



# ITWissen

Das große Online-Lexikon  
für Informationstechnologie

Glossar

Bildsensoren

- **Auflösung**
- **Bayer-Filter**
- **Bildrauschen**
- **Bildsensor**
- **Binning**
- **Blooming**
- **Candela**
- **CCD, charged coupled device**
- **CMOS-Sensor**
- **Dynamik**
- **EXR-Sensor**
- **Farbfilter**
- **Farbprofil**
- **Farbraum**
- **Farbtiefe**
- **FF-CCD, full frame CCD**
- **FIT-CCD, frame interline transfer CCD**
- **Fotodiode**
- **Fototransistor**
- **FourThirds**
- **Foveon-X3-Sensor**
- **FT-CCD, frame transfer CCD**
- **Interferenzfilter**
- **IT-CCD, interline transfer CCD**
- **Lichtempfindlichkeit**
- **Lichtstrom**
- **Lichtstärke**
- **Megapixel**
- **Pixel, picture element**
- **ppi, pixel per inch**
- **Impressum**

## Auflösung *resolution*

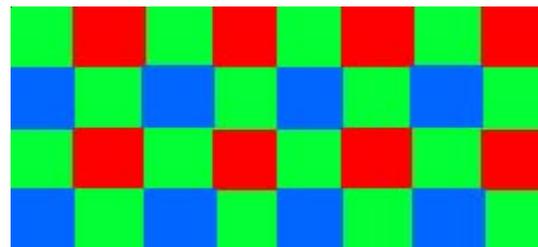
Auflösung ist der kleinste unterscheidbare Unterschied zwischen zwei Zuständen, Pegeln, Farben, Tönen oder physikalische Größen.

In Eingabe- und Wiedergabeeinrichtungen wie Scanner, Digitalkameras, Camcorder, Monitore und Drucker ist die Auflösung ein Maß für die Detailerkennung. Sie gibt an, wie viele nebeneinander liegende Linien getrennt erkennbar wiedergegeben werden können. Die Bildschirmauflösung gilt für die horizontale und vertikale Richtung und wird in Punkten oder Zeilen pro Längeneinheit angegeben, z.B. 600 Dots per Inch (dpi), Lines per Inch (lpi) oder in Deutschland auch in Linien pro cm (Lpcm). Bei Bildschirmen bezieht sich diese Angabe auf die gesamte Bildschirmgröße.

## Bayer-Filter

CMOS- und *CCD-Sensoren* sind helligkeits-, nicht aber farbempfindlich. Damit die *Bildsensoren* Farben selektieren können, muss das Licht, bevor es auf die *Fotodioden* trifft, den Primärfarben nach ausgefiltert werden. Beim Bayer-Filter befinden sich für diesen Zweck vor jedem einzelnen *Pixel* ein integriertes *Farbfilter* für eine der drei Primärfarben Rot (R), Grün (G) oder Blau (B).

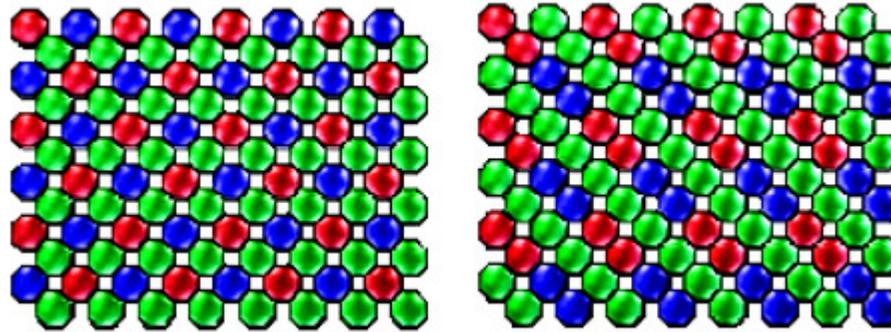
Das Bayer-Filter, benannt nach dem Eastman-Kodak-Mitarbeiter Dr. Bryce E. Bayer, adaptiert



*Bayer-Filter zur Farbselektion für  
Bildsensoren*

die Augenempfindlichkeitskurve, die im Grün-Bereich eine wesentlich höhere Empfindlichkeit aufweist als bei anderen Farben. Aus diesem Grund sind doppelt so viele Pixel mit einem Grünfilter ausgestattet, als mit einem Rot- und Blaufilter, wobei die grünen Filter zeilenweise um einen Pixel verschoben sind. Fällt Licht auf das Bayer-Filter, dann setzt jeder Pixel eine der drei Primärfarben in eine Spannung um. Da sich natürliche

# Bildsensoren



*Bayer-Filter und Filter mit Pixel-Binning vom EXR-Sensor*

Farben aus vielen Farbtönen zusammensetzen, wird je nach Lichtintensität und Farbton die erzeugte Spannung an einem Pixel höher sein, an den benachbarten hingegen geringer. Um ein realistisches Bild zu erhalten, werden die Farbwerte der Nachbarpixel mit in den Farbwert des zentralen Pixels einbezogen. Dies erfolgt mittels Interpolation nach einem herstellerspezifischen Algorithmus. Die endgültige Farbe ergibt sich durch Farbmischung aus dem RGB-Farbmodell.

Fujifilm hat die Farbfilter-Pixelanordnung des Bayer-Filters geändert und kombiniert jeweils zwei Farbfilter-Pixel mit gleicher Farbe nebeneinander. Dadurch können im CCD-Sensor zwei benachbarte Pixel zu einem zusammengefasst werden. Dieses Zusammenfassen wird als *Pixel-Binning* bezeichnet. Der Vorteil dieser im *EXR-Sensor* realisierten Technik liegt in der höheren Empfindlichkeit und dem größeren *Dynamikbereich* gegenüber anderen CCD-Sensoren. Der EXR-Sensor ist im Wesentlichen ein umschaltbarer Bildsensor, der sein komplexes elektronisches Verhalten den Aufnahmebedingungen anpassen kann.

Mit Bildrauschen bezeichnet man die störende Bildpartikel in Digitalfotos, die die Qualität des Bildes mindern. Bildrauschen entsteht durch das Eigenrauschen von elektronischen Komponenten und Schaltungen wie dem *Bildsensor* und dem Bildverstärker. Vom Effekt her ist es vergleichbar dem Filmkorn in der klassischen Fotografie.

