

### Sensorauflösung & Aufzeichnungsfrequenz, Belichtungszeit & Blendenöffnung

Dem allgemeinen Trend nach mehr und mehr aktiver Sensorauflösung können, und wollen, moderne Hochgeschwindigkeits-Kamerasysteme nur bedingt folgen. Zum einen haben die anfallenden Datenmengen, mit aktuellen Sensoraufösungen zwischen 1.3 und 4.0 Megapixel, inzwischen Dimensionen erreicht, die in Bezug auf Portabilität und dauerhafte Archivierung, bereits Schwierigkeiten aufzeichnen. Zum anderen stehen dem auch entwicklungstechnische und optische Grenzen entgegen. Die zur Zeit verfügbaren lichtstarken Objektive und damit verbundene Abbildungsflächen sind technisch bedingt limitiert. Eine unendliche Vervielfachung der Sensorauflösung kann aktuell nur zu kleineren Pixeln führen. Der damit Verbundenen Verlust an Lichtempfindlichkeit steht in klarem Widerspruch zu den Anforderungen an moderne Hochgeschwindigkeits-Systeme.

Aktuelle Hochgeschwindigkeits-Kamerasysteme bieten sämtliche Optionen um aussagekräftige Videodaten und Auswertungsergebnisse zu erhalten. Die nachstehenden Basisparameter spielen dabei eine entscheidende Rolle.

#### A) Kameraauflösung

**Faustregel: „Das kleinste zu beobachtende Objekt im Gesamtbildinhalt sollte mit 4-6 Pixel aufgelöst werden“**

Bei der Aufzeichnung von großformatigen Objekten ( $> 1\text{m}^2$ ) sind selten Details in Millimetergröße von Interesse, sondern eher eine komplexe Gesamtbewegung. Je kleiner das Objekt von Interesse, je geringer ist in der Regel auch die gesamte Bildfläche. Zudem liefern im Grenzfall zwei Aufzeichnungen - eine für die Totale, eine für die Details - meist ein besseres Gesamtergebnis. Die MotionPro-Studio Software bietet eine einfache Möglichkeit beide Sequenzen, bildsynchron, in einer Ausgabedatei zu kombinieren.



Zusätzlich führt das rechnerische Ergebnis der notwendigen Auflösung meist zu einer geringeren Auflösung als das Kamerasystem zu leisten vermag. Ein reduzierter Speicherbedarf pro Bild und die daraus resultierende längere Gesamtaufnahmezeit bilden einen zusätzlichen Nutzen für den Anwender.



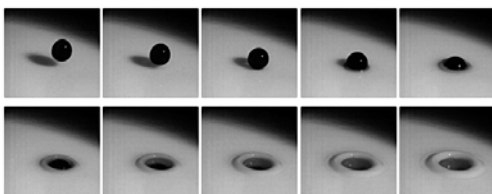
Ein Beispiel: Wenn in einer Produktionsmaschine eine Bildfläche (FOV = FieldOfView) von 60 cm Breite aufgezeichnet werden soll, und das kleinste Detail von Interesse im FOV 0,5 cm klein ist, so genügt eine horizontale Auflösung von  $60/0,5 * 6 \text{ Pixel} = 720 \text{ Pixel}$ .

Diese Betrachtung lässt sich natürlich auch umkehren um das Leistungsvermögen einer Kamera zu bewerten. Ein älteres CCD-System mit einer horizontalen Auflösung von 256 Pixel (bei 1000 fps) kann das oben genannte FOV von 600 mm mit  $600/256 = 2,34 \text{ mm je Pixel}$  auflösen. Das kleinste Detail mit 0,5 cm Größe würde also mit weniger als zwei Pixeln abgebildet. Zu wenig für aussagekräftige Bilddaten.

#### B) Aufzeichnungsfrequenz (Aufnahmegeschwindigkeit)

**Faustregel: „Die optimale Aufzeichnungsfrequenz liegt zwischen 1-3 x Objektgeschwindigkeit (cm/s)“**

Eine wirkliche Faustregel ist in diesem Zusammenhang nicht definierbar. Es handelt sich um Erfahrungswerte die im Laufe der Zeit erarbeitet wurden. Die zeitliche Auflösung eines Bewegungsvorganges obliegt letztendlich dem Anwender. Eine zu geringe Aufzeichnungsfrequenz führt zu einem Informationsverlust, eine zu hohe Aufzeichnungsfrequenz verursacht ein hohes Datenvolumen und führt mitunter zu einem „Dynamikverlust“ bei der Wiedergabe der Videodatei, da die Bewegung zu stark aufgelöst wird.



Beispiel: Ein Prozess mit  $V = 300 \text{ cm/s}$  ergibt eine Aufzeichnungsfrequenz von 300-900 fps. Dies liefert eine Bewegungsauflösung von 0,3 cm (900fps) bis 1 cm (300 fps) pro Bild.

