

# Kameras

*Eine Kamera ist eine Fernsensoreinheit, die Bilder erfassen und speichern bzw. übertragen kann. Das Licht wird erfasst und über ein optisches System auf eine empfindliche Oberfläche (Sensor) fokussiert, welche die Intensität und Frequenz der elektromagnetischen Strahlung mittels eines chemischen oder elektronischen Prozesses in Daten verwandelt.*

*Das einfachste System dieser Art besteht in einer Dunkelkammer oder einer Schachtel, in die das Licht nur durch ein kleines Loch eintritt und auf die gegenüberliegende Wand fokussiert wird, wo es vom menschlichen Auge gesehen oder von einem lichtempfindlichen Material (z.B. von einem fotografischen Film) erfasst wird. Diese Bildgebungsmethode ist Jahrhunderte alt und wird als ‚Camera obscura‘ – der lateinische Ausdruck für ‚Dunkelkammer‘ – bezeichnet, von dem die modernen Kameras ihren Namen ableiten.*

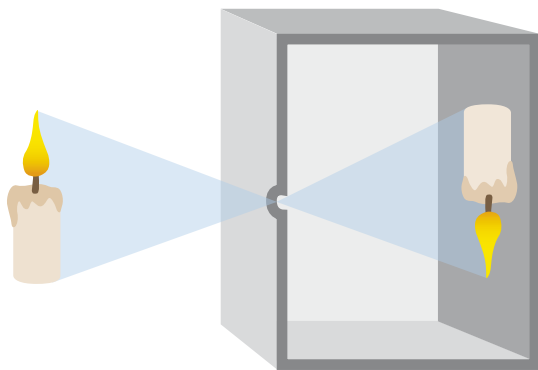


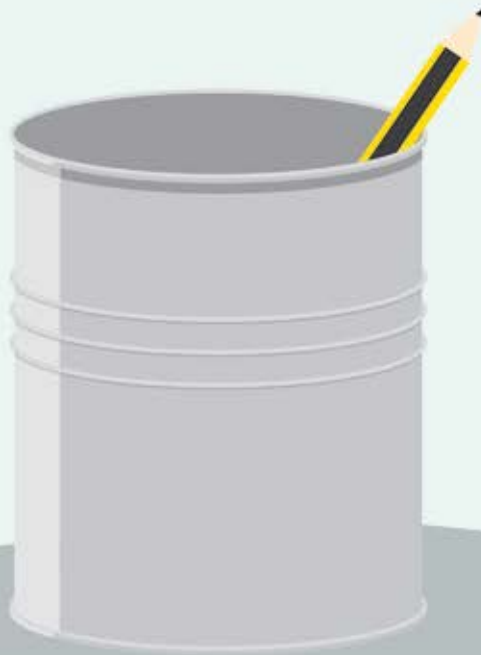
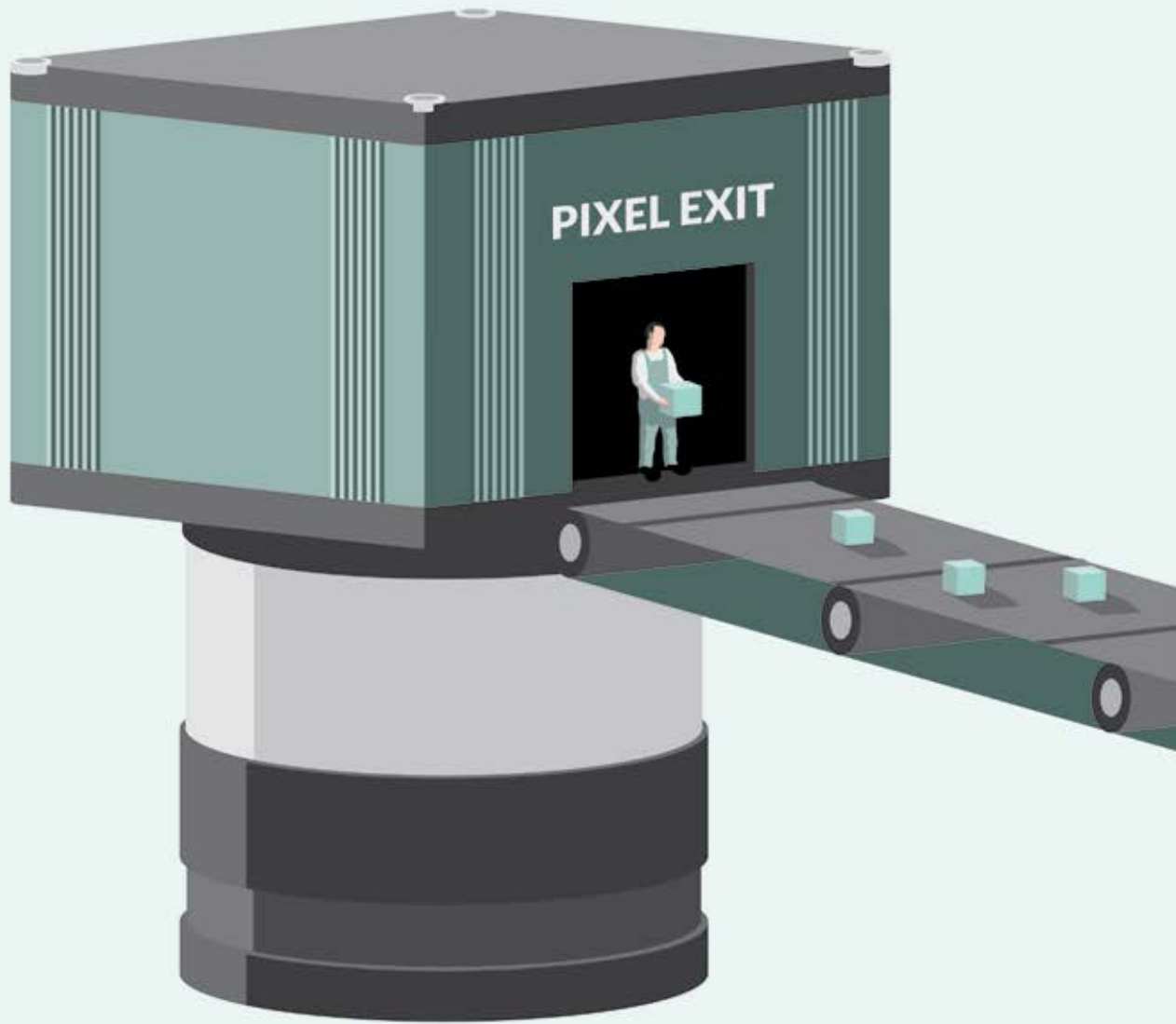
Abb. 1: Funktionsprinzip einer Camera obscura.