**Bildrauschen**  
*picture noise*

# Bildsensoren

Bildrauschen tritt überall dort auf, wo Bilder mittels Digitalkamera, Camcorder, Scanner oder Filmabtaster digital aufgenommen, gewandelt, verstärkt und bearbeitet werden. Für den Betrachter ist das Rauschen ein störender Effekt, der sich in den verschiedenen elektronischen Komponenten kumuliert und durch das Verhältnis zwischen Nutzsignal und Störsignal, dem Signal-Rausch-Verhältnis (S/N), bewertet wird. Ab einer gewissen Größe wird das Bildrauschen als nicht mehr störend empfunden. Diese Größe liegt bei einem Signal-Rausch-Verhältnis von größer 25.

Das Bildrauschen ist die Kumulation von Helligkeitsrauschen und Farbrauschen, von Schrotrauschen und Verstärkerrauschen. Wie jedes andere Rauschen auch, entsteht das

Bildrauschen durch Pegelschwankungen.

Besonders ausgeprägt ist es bei dunklen Bildern und hoher *Lichtempfindlichkeit*, weil die einzelnen CMOS- oder *CCD-Sensoren* unterschiedlich empfindlich sind und weil zudem bei dunklen Bildern der dem Bildsensor nachgeschaltete Verstärker stärker angesteuert werden muss. Des Weiteren ist das Rauschen abhängig von der Pixelgröße der CCD-Elemente. Je größer diese sind, desto geringer ist das Helligkeitsrauschen, und je größer die Lichtempfindlichkeit ist, desto größer ist das Bildrauschen. Das bedeutet aber andererseits, dass CCD- oder *CMOS-Sensoren* mit vielen kleinen, dicht bei einander liegenden Pixeln, ein höheres Bildrauschen haben als



**Mit Bildrauschen**

**Ohne Bildrauschen**

*Foto mit und ohne Bildrauschen*

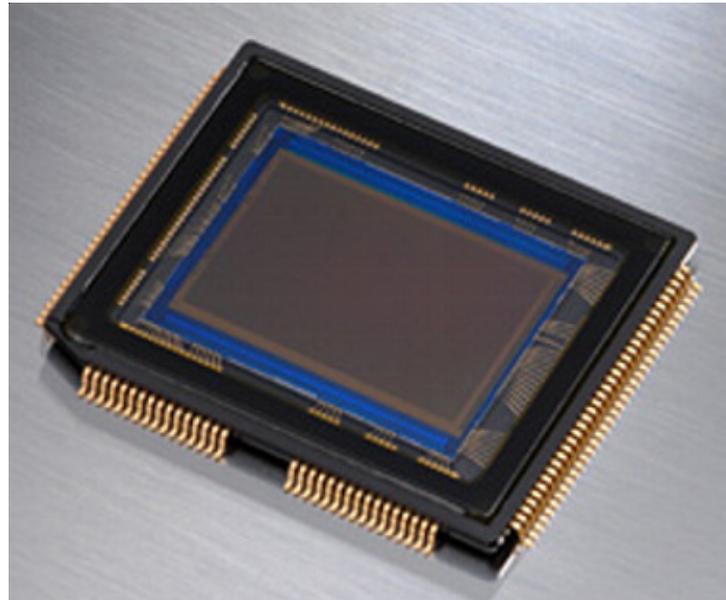
# Bildsensoren

Digitalkameras mit geringer *Auflösung*.

Das Problem des Bildrauschens ist am einfachsten mit einem größeren Bildsensor mit größeren Pixeln zu beheben oder mit weniger *Pixel* auf gleicher Sensorfläche. Ein solcher Sensor empfängt mehr Licht pro Pixel und erzeugt dadurch mehr Photonen und ein stärkeres Signal, das besser verstärkt und weniger von thermischem Rauschen beeinträchtigt wird.

## Bildsensor *picture sensor*

Bildsensoren sind lichtempfindliche Sensoren, die Helligkeit in Spannung umsetzen. Sie bilden die zentrale elektronische Komponente von Digitalkameras und Camcorder und treten an Stelle des Negativfilms in Analogkameras. Bildsensoren sind flächenmäßige Sensoren, die aus



CMOS-Sensor mit 12 MPixel, Foto: europe-nikon

vielen kleinsten lichtempfindlichen Fotozellen bestehen, die matrixmäßig in Reihen und Spalten angeordnet sind. Aufnahmeelemente können *Fotodioden* oder *Fototransistoren* sein, die mittels Photoeffekt das auf sie fallende Licht in Spannung umsetzen.

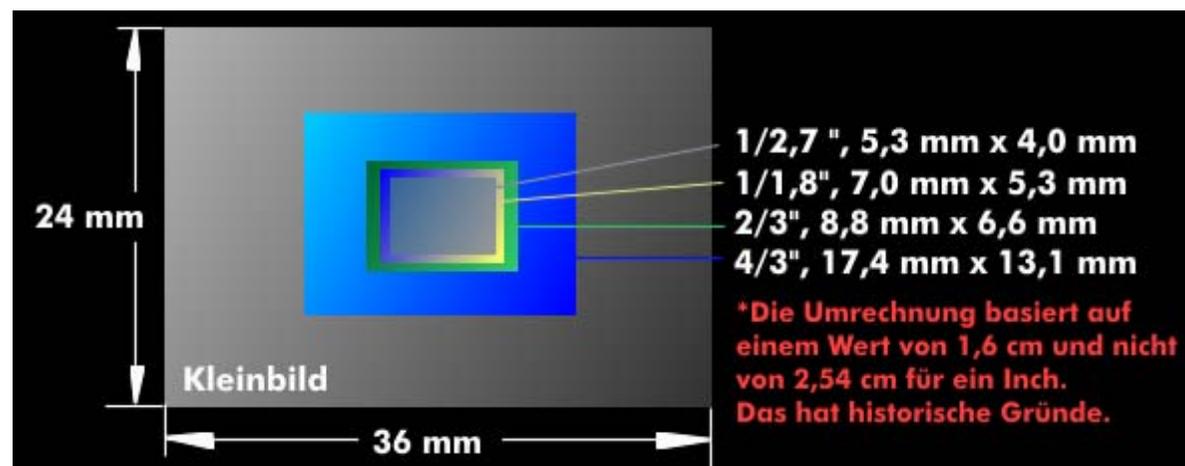
Bildsensoren unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Technologie, ihrer Größe und der Pixelzahl. Die am häufigsten benutzten Basis-Technologien sind *Charged Coupled Device* (CCD) und Complementary Metal Oxide Semiconductor (CMOS) für *CMOS-Sensoren*. Von diesen Technologien gibt es einige Weiterentwicklungen, die

# Bildsensoren

sich durch verbesserte Kennwerte auszeichnen. So den *Foveon-X3-Sensor*, den Contact Image Sensor (*CIS*), den Digital *Pixel Sensor (DPS)*, die Intensified Charge Coupled Device (*ICCD*), die Super Charge Coupled Device (*SCCD*) oder den Backside Illumination Sensor (*BSI*). Bei diesem Bildsensor liegt die lichtempfindliche Schicht über der Metallisierungsebene, wodurch das einfallende Licht nicht durch die Metallisierung gedämpft wird.