Ein Weltklasse-Sprinter mit 800-1000 cm/s Geschwindigkeit sollte mit bis zu 1.000 fps aufgezeichnet werden. Eine höhere Aufzeichnungsfrequenz kann zu einem „Dynamikverlust“ führen und liefert keine weiteren Details.

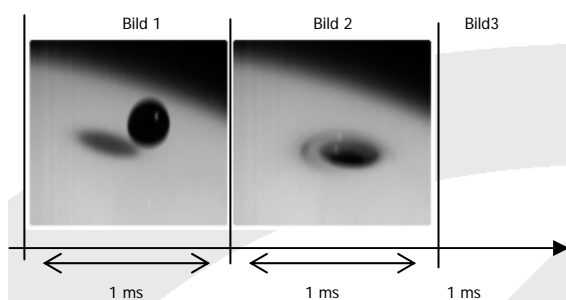
Bei Rotationsgeschwindigkeiten sind diese Erkenntnisse entsprechend auf die Umfanggeschwindigkeit oder die gewünschte Winkelauflösung anzuwenden.

### Sensorauflösung & Aufzeichnungsfrequenz, Belichtungszeit & Blendenöffnung

#### C) Belichtungszeit (Shuttertime)

**Faustregel: „Bei der optimalen Belichtungszeit beträgt die Objektbewegung im Bildinhalt unter 2 Pixel“**

Einen wesentlichen Einfluss auf die Qualität der aufgezeichneten Bilddaten hat die gewählte Belichtungszeit. Was bedeutet dies? Die Belichtungszeit beschreibt den Zeitraum mit dem jedes einzelne Bild aufgezeichnet bzw. der Bildsensor mit Photonen belichtet wird. Unabhängig von der gewählten Aufzeichnungsfrequenz können moderne Hochgeschwindigkeits-Kamerasysteme zusätzlich die Zeitspanne definieren mit dem jedes Einzelbild innerhalb der physikalischen Grenzen belichtet wird. Dazu dient der so genannte „Electronic Shutter“, der elektronische Verschluss der Kamera.



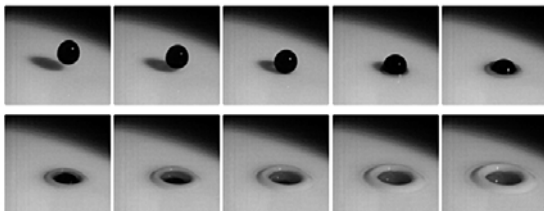
Bei einer Aufzeichnungsgeschwindigkeit von 1000 fps wird pro ms ein Bild aufgezeichnet. Die maximale Belichtungszeit ist gleich dem Kehrwert der Aufzeichnungsfrequenz. Bei 1000 fps entspricht dies 1 ms oder 1000  $\mu$ s. Abhängig von dessen Geschwindigkeit bewegt sich ein Objekt innerhalb dieser ms jedoch weiter. Das Ergebnis sind Bewegungsunschärfen im Einzelbild, da diese Bewegung über mehrere Pixel „verzerrt“ wird“

Bei 1000 fps Aufzeichnungsfrequenz und einer Objektgeschwindigkeit von 5 m/s bewegt sich ein Objekt innerhalb eines Bildes (1 ms) um 5 mm.

Dies steht in direktem Zusammenhang mit den unter A und B gewählten Kameraparametern. Ein horizontaler Bildausschnitt von 600 mm wird bei einem modernen Kamerasystem in Vollauflösung mit z.B. 1280 Pixeln, also 0,47 mm je Pixel, aufgelöst. Wenn sich das Objekt bei einer Geschwindigkeit von 5 m/s, pro Bild um 5mm bewegt, so erstreckt sich die Objektverzerrung pro Bild über 10,6 Pixel (5 mm / 0,47 mm)! Dieser Wert sollte wie in der Faustregel genannt kleiner 2 Pixel liegen. Diese Erkenntnis lässt sich in eine einfache Formel fassen.

$$\text{Belichtungszeit } T_{\max} (\mu\text{s}) = \frac{2 \times \text{Bildausschnitt (m)} \cdot 10^6}{\text{Objektgeschwindigkeit (m/s)} \cdot \text{Aktive Sensorauflösung}}$$

$$\text{Unser Beispiel } T_{\max} (\mu\text{s}) = \frac{2 \cdot 0,6 \cdot 10^6}{5 \cdot 1280} = 125 \mu\text{s} \text{ oder } (1/8000\text{s})$$



Die Formel liefert die maximale Belichtungszeit, die zum Erreichen einer Objektbewegung im Einzelbild von unter 2 Pixel entspricht. Das Ergebnis sind scharfe Einzelbilder ohne Bewegungsunschärfen.

Das Zusammenspiel von Sensorauflösung, Aufzeichnungsfrequenz und Belichtungszeit liefert die Basis für hochwertige Aufnahmen.