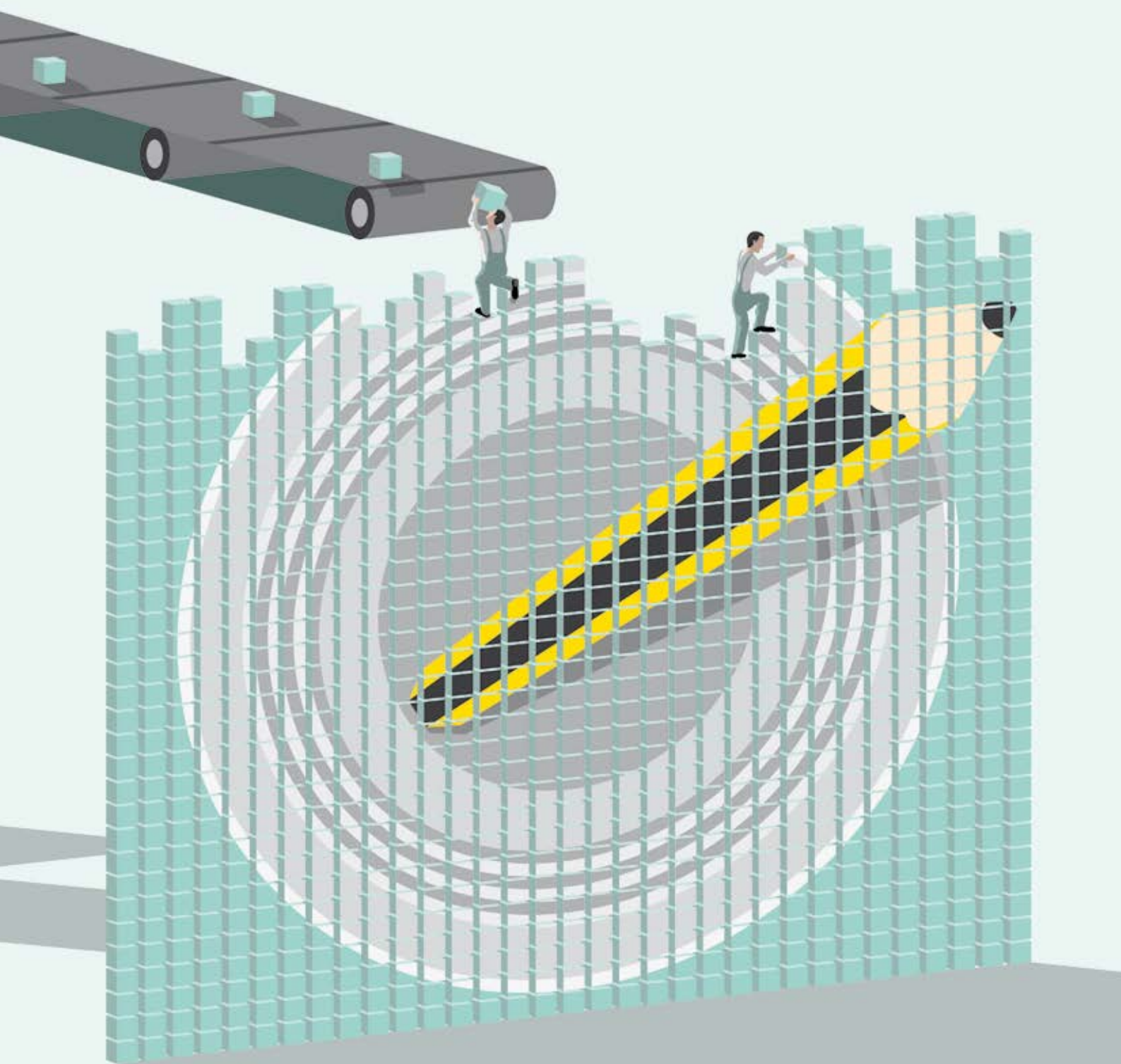


Abb. 2: Camera obscura „Ansicht des Hotel de Ville, Paris, Frankreich 2015“  
Foto von Abelardo Morell ©.