In Zusammenhang mit der Sensor- resp. Chipgröße sind die Fotozellengröße und die Fotozellenzahl, zu sehen. Alle drei Kennwerte stehen in einer Beziehung zueinander und bestimmen die Bildauflösung, die *Lichtempfindlichkeit*, den *Dynamikumfang* und das *Bildrauschen*. Die eigentliche Sensorgröße bezieht sich ausschließlich auf den Sensorchip. Es gibt festgelegte Sensorgrößen, die zwischen 4,5 x 3,0 mm und 48 x 36 mm liegen. Die kleineren Größen haben Zollangaben, so 1/3,2", 1/2,7", 1/2,5", 1/1,8", 1/1,7" und 2/3".

Betrachtet man die Millimeterangaben, dann wird man nicht auf die entsprechenden Werte

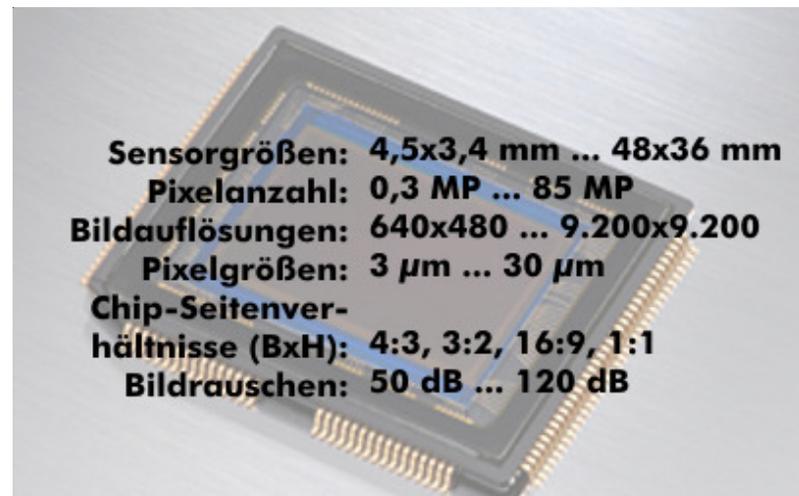


Größe der verschiedenen Bildsensortypen

kommen. So ist beispielsweise die Sensorgröße 2/3" 8,8 x 6,6 mm groß. Das hat historische Gründe, die in der nutzbaren Fläche der früheren Bildaufnahme- röhren, den

# Bildsensoren

Vidikons, liegen. Bei diesen Aufnahmeröhren wurde der Durchmesser des Glaskolbens in Inch angegeben. Die effektive Größe der lichtempfindlichen Aufnahme­fläche innerhalb des Glaskolbens war wesentlich kleiner. Die Diagonale der Aufnahme­fläche betrug lediglich 16,8 mm, bei einem Bildseitenverhältnis von 4:3, und dieser Wert bildet die Basis für die Größe der Bildsensoren. Die größeren Sensorformate heißen *FourThirds*, was einer Chipgröße von 22,5 mm Diagonale entspricht, *APS-C* und Kleinbildformat, das wie bei klassischen Kleinbildkameras 36 x 24 mm beträgt. Dieses Format wird auch als Vollformat bezeichnet. Was die Pixelzahl betrifft, so ist diese abhängig von der Chipgröße und der Pixelgröße. Die Pixelzahl selbst, die ein Maß für die Bildauflösung ist, wird in *Megapixel* (MP) angegeben. Bei der Angabe handelt es sich um die tatsächliche Anzahl an Pixel, die die Kamera darstellen kann, nicht um die Anzahl an Fotozellen. Sie liegt bei Bildsensoren zwischen 0,3 MP und 10



Kennwerte von Bildsensoren

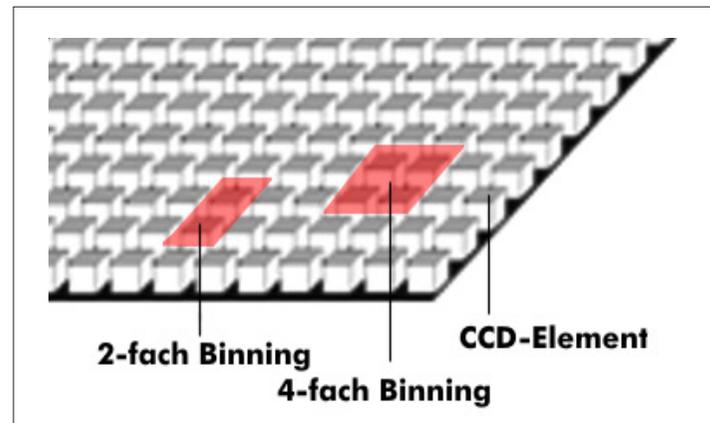
MP, in professionellen Digitalkameras beträgt sie ein Vielfaches von 10 MP. Aus der Pixelzahl kann man über das Bildseitenverhältnis die Bildauflösung bestimmen. Bildsensoren haben Seitenverhältnisse von 4:3, aber auch von 3:2, 16:9 oder 1:1. Bei 1 Megapixel und einem Bildseitenverhältnis von 4:3 ergibt sich eine Bildauflösung von 1.152 Pixel in der Horizontalen und 864 in der Vertikalen, bei 10 MP sind es 3.650 x 2.750 Pixel.

Was die Pixelgröße betrifft, so liegen

diese in der Praxis zwischen  $1,5\ \mu\text{m}$  und ca.  $30\ \mu\text{m}$ . Je größer ein Pixel ist, desto mehr Licht kann es aufnehmen und desto größer ist seine Lichtempfindlichkeit. Andererseits verringert sich bei größeren Pixeln die Bildauflösung aber auch das Bildrauschen. Es geht also darum für Digitalkameras einen sinnvollen Kompromiss zwischen diesen drei Größen herzustellen. Da die eigentlichen Halbleitersensoren nur Helligkeitswerte nicht aber Farbtöne unterscheiden können, müssen die Helligkeitssignale, bevor sie auf die eigentlichen Halbleitersensoren treffen, mittels *Farbfilter* in die Primärfarben zerlegt werden. Daher sind bei vielen Konsumer-Kameras unmittelbar auf den Halbleitersensoren *Bayer-Filter* oder wie beim *EXR-Sensor* andere Farbfilter integriert. Andere Techniken wie der Foveon-X3-Sensor nutzen ein mehrschichtiges Filterkonzept.

