnet. Strahlt

das Licht mit der Blickrichtung der Kamera, so spricht der Fachmann von „Auf-Licht“. Durch das Beleuchten parallel zur optischen Achse erhält der Anwender Hellfeldbilder, Strahlen schräg zur optischen Achse ergeben Bilder im Dunkelfeld. Das sind nur wenige Möglichkeiten von einer großen Vielzahl. Beispielweise kann man Farben nutzen, um wichtige Details hervorzuheben oder um mit Komplementärfarben Details verschwinden zu lassen. Noch umfangreicher sind die Möglichkeiten, mit Strukturen zu beleuchten. Weit verbreitet ist hier die Linien- oder Streifenprojektion für die 3D-Datenerfassung.

Das zeigt, wie komplex Bildverarbeitungslösungen, trotz des zunehmenden Trends hin zu Standardkomponenten, weiterhin sind. Experten, wie die von SVS-Vistek, optimieren den Entwicklungsprozess und finden gemeinsam mit dem Anwender die richtige Strategie, die zum gewünschten Bild führt.

---

**Autor**  
**Dr. Gert Ferrano**  
OEM-Integration/Support

**Kontakt**  
SVS-Vistek GmbH, Seefeld,  
Tel.: +49 8152 998 50  
g.ferrano@svs-vistek.com  
www.svs-vistek.de

---