*Die Kameratechnologie hat in den letzten Jahrzehnten enorme Fortschritte gemacht, vor allem seit der Entwicklung ladungsgekoppelter Bauteile (Charge Coupled Device – CCD) sowie anschließend der CMOS-Technologie. Frühere Standardsysteme wie das der Vakuumröhren-Kameras sind dagegen nicht weiterentwickelt worden. Die Fortschritte bei der Bildauflösung und der Erfassungsgeschwindigkeit haben natürlich auch die Qualität und Geschwindigkeit von Bildverarbeitungskameras verbessert.*







## Matrix- und Zeilenkameras

Die in den Anwendungen der Bildverarbeitung eingesetzten Kameras können in zwei Gruppen unterteilt werden, in bereichsabtastende Kameras (sog. Matrixkameras) und zeilenabtastende Kameras. Erstere sind einfacher und technisch weniger anspruchsvoll, während letzteren unter bestimmten Bedingungen der Vorzug gegeben wird, wenn Matrixkameras nicht erfolgreich eingesetzt werden können. Bereichsabtastende Kameras erfassen zweidimensionale Bilder mit Hilfe einer bestimmten Anzahl aktiver Elemente (Pixel), während das Kennzeichen der Zeilenkamerasensoren ein einziges Pixelfeld ist.

## Sensorgößen und Auflösung

Die Sensorgößen (oder Formate) werden gewöhnlich mit einem imperialen Bruchwert, z.B. 1/2", 2/3", angegeben. Die heutigen Abmessungen entsprechen aber diesem Bruchwert nicht mehr, wodurch es oft zu Missverständnissen unter den Benutzern kommt. Diese Art der Größenangabe geht nämlich auf die 1950er Jahre zurück, die Zeit der TV Kameraröhren, und hat sich bis zum heutigen Tag gehalten. Man sollte daher immer die Daten des Sensors überprüfen, denn auch zwei Sensoren gleichen Formats können leicht unterschiedliche Abmessungen und Seitenverhältnisse aufweisen. Die Raumauflösung ist die Anzahl aktiver Elemente (Pixel), die im Sensorbereich enthalten sind: Je höher die Auflösung, desto kleiner sind die Einzelheiten, die man auf dem Bild entdecken kann. Nehmen wir an, es soll ein 30 x 40 mm großes Sichtfeld inspiziert werden, das auf 40\*40 µm kleine Mängel zu untersuchen ist, die auf mindestens drei Pixeln zu sehen sind.

Es können also  $30 \times 40 / (0.04 \times 0.04) = 0.75 \times 10^6$  Mängel vorhanden sein. Setzt man eine Mindestanzahl von 3 Pixeln voraus, um diesen Defekt sehen zu können, wird eine Kamera von mindestens 2.25 MP Pixeln benötigt. Das ist die Mindestauflösung, die der Sensor benötigt, abgesehen davon, dass immer auch die Auflösung des gesamten Systems (einschließlich die Auflösung des Objektivs) zu bestimmen ist. Tabelle 1 gibt einen kurzen Überblick über verschiedene handelsübliche Sensorabmessungen und -auflösungen. Dabei ist zu unterstreichen, dass Sensoren die gleichen Abmessungen, aber verschiedene Auflösungen haben können, da sich die Pixelgröße ändern kann. Wenn man sich nun bei einem vorgegebenen Sensorformat für kleinere Pixel entscheidet, kommt es zwar zu einer höheren Auflösung, doch kleine Pixel sind nicht immer die ideale Lösung. Sie sind nämlich weniger lichtempfindlich und erzeugen mehr Rauschen. Außerdem müssen die Auflösung des Objektivs und die Pixelgröße immer in geeigneter Form kombiniert werden, um optimale Leistungen des gesamten Systems zu erreichen.

Sensortyp		1/3"	1/2"	2/3"	1"	4/3"	4 K (linear)	8 K (linear)	12 K (linear)
Sensorgroße	(mm)	4.80 x 3.60	6.40 x 4.80	8.45 x 7.07	12.8 x 9.64	18.1 x 13.6	28.7	41 - 41	64
Pixelgröße	(µm)	5	5	5	5	5	7	5	5.3
Auflösung	(mm)	960 x 720	1280 x 960	1690 x 1414	2560 x 1928	3620 x 2720	4000	8000	12000
Auflösung	(Pixel)	0.6 M	1.2 M	2.5 M	5 M	10 M	4 K	8 K	12 K

Tabelle 1: Beispiele für übliche Sensorgößen und -auflösungen.

## Sensortypen: CCD und CMOS

Die meistverbreiteten Sensor-Technologien für Digitalkameras sind CCD und CMOS.

Ein CCD-Sensor (Charged Coupled Device = ladungsgekoppeltes Bauteil) hat eine komplexe elektronische Platine, wo lichtempfindliche Halbleiterelemente Photonen (Licht) in Elektronen umwandeln. Die akkumulierte Ladung verhält sich proportional zur Belichtungszeit.