## Binning

1. Die Bezeichnung Binning kommt von gruppieren (to bin). Binning ist eine Technik, die in *Bildsensoren* angewendet wird, und bei der mehrere *Pixel* zu einem größeren Pixel zusammengefasst werden.



Prinzip des Binning

Mit dem Zusammenfassen mehrerer Pixel wird die *Lichtempfindlichkeit* gesteigert, gleichzeitig werden aber die Bildauflösung aber vor allem das *Bildrauschen* verringert. Die Bildauflösung reduziert sich mit der Anzahl der zusammengefassten Pixel. Binning kann zwischen benachbarten horizontalen und vertikalen Pixeln erfolgen, und auch in beiden Richtungen. Es gibt das 2-fach Binning, bei dem zwei Pixel zu einem

größeren zusammengefasst werden, aber auch das 4-fach und 8-fach Binning.

2. In der Licht- und Beleuchtungstechnik wird der Begriff Binning für die farbliche Klasseneinteilung der Farbtemperaturen von Weiß benutzt.

Mit dieser von ANSI spezifizierten Klasseneinteilung wird der mit der Correlated Color Temperature (CCT) für Weiß in Kaltweiß, Neutralweiß und Warmweiß unterteilt, wobei jeder Weißbereich nochmals in zwölf und mehr Farbtemperaturbereiche untergliedert ist. Die einzelnen Farbtemperaturflächen sind im *CIE-Farbraum* mit Buchstabenkombinationen gekennzeichnet. So gibt es beispielsweise bei Kaltweiß die Farbfläche UO, deren Farbtemperatur bei 4.500 Kelvin liegt und die im CIE-Farbraum in den Koordinaten  $y$  0,37 und  $x$  0,35 liegt.

Mit den im Binning festgelegten Farbflächen werden Leuchtdioden eindeutig in ihrem Weißton gekennzeichnet.

## Blooming



*Blooming-Effekt*

Das englische Wort Blooming bedeutet aufblühen oder strahlen. Blooming ist ein Übersteuerungseffekt, der bei Digitalfotos auftritt und der dadurch gekennzeichnet ist, dass bestimmte Bildbereiche überbelichtet sind und keine Zeichnung mehr haben. Der Blooming-Effekt tritt besonders bei Digitalkameras mit *CCD-Sensoren* auf und ist auf das Überlaufen der sogenannten Potentialtöpfe zurückzuführen. Die Potentialtöpfe füllen sich bei Belichtung mit elektrischer Ladung, die linear mit der Lichtmenge ansteigt. Sie ist abhängig von der

Lichtintensität und der Belichtungszeit. Wird die Ladungskapazität der Potentialtöpfe überschritten, dann fließt die Ladung teilweise in die Potentialtöpfe der benachbarten CCD-*Pixel* und hebt dadurch deren Ladungspotential an. Durch die Ladungsanhebung wird die ausgelesene Ladung höher und damit der Pixel heller dargestellt.

Das Blooming kann durch konstruktive Maßnahmen verringert wie Isolationsstege und Anti Blooming Gates zwischen den einzelnen Pixeln verringert werden.

## Candela

*cd, candela*

Candela (cd) ist die Maßeinheit für die *Lichtstärke*, für die von einer Lichtquelle in einer bestimmten Richtung abgestrahlten Lichtenergie. Definitionsgemäß ist es die Energie, die ein schwarzer Strahler mit  $1/60$  qcm Oberfläche bei der Schmelztemperatur von Platin, bei  $1.770$  °C während einer Sekunde ausstrahlt. Die Einheit Candela gehört zu den Basiseinheiten des Einheitensystems (SI). Je höher der Candela-Wert ist, desto heller ist das emittierte Licht. Ein Candela ist in 1.000 Millicandela (mcd) unterteilt.

Bezieht man die Lichtstärke auf eine Flächeneinheit, erhält man die Leuchtdichte.

Zwischen der Lichtstärke und dem *Lichtstrom* gibt es eine Beziehung über den Raumwinkel in Steradian. Danach ergibt sich Candela aus dem Verhältnis von Lumen zum Raumwinkel.

Typische Candela-Werte liegen im Wohnraum zwischen 3 und 12 Candela, im Büro zwischen 10 und 20 Candela und Schaufenster haben zwischen 60 und 300 Candela.

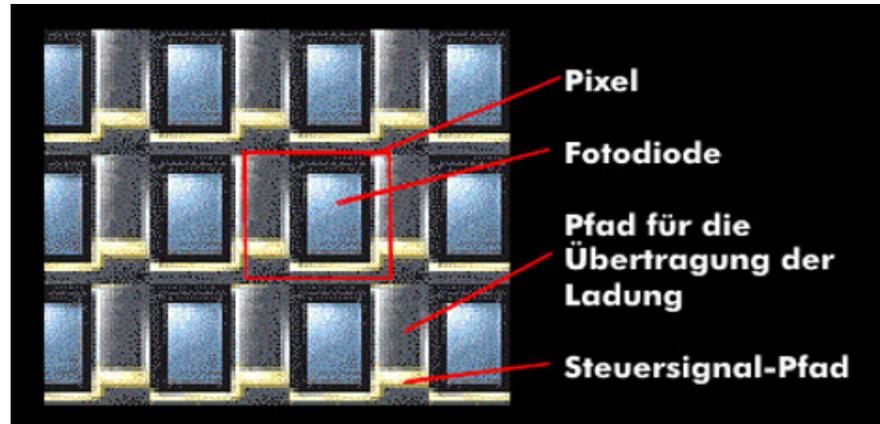
## CCD, charged coupled device

*CCD-Sensor*

Charge Coupled Devices (CCD) sind Halbleiter-Arrays, die Lichtsignale in elektrische Signale wandeln. CCD-Komponenten werden als *Bildsensoren* in Digitalkameras, digitalen Videokameras, Camcordern und anderen optischen Erfassungseinrichtungen wie Scannern und Röntgendetektoren eingesetzt.