Grundsätzlich sollte der Anwender versuchen, die Belichtungszeit so kurz wie möglich zu halten. Dies bedingt natürlich eine entsprechende Beleuchtung und Lichtmenge die an das Objekt herangeführt werden muss. Für die Erfassung von aussagekräftigen Bilddaten sind neben diesen kameraseitigen Parametern die Eigenschaften des verwendeten Objektivs von ebenso entscheidender Bedeutung.

### Sensorauflösung & Aufzeichnungsfrequenz, Belichtungszeit & Blendenöffnung

#### D) Tiefenschärfe und Blendenöffnung

**Faustregel:** „Je kleiner die Blendenöffnung, je größer die Tiefenschärfe“









Während die Belichtungszeit der Kamera den Zeitraum definiert, wie lange ein einzelnes Bild belichtet wird, bestimmt die Blendenöffnung des Objektivs die Lichtmenge die auf den Bildsensor der Kamera fällt. Die maximale Blendenöffnung eines Objektivs charakterisiert dessen Lichtempfindlichkeit. Die Blendenzahlen sind international genormt und an jedem Objektiv sichtbar. Je kleiner die kleinste Blendenzahl, je lichtstärker ist das Objektiv. Der Einsatz von lichtstarken Objektiven ist bei der Archivierung von Hochgeschwindigkeits-Videoaufnahmen unbedingt zu empfehlen.



Die Funktion der Objektivblende ist die Steuerung der Tiefenschärfe. Die Tiefenschärfe beschreibt die räumliche Tiefe in der Abbildung, sie durch das Objektiv scharf abgebildet wird. Je größer die gewählte Blende, sprich je kleiner die physikalische Blendenöffnung, je größer die Tiefenschärfe. Die Tiefenschärfe variiert mit der Brennweite des Objektivs, dem Öffnungswert und der Aufnahmedistanz.



Sämtliche optischen Eigenschaften, so auch die räumlich vordere und hintere Tiefenschärfe eines Objektivs lassen sich natürlich berechnen. Dies würde jedoch zu sehr in die Tiefe gehen und vom eigentlichen Hauptanliegen dieses IS-TechGlossar ablenken.

- f/16  Bei der Erstellung von Hochgeschwindigkeits-Aufnahmen sind für die Realisierung der unter Punkt B berechneten optimalen Belichtungszeit entsprechende Lichtmengen an das Objekt zu führen. Bei ausreichender Lichtmenge
- f/11  kann über die Blendenöffnung zusätzlich die Tiefenschärfe und damit die Abbildungsqualität gesteigert werden. Die Blende steht in folgendem Zusammenhang mit der einfallenden Lichtmenge.
- f/8 
- f/5.6  Die Änderung der Objektiv-Blende um einen „f-stop“ (Beispiel: von f/4 auf F5.6) reduziert die auf den Bildsensor einfallende Lichtmenge um den Faktor 2. Man benötigt die doppelte Lichtmenge für die Bildausleuchtung mit Blende 5.6, wie mit Blende 4. Zwei „f-stops“ reduziert die Lichtmenge um den Faktor 4, drei „f-stops“ um den Faktor 8.
- f/4 
- f/2.8 
- f/2 
- f/1.4  Diese physikalischen Gegebenheiten zeigen auf, welche Bedeutung die Beleuchtung für die Aufzeichnung von sehr guten Hochgeschwindigkeits-Aufnahmen hat. Die beste Hochgeschwindigkeits-Kamera kann ohne ausreichende Beleuchtung nur unbefriedigende Bildergebnisse liefern!

Vor der Erfassung von Hochgeschwindigkeits-Videodaten sollte der Anwender also einige grundlegende Überlegungen in Anlehnung an dieses IS-TechGlossar durchführen.

- A) **Sensorauflösung entsprechend der Objektgröße definieren**
- B) **Aufzeichnungsfrequenz entsprechend der Objektgeschwindigkeit wählen**
- C) **Berechnung und Wahl der optimalen Belichtungszeit der Kamera**
- D) **Ein mittlerer Blendenwert liefert eine in den meisten Fällen ausreichende Tiefenschärfe**
- E) **Diese Parameter erfordern die Bereitstellung einer entsprechenden Beleuchtungsmenge**

© Imaging Solutions GmbH, 2008. Unautorisierte Weitergabe, Kopie und Veröffentlichung, auch auszugsweise, nicht gestattet.



**Imaging Solutions GmbH**

Arbachtalstrasse 6  
72800 Eningen u. A.

Büro Nord:  
Hermann-Löns-Strasse 3c  
50321 Brühl

[www.imaging-solutions.de](http://www.imaging-solutions.de)

Telefon: +49 7121 680853-1  
Telefax: +49 7121 680853-9

Telefon: +49 2232 411174  
Telefax: +49 2232 411175

[info@imaging-solutions.de](mailto:info@imaging-solutions.de)