Das Licht wird in einem Potentialtopf eingefangen, um dann auf zwei verschiedene Arten abgegeben und ausgelesen zu werden (siehe Abb. 3). Grundsätzlich erfolgt bei allen Architekturen die Weitergabe der Daten an ein Register, manchmal über einen passiven Bereich zur Speicherung.

Die Ladung wird dann auf ein Spannungssignal verstärkt, das gelesen und quantifiziert werden kann.

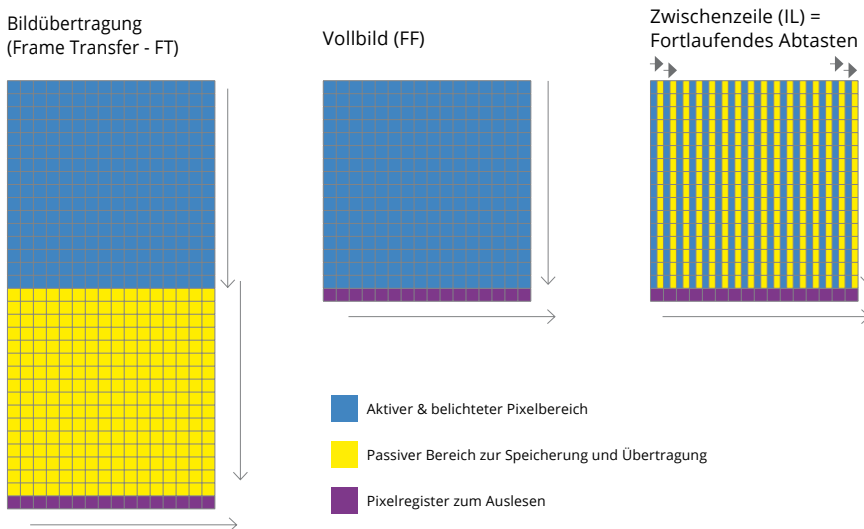


Abb. 3: CCD-Architekturen.



**CMOS-Sensoren** (Complementary Metal-Oxid Semiconductor, d.h. sich ergänzender Metall-Oxid-Halbleiter) sind in ihrer Konzeption anders angelegt als CCD-Sensoren, da das Auslesen Pixel um Pixel und nicht sequentiell erfolgt. So wird das Signal auf jeder Pixel-Position verstärkt, sodass man wesentlich höhere Bildfrequenzen erhalten und für das Auslesen kundenspezifische ROIs (Bereiche von Interesse) festlegen kann. CMOS- und CCD-Sensoren sind ungefähr zur selben Zeit erfunden wurden, wobei die CCD-Technologie früher als hochstehender betrachtet wurde, die CMOS-Sensoren ihre Leistung aber in den letzten Jahren entsprechend gesteigert haben.

**Global- und Rolling-Shutter (CMOS)** Bei den Rolling-Shutter-CMOS-Sensoren erfolgt das Erfassen nacheinander von der oberen zur letzten Pixel-Reihe, wobei der Zeitabstand zwischen der ersten und der letzten Zeile bis zu 1/Bildfrequenz betragen kann. Ist das Auslesen beendet, kann der Prozess der fortlaufenden Erfassung erneut beginnen. Wenn sich das Objekt bewegt, ist der Zeitunterschied zwischen der Erfassung der einzelnen Pixel deutlich auf dem Bild zu sehen, die Objekte werden verzerrt (siehe Abb. 4). Bei der Global-Shutter-Betriebsart erfolgt das Erfassen durch das gleichzeitige Aktivieren aller Pixel, sodass ein Verzerren des Objekts vermieden wird.



Abb. 4: Der „Rolling-Shutter-Effekt“.

## Sensoren und Kameraeigenschaften

### Sensoreigenschaften

Es gibt dreierlei Arten von Pixelfehlern: heiße, warme und tote Pixel. Heiße Pixel sind überempfindliche Elemente die immer ein maximales Signal abgeben, d.h. voll weiß, vollkommen unabhängig von der Lichtintensität. Tote Pixel sind das Gegenteil, sie geben null Signal (schwarz) ab. Warme Pixel geben zufällige Signale ab. Diese drei Fehlerarten sind von der Intensität und Belichtungszeit abhängig. Daher können sie leicht repariert werden, zum Beispiel indem sie digital mit dem Durchschnittswert der Nachbapixel ersetzt werden.

**Rauschen.** Es gibt verschiedene Arten von Rauschen, die beim Auslesen des Pixels auftreten können. Sie können durch geometrische, physikalische und elektronische Faktoren verursacht werden, und sie können zufällig verteilt sein oder konstant auftreten. Einige dieser Rausch-Geräusche werden nachstehend erläutert:

- Das Schrotrauschen ist eine Folge der Beschaffenheit des Lichts. Wenn die Lichtintensität sehr niedrig ist, so wie das der Fall ist, wenn man die kleine Oberfläche eines einzelnen Pixels in Betracht zieht, ist die Fluktuation der Photonenzahl im Zeitverlauf beträchtlich. Man kann es sich ähnlich vorstellen, als würde man eine Münze mehrere Male werfen. Vorder- oder Rückseite werden relativ weit von einem 50%igen Treffer entfernt sein. Diese Fluktuation wird als Schrotrauschen bezeichnet.
- Das Dunkelstromrauschen wird durch die Elektronen hervorgerufen, die zufällig durch thermische Wirkung erzeugt werden. Die Anzahl der thermischen Elektroden wie auch das damit verbundene Rauschen steigen bei Anstieg von Temperatur und Belichtungszeit ebenfalls an.
- Das Quantisierungsrauschen tritt bei der Umwandlung des Dauerwertes des ursprünglichen (analogen) Spannungswertes in den diskreten Wert der verarbeiteten (digitalen) Spannung auf.
- Das Verstärkungsrauschen wird durch das verschiedene Verhalten der Pixel (in Bezug auf Empfindlichkeit und Verstärkung) erzeugt. Das hier ist ein Beispiel für ein ‚konstantes Rauschen‘, das gemessen und eliminiert werden kann.