Ein CCD-Element ist ein Halbleiter-Array aus *Fotodioden*, kleinsten Kapazitäten,

# Bildsensoren

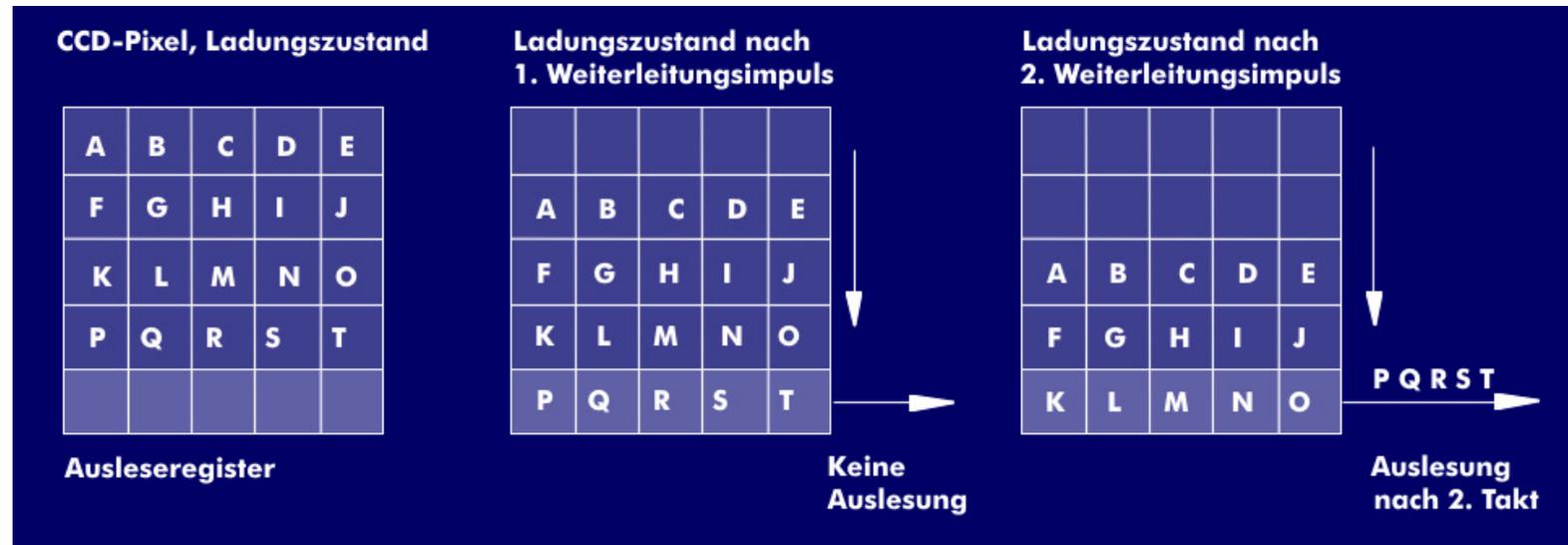


Aufbau eines CCD-Elementes mit Steuer- und Ladungspfaden

Feldeffekttransistoren, Steuerleitungen und Leitungspfaden. Wenn Licht auf die Fotozelle fällt, erzeugt sie eine Elektronenladung, die linear mit der Lichtmenge, also der Lichtintensität und der Belichtungsdauer, ansteigt. Die Elektronenladung wird als momentanes Ladungsbild in einem sogenannten Potentialtopf,

einer Kleinstkapazität, zwischengespeichert. Wenn der Potentialtopf gefüllt ist, können Elektronen auch in die Potentialtöpfe der Nachbarpixel abfließen. Dieser störende Effekt heißt *Blooming*. Das gesamte Ladungsbild des CCD-Sensors entspricht somit der Lichtintensität an jedem einzelnen *Pixel*. Bevor aus den Ladungszuständen der Pixel das Spannungsbild für das projizierte Licht erzeugt wird, werden die Ladungszustände nach bestimmten Schemen von den Ladungssenken ausgelesen, nach außen geführt und dort aufbereitet.

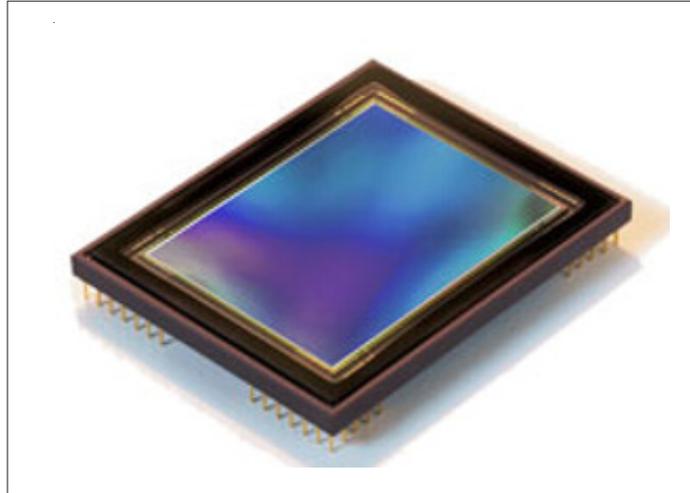
Die Bezeichnung Charge Coupled Device (CCD) sagt aus, dass es sich um ein Bauelement mit Ladungskopplung handelt. Beim Auslesen der elektrischen Ladung aus den vielen Potentialtöpfen werden die Ladungen von einem zum nächsten Potentialtopf verschoben, jeweils ausgelöst durch einen Weiterleitungsimpuls. Dieses Verfahren wird auch als Kettenspeicher oder Eimerkettenschaltung bezeichnet. Die Ladung jeder einzelnen Kleinstkapazität wird also nacheinander zum Zeilenende transportiert und steht dort als Ladungsabbild für die Weiterverarbeitung zur Verfügung. Die Weiterleitung der Ladung erfolgt



In CCD-Sensoren angewandtes Eimerkettenprinzip

über Feldeffekttransistoren (FET), über die die Potentialtöpfe, die als Transfer-Register fungieren, miteinander verbunden sind. Während des Auslesens darf kein Licht auf den CCD-Sensor fallen, da sich dadurch die Ladungen auf den Transfer-Registern verändern würden. Aus diesem Grund gibt es verschiedene Auslesevorgänge, die das Ladungsproblem unterschiedlich angehen: Den *Full Frame Transfer CCD (FF-CCD)*, *Frame Transfer CCD (FT-CCD)*, *Interline Frame Transfer CCD (IT-CCD)* und *Frame Interline Transfer CCD (FIT-CCD)*. Generell werden beim Auslesevorgang die Ladungen reihenweise von Pixel zu Pixel verschoben und am Reihenende seriell dem Ausleseverstärker zugeführt.

Die CCD-Technik zeichnet sich durch eine enorme *Lichtempfindlichkeit* und hohe *Auflösung* aus, wodurch auch bei geringer Helligkeit Ladungsbilder erstellt werden können. Die Bildauflösung ist von einer dynamischen Entwicklung gekennzeichnet. So gibt es bereits



CCD-Sensor mit 12 MPixel, Foto: Dalsa.com

sind, nicht aber farbempfindlich, müssen die Lichtsignale für die Farberfassung vor der Umwandlung über *Farbfilter*, einem *Bayer-Filter* oder einem *Interferenzfilter*, in die Primärfarben rot, grün und blau gefiltert werden. Beim Bayer-Filter ist jedem einzelnen CCD-Pixel ein eigenes Farbfilter vorgeschaltet. Da die Farbfilter die physikalische Auflösung des Bildsensors reduzieren, wird durch Interpolation der Helligkeitswerte der Nachbarpixel jedem Bildpunkt des Sensors ein eigener RGB-Wert zugewiesen. Eine Alternativtechnik für die Farbtrennung bietet der *Foveon-X3-Sensor*.

Zur Erhöhung der Empfindlichkeit und zur Verbesserung der Bildqualität von CCD-Sensoren gibt es verschiedene Entwicklungen, wie die wabenförmigen Pixel und die Drehung des CCD-Arrays um 45 Grad. In dem ClearVid-Sensor von Sony oder den *EXR-Sensor* von Fujifilm sind andere Pixelanordnungen realisiert. Beim EXR-Sensor ist die Anordnung so, dass zwei nebeneinander liegende Pixel mittels *Pixel-Binning* zusammengefasst werden können.

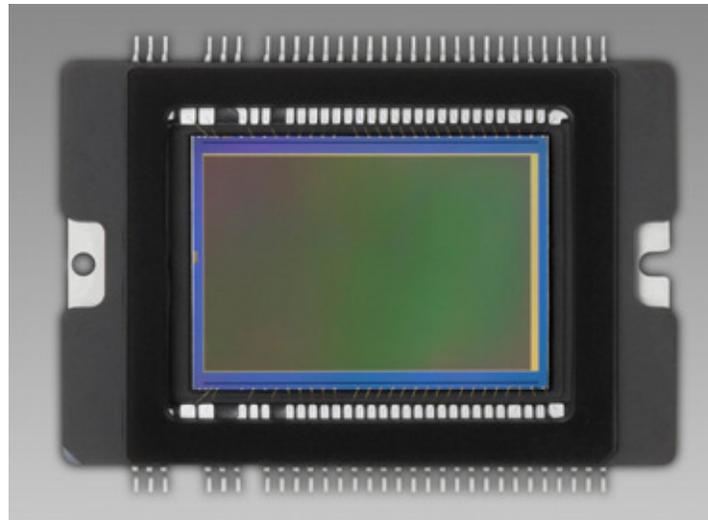
Konsumer-Kameras mit 10 *Megapixeln* (MP) und mehr. Technisch wurden bereits CCD-Sensoren mit 100 Megapixeln entwickelt. Ein weiterer Aspekt ist der hohe *Dynamikbereich*, der im Bereich von 1:10.000 liegt, und damit über 10.000 Helligkeitsstufen repräsentiert. Das entspricht einer Quantisierung von  $2^{\text{exp}13}$  und höher. Die Chipgrößen von CCD-Sensoren liegen zwischen wenigen Millimetern und dem von Kleinbildkameras her bekannten Kleinbildformat.

Da CCD-Sensoren nur helligkeitsempfindlich

## CMOS-Sensor

Der CMOS-Sensor ist ein *Bildsensor*, der in Digitalkameras und Camcordern eingesetzt wird. Ebenso wie *CCD-Sensoren* sind CMOS-Sensoren lichtempfindliche Bauteile, die das auf sie fallende Licht in Spannungen umsetzen. Funktional unterscheiden sich beide elektronische Bauteile dadurch, dass bei CCD-Sensor das Ladungsbild schrittweise verschoben und dann ausgelesen wird, beim CMOS-Sensor hingegen erfolgt die Umwandlung durch Transistoren, die sich unmittelbar am *Pixel* befinden.

Was die spezifischen Daten wie die *Lichtempfindlichkeit*, die Pixelzahl, die Auslesegeschwindigkeit, die Chipgröße, das *Bildrauschen* oder den mit dem Bildrauschen in Zusammenhang stehenden *Dynamikbereich* betrifft, so wurden diese Werte im Laufe der Entwicklung wesentlich verbessert und sind qualitativ durchaus vergleichbar oder teilweise



CMOS-Sensor mit 22 x 15 mm Chipgröße, EOS1000D von Cannon

besser als die von CCD-Sensoren. CMOS-Sensoren können kompakter und preiswerter produziert werden. Die *Auflösung* von CMOS-Sensoren liegt bei bis zu zehn *Megapixel* (MP) und darüber. Da jeder Pixel direkt adressierbar ist, ist das *Pixel-Binning* einfacher und das Auslesen wesentlich flexibler und schneller. Es können sogar Teilbilder partiell ausgelesen werden. Außerdem ist die Leistungsaufnahme wesentlich geringer und das *Blooming* begrenzt. In die in CMOS-Technologie gefertigten Bildsensoren können zudem

weitere Funktionseinheiten wie Belichtungskontrolle und AD-Wandler integriert werden. Vom Aufbau her besteht eine aktive CMOS-Zelle aus einer *Fotodiode*, einem kleinen Kondensator für die Ladungsaufnahme, einem Verstärkerelement und den Datenleitungen für das Auslesen und Rückstellen.

Eine solche aktive Zelle wird als Active Pixel Sensor (*APS*) bezeichnet. Die Fotozelle erzeugt mittels Photoeffekt eine Spannung, die proportional der Lichtmenge ist, also der Lichtintensität und der Belichtungszeit. Die Ladespannung wird im Kondensator gespeichert und von dem nachgeschalteten MOSFET verstärkt. Ausgelesen wird die verstärkte Ladespannung durch einen Auslesepuls. Sie gelangt von dort als Analogspannung an den verarbeitenden Signalprozessor.

Wie andere Bildsensoren auch, kann der CMOS-Sensor nur hell und dunkel unterscheiden, nicht aber die Farben. Die Farberkennung kann nur über vorgeschaltete *Farbfilter* erfolgen, die das Licht in seine Primärfarben Rot (R), Grün (G) und Blau (B) aufteilen. Über ein solches vorgeschaltetes Farbfilter wird jedem Pixel eines CMOS-Sensors nur Licht einer Primärfarbe zugeführt. Die dafür benutzten Farbfilter, die aus regelmäßig angeordneten roten, grünen und blauen Farbfiltern bestehen, können *Bayer-Filter* oder *Interferenzfilter* sein.