Der Parameter **Empfindlichkeit** quantifiziert, wie der Sensor auf Licht reagiert. Die Empfindlichkeit steht in engem Zusammenhang mit der Quantenausbeute, d.h. mit dem Anteil an Photonen, die effektiv in Elektronen konvertiert wurden.

**Der Kontrastumfang** ist der Quotient der größten und kleinsten Signalstärke, die vom Sensor erfasst wird. Ab der oberen Grenze erscheinen die Pixel für jeden höheren Intensitätswert weiß (Sättigung), während sie ab der unteren Grenze und darunter schwarz erscheinen. Der Kontrastumfang wird gewöhnlich durch den Logarithmus des Min.-Max.-Quotienten ausgedrückt, und zwar entweder in Dezibel (10-facher Logarithmus) oder als Logarithmus zur Basis 2 (Doppelung oder Stops). Das menschliche Auge zum Beispiel kann Gegenstände sowohl unter einem Sternenhimmel als auch im hellen Sonnenschein erkennen, was einer Intensitätsdifferenz von 90 dB entspricht. Diesen Umfang erreicht das menschliche Auge aber nicht gleichzeitig, sondern es braucht eine gewisse Zeit, um sich auf die verschiedenen Lichtverhältnisse einzustellen. Ein LCD von guter Qualität weist einen Kontrastumfang von etwa 1000:1 auf, bei einigen der neuesten CMOS-Sensoren wurden Kontrastumfänge von etwa 23 000:1 gemessen (angegeben als 14.5 Stops).

Faktor	Dezibel	Stops
1	0	0
2	3.01	1
3.16	5	1.66
4	6.02	2
10	10	3.32
32	15.1	5
100	20	6.64
1024	30.1	10
10 000	50	13.3
1 000 000	60	19.9
1 073 741 824	90.3	30
10 000 000 000	100	33.2

Tabelle 2: Kontrastumfang D, Dezibel (10 Log D) und Stops (Log2 D).



Der Wert **SNR** (Signal-Rausch-Verhältnis) zieht das Vorhandensein von Rauschen in Betracht, das bedeutet, dass der theoretisch unterste Grauwert gemäß dem Kontrastumfang oft nicht erreicht werden kann. Das SNR ist das Verhältnis zwischen dem maximalen Signal und dem Gesamttrauschen und wird in dB gemessen. Der Höchstwert für das SNR-Verhältnis wird durch das Schrotrauschen begrenzt (das durch die physikalische Beschaffenheit des Lichts gegeben und damit unvermeidlich ist) und kann annähernd dargestellt werden als

$$SNR_{max} = \text{sqrt} [\text{maximale Sättigungsfähigkeit an Elektronen auf einem einzigen Pixel}]$$

Vom SRN-Verhältnis hängt auch die Grenze der Grauwerte ab, die für die Umwandlung zwischen analogem (kontinuierlichem) und digitalem (diskretem) Signal von Bedeutung ist. Wenn zum Beispiel das höchste SNR-Verhältnis 50 dB beträgt, ist ein 8bit-Sensor zu empfehlen, dessen 256 Grauwerte 48 dB entsprechen. Würde man einen Sensor mit höheren Grauwerten einsetzen, würde das bedeuten, dass auch ein gewisses Rauschen erfasst werden würde.

Der Parameter der **spektralen Empfindlichkeit** beschreibt, wie effizient die Lichtintensität auf verschiedenen Wellenlängen erkannt wird. Das menschliche Auge verfügt über drei verschiedene Arten von Lichtrezeptoren, die sich in ihrer Empfindlichkeit in Bezug auf sichtbare Wellenlängen unterscheiden, womit die Kurve der Gesamtempfindlichkeit die Kombination von allen dreien ist. Bildverarbeitungssysteme basieren gewöhnlich auf CCD- oder CMOS-Kameras, die Licht in einem Bereich von 350 bis 900 nm erkennen, wobei der Hauptbereich zwischen 400 und 650 nm liegt. Mit anderen Sensortypen kann auch das UV-Spektrum abgedeckt werden bzw. auf der anderen Seite ein Spektrum nahe dem Infrarotlicht. Und dann können natürlich, unter Einsatz vollkommen anderer Technologien, auch kurzwellige (SWIR) bis langwellige (LWIR) Infrarotbereiche abgedeckt werden.

## EMVA-1288-Standard

Die verschiedenen Parameter, welche die Eigenschaften und Qualität eines Sensors beschreiben, sind im EMVA-1288-Standard zusammengefasst und erläutert. Dieser Standard beschreibt die grundlegenden Parameter, die bekannt sein müssen, um das reale Verhalten eines Sensors beschreiben zu können, zusammen mit den Messmethoden, um diese Parameter zu erfassen.

Die Standard-Parameter sind:

- Empfindlichkeit, Linearität des Signals gegenüber Lichtintensität und Rauschen
- Dunkelstrom (Temperaturabhängigkeit: optional)
- Ungleichmäßigkeiten des Sensors und defekte Pixel
- Spektrale Empfindlichkeit (optional)



	Empfindlichkeit, Linearität und Rauschen	Dunkelstrom	Ungleichmäßigkeiten des Sensors und defektes Pixel	Spektrale Empfindlichkeit
<b>Messverfahren</b>	Test zum Messen der Lichtmenge bei zunehmender Belichtungszeit, von der geschlossenen Blende bis zur Sättigung. Die Lichtmenge wird gemessen (zum Beispiel mit dem Photometer)	Gemessen von dunklen Bildern, die bei zunehmenden Beleuchtungszeiten aufgenommen werden. Da Dunkelstrom temperaturabhängig ist, kann dessen Verhalten bei verschiedenen Temperaturen angegeben werden.	Eine Anzahl von Bildern wird ohne Licht aufgenommen (um „heiße“ Pixel festzustellen) sowie bei einer 50%igen Sättigung. Die Parameter der räumlichen Verzeichnung werden mit dem Fourier-Algorithmus berechnet.	Es werden Aufnahmen bei verschiedenen Wellenlängen gemacht.
<b>Ergebnis</b>	Quantenausbeute (das in % angegebene Verhältnis der konvertierten Photonen gegenüber den insgesamt eintreffenden Photonen).	Das ohne Licht registrierte Signal in Elektronen pro Sekunde.	Ungleichförmigkeit von Dunkel- und Hellsignal	Kurve der spektralen Empfindlichkeit
	Zeitliches Dunkelrauschen, in Elektronen (e-)		Dunkel- und Hell-Spektrogramme sowie (logarithmische) Histogramme	
	Absolute Empfindlichkeitsschwelle (Mindestanzahl an Photonen, um ein Signal zu generieren)			
	Kontrastumfang, angegeben in Stops			
	SNR, in Stops			
	Sättigungsfähigkeit (Höchstanzahl an Elektronen bei Sättigung)			

## Kamera-Parameter

Die **Belichtungszeit** ist die Zeitdauer, während der dem Licht die Möglichkeit gegeben wird, den Sensor zu erreichen. Je höher dieser Wert ist, desto höher ist die Lichtmenge, die auf dem sich ergebenden Bild dargestellt wird.

Die Steigerung der Belichtungszeit ist die erste und einfachste Lösung, wenn nicht genug Licht vorhanden ist, die aber verschiedene Problematiken mit sich bringt. Zunächst einmal nimmt das Rauschen bei Verlängerung der Belichtungszeit zu. Außerdem kann es bei sich bewegenden Objekten zu Verwischungen kommen. Wenn die Belichtungszeit nämlich zu hoch ist, wird das Objekt auf einer Anzahl verschiedener Pixel erfasst, wodurch es zum bekannten Effekt der Bewegungsverwischung kommt (Abb. 5).

Auf der anderen Seite können zu lange Belichtungszeiten zu einer Überbelichtung führen, besonders, wenn eine Reihe von Pixeln ihre Höchstkapazität erreichen und weiß erscheinen, auch dann, wenn die Lichtintensität, die die einzelnen Pixel erreicht, eigentlich verschieden ist.



Abb. 5: Effekt der Bewegungsverwischung.

**Bildfrequenz.** Hiermit wird die Häufigkeit bezeichnet, mit der ein vollständiges Bild vom Sensor erfasst wird; die Angabe erfolgt meistens in Bildern pro Sekunden (frames per second - fps).

Es ist klar, dass die Bildfrequenz auf die Anwendung abgestimmt sein muss. Ein System, das in einer Produktionslinie 1000 Flaschen pro Minute prüfen muss, muss in der Lage sein, Bilder mit einer Mindestfrequenz von  $1000/60 = 17$  fps zu erfassen.

**Auslösung.** Bei den meisten Kameras besteht die Möglichkeit, den Beginn des Bilderfassungsprozesses zu steuern und ihn der Anwendung anzupassen. Bei einem typischen Auslösesystem wird das Licht nach Erhalt eines Signals von einem externen Gerät (z.B. Positionssensor) zusammen mit der Bilderfassung aktiviert.

Diese Technik ist grundlegend, wenn es darum geht, Bilder von sich bewegenden Objekten zu erfassen, um sicherzustellen, dass sich die Eigenschaften, die geprüft werden sollen, im Sichtfeld des Bildverarbeitungssystems befinden.

Die **Ausbeute** bei einer digitalen Kamera stellt das Verhältnis zwischen der Anzahl der erfassten Elektronen und den generierten analog-auf-digital-Einheiten (ADUs) dar, d.h. das Bildsignal. Bei einer Steigerung der Ausbeute nimmt also das Verhältnis zwischen ADUs und erfassten Elektronen zu und führt zu einer sichtbar höheren Helligkeit des Bildes. Natürlich erhöht sich damit auch das Rauschen des Bildes, sodass sich der Gesamt-SNR-Wert nicht ändert.