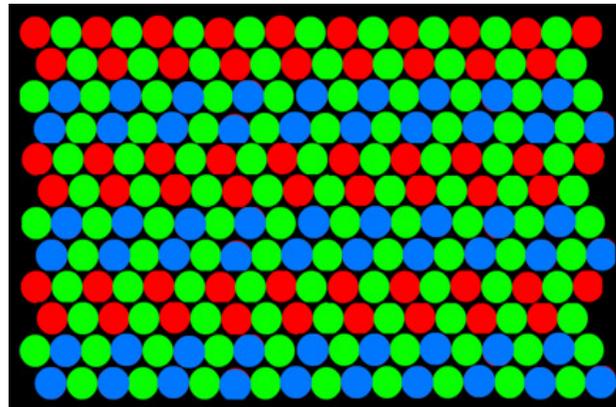
Bildsensoren haben vereinheitlichte Formate, die in Inch angegeben werden und die Sensordiagonale betreffen. Standardformate liegen zwischen 1/2,7" mit einer Diagonalen von 5,9 mm und 4/3" mit einer solchen von 21,3 mm. Neben den kleinformatigen Bildsensoren gibt es auch großformatige mit Größen bis hin zum Kleinbildformat mit 36 mm x 24 mm. Es ist allerdings darauf zu achten, dass die Berechnungsgrundlage für ein Inch nicht 25,4 mm ist, sondern 16,8 mm. Das hat historische Gründe und hängt mit den früheren Größenangaben für Bildaufnahmeröhren zusammen.

## Dynamik *dynamics*

1. In der Digitalfotografie und der Bildverarbeitung entspricht der Dynamikumfang dem Bereich zwischen hellster und dunkelster Bildstelle. So wird der Dynamikbereich von Aufnahmeeinrichtungen wie Digitalkameras oder Camcordern durch die Helligkeitsauflösung bestimmt. Bei 8 Bit sind es 256 Helligkeitsstufen, also ein Dynamikumfang von 1:256, was in der Fotografie einem Blendenumfang von 6,5 Blendenstufen entspricht.
2. Die Dynamik kann auch in Dezibel (dB) angegeben werden und betrifft das Verhalten von Vierpolen wie Verstärker, Kompander, Sensoren, AD-Wandler usw. Darstell- und Aufnahmeeinheiten wie Displays oder *CCD-Sensoren*, aber auch Audio-Komponenten oder Lautsprecher.

## EXR-Sensor

*Bildsensoren* haben in Abhängigkeit von ihrer Größe und der Anzahl der *Pixel* eine mehr oder weniger hohe *Lichtempfindlichkeit*. Um diese zu erhöhen und das damit in Zusammenhang stehende *Bildrauschen* zu verringern, haben einige Hersteller von Bildsensoren spezielle



*Pixelanordnung beim EXR-Sensor von Fuji*

Technologien für eine möglichst hohe Lichtausbeute entwickelt. Der EXR-Sensor von Fujitsu ist ein solcher Bildsensor mit optimierter Lichtausbeute, der *Foveon-X3-Sensor* ein weiteres.

Der Entwicklung des EXR-Sensors liegt die Überlegung zugrunde, dass die Schärfeentscheidenden Linien für die Luminanz, also das Helligkeitsempfinden, bei einem Winkel von 45 Grad am höchsten ist. Aus diesem Grund ist beim EXR-Sensor das Abtastraster der Pixelelemente

um 45 Grad gegenüber der horizontalen Anordnung gedreht. Die Anordnung der *Fotodioden* hatte zudem den Vorteil, dass die Pixel enger beieinander liegen, als in horizontaler Anordnung. Dies hat ein geringeres Bildrauschen und damit ein verbessertes Signal-Rausch-Verhältnis (S/N) zur Folge. Das benutzte *Farbfilter* ordnet immer zwei gleichfarbige Pixel einander zu und hat damit eine andere Anordnung als das *Bayer-Filter*. So können benachbarte Pixel einfacher mittels *Binning* miteinander kombiniert werden.

Vor dem Farbfilter befindet sich beim EXR-Sensor noch ein Mikrolinsensystem, das die Lichtmenge auf das jeweilige Pixel fokussiert. Der EXR-Sensor hat doppelt so viele Grün-Pixel wie rot oder blau. Das hängt damit zusammen, dass die Augenempfindlichkeit im Grünbereich am höchsten ist.

## Farbfilter *color filter*

Farbfilter sind optische Filter, die Helligkeitssignale in ihre Farbanteile zerlegen. Je nach Einsatz kann es sich bei Farbfiltern um großflächige farbige Glasscheiben handeln, die als Farbrad in Projektoren rotieren oder um feinpixelige Filter-Array, wie bei den Streifen- oder *Bayer-Filtern*, die sich unmittelbar vor dem CMOS- oder *CCD-Sensor* einer Digitalkamera befinden. Farbfilter werden in Digital- und Videokameras eingesetzt, aber auch in Scannern, Displays und Projektoren. Bekannte Farbfilter, die vor *Bildsensoren* in Digital- und Videokameras angebracht sind, sind Streifenfilter, Bayer-Filter und *Interferenzfilter*. Dichroitische Filter werden in Displays und Projektoren eingesetzt, wobei Letztere auch mit einem rotierenden Farbrad arbeiten. Bei den Scannern werden die Helligkeitssignale über Prismen in ihre Farbanteile zerlegt.

## Farbprofil *color profile*

Farbprofile sind gerätespezifische Farbcharakteristiken. Jedes Peripheriegerät, ob Digitalkamera, Scanner, Monitor oder Farbdrucker hat eigene Farbinterpretationen, die sich in

unterschiedlichen Farbmodellen, Farbräumen oder Farbtönen bemerkbar machen. So nutzen Eingabegeräte wie Scanner, Digitalkameras, Camcorder usw. das RGB-Farbmodell, ebenso wie Monitore und Displays, dagegen benutzten Drucker und Druckmaschinen das CMY- bzw. CMYK-Farbmodell.

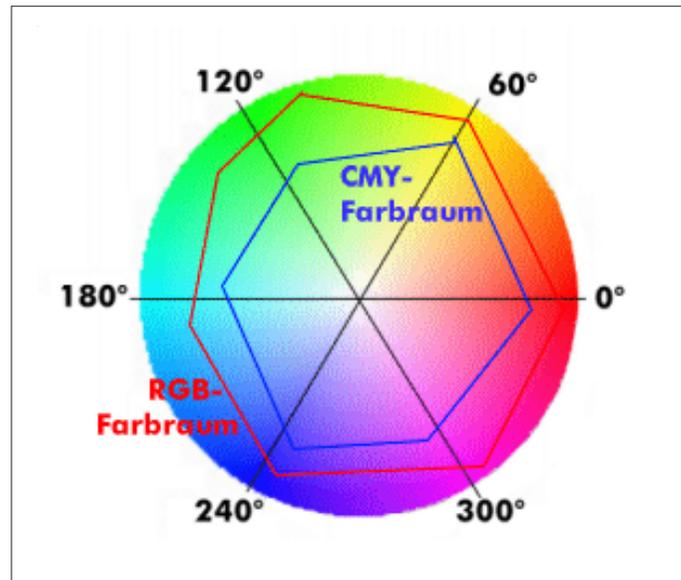
Diese gerätespezifischen Farbmodelle und Farbprofile werden von den Herstellern tabellarisch dokumentiert. Damit auf allen Ein- und Ausgabegeräten die Farben identisch dargestellt und ausgegeben werden, müssen die unterschiedlichen Farbprofile einander angepasst werden. Dazu werden die Farbprofile der Geräte mit einem geräteunabhängigen Referenzprofil verglichen. Die Abweichungen in den Profilen werden über das Farbmanagement-System ausgeglichen.