**Unter Binning** versteht man die Eigenschaft einer Kamera, mehrere benachbarte Pixel im Sensor zusammenzufassen, gewöhnlich in Reihen oder Spalten oder häufiger in 2x2 oder 4x4 Quadraten (siehe Abb. 6). Obwohl die Auflösung in diesem Fall natürlich abnimmt, führt dies zu einer Verbesserung einer Reihe anderer Eigenschaften. Bei einem 2x2-Binning wird die Auflösung halbiert, doch die Empfindlichkeit und der Kontrastumfang werden 4-mal gesteigert (die Kapazitäten jedes einzelnen Potentialtopfes werden summiert), die Auslesezeit wird ebenfalls halbiert (die Bildfrequenz also verdoppelt), das Rauschen wird geviertelt.

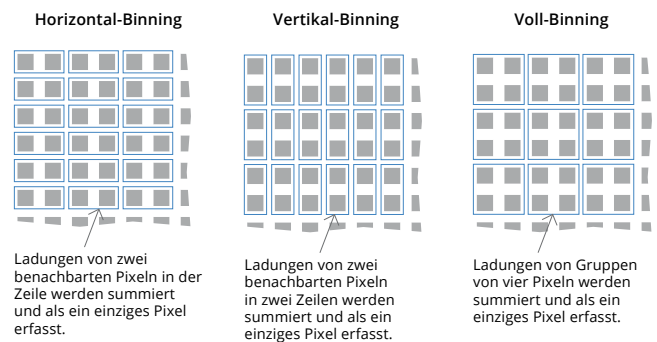


Abb. 6: Sensor-Binning.

## Schnittstellen Digitalkameras

### Camera Link



Der Automated Imaging Association (AIA) Standard, allgemein als Camera Link bekannt, ist ein Standard für schnelle Bildübertragung von Digitalvideos. Der AIA-Standard legt Kabel, Steckverbinder und Kamerafunktionalitäten zwischen Kamera und Framegrabber fest.

**Geschwindigkeit.** Die Camera Link-Schnittstelle bietet in Sachen Geschwindigkeit eine sehr hohe Leistung. Dabei stehen verschiedene Bandbreitenvarianten zur Verfügung, z.B. 255 MB/s, 510 MB/s und 680 MB/s. Von der Bandbreite hängt das Verhältnis zwischen Bildauflösung und Bildfrequenz ab: Eine basis-konfigurierte Kamera kann ein 1 Mpixel-Bild in 50 Frames/s oder mehr erfassen, während eine voll konfigurierte Kamera 4 Mpixel bei über 100 Frames/s erfasst. Camera Link HS ist der neuere Standard, der Werte bis zu 300 MB/s auf einer Leitung und bis zu 6 GB/s auf bis zu 20 Leitungen erreichen kann.

**Kosten.** Camera Link bietet eine mittlere bis Hochleistungserfassung, wobei dazu gewöhnlich teurere Kameras erforderlich sind. Außerdem ist bei diesem Standard ein Framegrabber erforderlich, um die umfangreiche Datenmenge zu verwalten, was bei anderen Standards nicht erforderlich ist.

**Kabel.** Der Camera-Link-Standard legt eine Höchstlänge von 10 m für die Kabel fest. Für basiskonfigurierte Kameras ist ein Kabel erforderlich, für voll konfigurierte Kameras dagegen zwei.

**Stromversorgungskabel.** Camera Link bietet ein PoCL-Modul (Stromversorgung über Camera Link) an, das die Kamera mit Strom versorgt. Auch verschiedene Grabber arbeiten damit.

**CPU-Nutzung.** Da Camera Link Framegrabber benutzt, welche die Bilder als eigenständige Module an einen Computer übertragen, belegt dieser Standard nur einen geringen Platz in der System-CPU.



## CoaXPress



CoaXPress ist der zweite Standard, der nach Camera Link entwickelt wurde. Im Wesentlichen handelt es sich um die Übertragung von Spannungsversorgung, Daten und Kontrollprotokoll für das Remotegerät über ein Koaxialkabel.

**Geschwindigkeit.** Ein einziges Kabel kann bis zu 781.25 MB/s von Remotegerät zum Framegrabber und 20 Mbit/s Steuerdaten vom Framegrabber zum Remotegerät übertragen, das entspricht 5- bis 6-mal der GigE-Bandbreite. Einige Modelle können auf halber Geschwindigkeit laufen (390.625 MB/s). Heute können bis zu 4 Kabel parallel an den Framegrabber angeschlossen werden, sodass eine maximale Bandbreite von etwa 1800 MB/s erreicht wird.

**Kosten.** Im einfachsten Fall benutzt CoaXPress ein einziges Koaxialkabel zur Übertragung der Daten, und Koaxialkabel sind eine einfache Lösung mit geringen Kosten. Andererseits wird ein Framegrabber benötigt, d.h. es muss eine zusätzliche Karte installiert werden, die zusätzliche Kosten für das System mit sich bringt.

**Kabel.** Die maximale Kabellänge bei voller Bandbreite beträgt 40 m, 100 m bei halber Bandbreite.

**Stromversorgungskabel.** Die gelieferte Spannung geht bis zu 13 W bei 24 V, das ist für viele Kameras genug.

**CPU-Nutzung.** CoaXPress verwendet wie auch Camera Link Framegrabber, welche die Bilder als eigenständige Module an den PC übertragen. Damit verbraucht dieser Standard nur wenig Ressourcen der System-CPU.

## Gig-E



Gig-E-Vision ist eine Kamera-Bustechнологie, welche das Gigabit Ethernet standardisiert und ein ‚Plug & Play‘-Verhalten (z.B. automatische Geräteerkennung) hinzufügt. Aufgrund seiner relativ hohen Bandbreite, seines langen Kabels und seinem verbreiteten Gebrauch ist dies eine gute Lösung für industrielle Anwendungen.

**Geschwindigkeit.** Gigabit Ethernet hat eine theoretische Höchstbandbreite von 125 MB/s, die auf 100 MB/s heruntergeht, wenn man bestimmte praktische Einschränkungen in Betracht zieht. Diese Bandbreite ist mit dem FireWire-Standard vergleichbar und wird nur von Camera Link übertroffen.

**Kosten.** Die Systemkosten von GigE Vision sind angemessen und nicht hoch, die Verkabelung ist preiswert, außerdem wird kein Framegrabber benötigt.

**Kabel.** Die Kabellänge ist der wahre Vorteil des GigE-Standards, da Längen bis zu 100 m möglich sind. Dies ist die einzige digitale Lösung, die es in Sachen Kabellänge mit analogem Sehen aufnehmen kann, und eben diese Tatsache hat dazu beigetragen, dass GigE-Vision analoge Systeme, z.B. bei Überwachungsanwendungen, ersetzt hat.

**Stromversorgungskabel.** Oft ist eine Spannungsversorgung über das Ethernet (PoE) an GigE-Kameras vorhanden. Dennoch können einige Ethernet-Karten keine ausreichende Spannungsversorgung bieten, sodass ein Schalter, ein Hub oder ein PoE Injektor erforderlich werden.

**CPU-Nutzung.** Die CPU-Nutzung eines GigE-Systems kann entsprechend den eingesetzten Treibern verschieden sein. Gefilterte Treiber sind allgemeiner und einfacher zu erstellen und zu benutzen, aber wenn sie mit Datenpaketen auf hoher Ebene arbeiten, können sie das CPU-System beeinträchtigen. Optimierte Treiber werden speziell für eine bestimmte Netzwerkschnittstellenkarte geschrieben, sodass ein Betrieb auf einer niedrigeren Ebene nur einen geringen Einfluss auf die CPU-Belastung hat.

## USB 3.0



Der USB (Universal Serial Bus) 3.0-Standard ist die zweite Überarbeitung des USB-Standards, der für die Computerkommunikation entwickelt wurde. Aufbauend auf dem USB 2.0-Standard bietet er eine höhere Bandbreite und bis zu 4.5 W Spannungsversorgung.

**Geschwindigkeit.** Während USB 2.0 eine Geschwindigkeit von bis zu 60 MB/s erreicht, kann USB 3.0 eine Geschwindigkeit von 400 MB/s erreichen, ähnlich der mittleren Konfiguration beim Camera Link-Standard.

**Kosten.** USB-Kameras haben gewöhnlich keine hohen Kosten, außerdem wird kein Framegrabber benötigt. Aus diesem Grund ist eine USB-Kamera die preisgünstigste Lösung, die der Markt heute bietet.

**Kabel.** Das passive USB-3.0-Kabel hat eine Höchstlänge von etwa 7 m, ein aktives USB-3.0-Kabel kann unter Verwendung entsprechender Repeater bis zu 50 m lang sein.

**Stromversorgungskabel.** USB 3.0 bietet eine Spannungsversorgung von bis zu 4.5 W, das bedeutet, dass man auf separate Stromkabel verzichten kann.

**CPU-Nutzung.** Mit USB 3.0 Vision kann das Bild direkt in den Speicher des PC übertragen werden, ohne Nutzung der CPU.

## GenIcam-Standard



Der GenIcam-Standard (GENeric Interface for CAMeras - Allgem. Schnittstelle für Kameras)

wurde entwickelt, um eine Softwareschnittstelle allgemeiner Art für alle Kameras bereitzustellen, unabhängig von der Hardware der Kamera. Einige der neuen Technologie-Standards basieren auf dem GenIcam-Standard (z.B. Camera Link HS, CoaXPress, USB3 Vision).

Das Ziel des GenIcam-Standards besteht darin, eine ‚Plug&Play‘-Lösung für Bildverarbeitungssysteme jeder Art bereitzustellen.

Es besteht aus drei Modulen, mit denen die Hauptaufgaben, auf die es beim maschinellen Sehen ankommt, auf eine allgemeine Art gelöst werden:

- GenApi: Verwendung einer Datei im XML-Format, Möglichkeit der Kamerakonfiguration und der Zugriffssteuerung.
- Standard Feature Naming Convention (SFNC): Hierbei handelt es sich um empfohlene Bezeichnungen für gemeinsame Kamera-Eigenschaften zur Förderung der Kompatibilität.
- GenTL: Beschreibt die Schnittstelle der Transportschicht zum Spezifizieren der der Kameras, Erfassen der Bilder und ihrer Übertragung an die Benutzerschnittstelle.