Ein geräteunabhängiges Farbprofil ist das ICC-Profil vom International Color Consortium (ICC), weitere sind das ICM-Farbprofil und das Lab-Farbmodell.

## Farbraum *color space*

Die Erfassung, Verarbeitung und Ausgabe von farblichen Darstellungen erfolgt nach Farbmodellen. Die Farbmodelle bilden eine Optimierung dessen, was theoretisch an Farben darstellbar ist. Dieser Farbbereich heißt Farbraum oder Gamut und ist abhängig von den Farbtemperaturen oder den Koordinatenwerten der einzelnen Primärfarben.

Da die lichtumwandelnden Sensoren und *Farbfilter* in den Eingabegeräten von Scannern, Digitalkameras und Videokameras eigene Kennlinien und Hysteresen haben, und außerdem nicht exakt die Werte repräsentieren, die die Theorie vorgibt, kann die Farberfassung immer nur eine Näherung an die Farbmodelle darstellen. Gleiches gilt für die Ausgabegeräte, wie Monitore, Projektoren, Displays und Farbdrucker. Hier spielen die Wellenlängen von den Primärfarben Rot, Grün, Blau (RGB) der Phosphore, Projektorlampen und Farbfilter sowie die Kennlinien und die Intensität der Druckerfarben eine entscheidende Rolle. Die Erfassung und



*RGB- und CMY-Farbraum im Farbkreis*

Darstellung kann allerdings kein größeres Farbspektrum umfassen als die Farbmodelle theoretisch vorgeben. Der darstellbare Farbbereich der Geräte ist deren Farbraum und dieser liegt immer innerhalb des Farbraums von dem entsprechenden Farbmodell. Der Farbraum der Peripheriegeräte umfasst alle Farben, die nachgebildet werden können. Er ist also geräteabhängig und wird in bestimmten Druckerprogrammen im Farbkreis eingeblendet.

Mit anderen Farbräumen wie xvYCC und RGBCY und Hintergrundbeleuchtungen mit Wide Color Gamut (WCG) kann der Farbraum

von Displays so erweitert werden, dass er fast alle in der Natur vorkommenden Farben umfasst.

Farbräume sind für die gleichen Farbmodelle unterschiedlich und hängen von den Wellenlängen der verwendeten Primärfarben ab, die unterschiedlich sein können. Um eine einheitliche Farbproduktion mit einer breiten Farbpalette von der Bilderfassung bis zur Bildausgabe zu erhalten, benutzt man standardisierte Farbräume. Diese setzen zwangsläufig eine hochwertige Hardwaretechnik voraus und werden ausschließlich in der professionellen Bildbearbeitung eingesetzt. Anders ist es in der Konsumelektronik, dort werden Farbpaletten mit reduzierten Farbräumen eingesetzt. Ein solcher Farbraum ist der von sRGB. Mit Standard-RGB (sRGB) gibt es zwar einen definierten Farbraum, der allerdings nicht von allen Computer-

# Bildsensoren

und Konsumelektronikherstellern angewendet wird.

Der Farbraum wird durch das ICC-Profil vom International Color Consortium, einem normierten Datensatz, beschrieben. Der Anwender erkennt dies an der Extension \*.icc.

## Farbtiefe *color depth*

Farbdarstellung	Farbtiefe	Anzahl der Farben
HiColor	15 Bit	32.768
	16 Bit	65.536
Direct Color	18 Bit	262.144
	21 Bit	2.097.152
True Color	24 Bit	16.777.216
Deep Color	30 Bit	1,07x10exp9
	36 Bit	68,7x10exp9
	48 Bit	281x10exp12

*Farbtiefen von verschiedenen Farbdarstellungen*

und bei 24 Bit sind es 16.777.216 Farbnuancen. Die Farbdarstellung mit 16 Bit wird als High Color bezeichnet, die mit 24 Bit als True Color, die mit 28 Bit als Direct Color und die mit 30 Bit, 36Bit und 48 Bit als Deep Color.

## FF-CCD, *full frame CCD*

Bei *CCD-Sensoren* müssen zuerst die Ladungszustände der einzelnen Potentialtöpfe, das sind Kleinstkapazitäten, ausgelesen werden, bevor eine neue Aufnahme gemacht werden kann. Andernfalls würden die Ladungen auf den als Transfer-Registern benutzten Potentialtöpfen

Die Farbtiefe ist eine wichtige Kenngröße der Grafikstandards. Es ist die Anzahl der möglichen Farb- oder Grauwerte, die die Farbinformation für jeden einzelnen *Bildpunkt* enthält. Je mehr Bits pro Pixel zur Verfügung stehen, desto mehr unterschiedliche Farben sind darstellbar.

Bei einer Farbtiefe von 4 Bit pro Pixel, wie beim VGA-Format, kann ein Pixel 16 Farben darstellen, bei 8 Bit sind es 256 Farben, das entspricht der Farbtiefe von SVGA, bei 16 Bit sind es 65.536 Farben, was der Farbtiefe von Extended Graphics Adapter (XGA) entspricht,

beeinträchtigt und verfälscht. Für die Auslesetechnik gibt es verschiedene Verfahren, die jede für sich unterschiedliche Eigenschaften aufweist.

So nutzt das Full-Frame-Verfahren (FF-CCD) während des Auslesevorgangs den mechanischen Shutter um eine weitere Belichtung zu verhindern. Das FF-Verfahren nutzt die volle Sensorfläche für die Aufnahme, daher auch die Bezeichnung Vollbild, Full Frame. Solange der Verschluss geschlossen ist, fällt kein Licht auf den *Bildsensor* und es findet keine weitere Belichtung statt.

Die Full-Frame-CCD-Technik wird nicht in Digitalkameras benutzt, sondern in astronomischen Geräten.

## **FIT-CCD,** *frame interline transfer* CCD

Frame *Interline Transfer* CCD (FIT-CCD) ist eines von mehreren Verfahren für das Auslesen der Ladungszustände eines CCD-Sensors. Generell geht es darum, die Ladungszustände aus den kleinen Potentialtöpfen so auszulesen, dass nach möglichst kurzer Zeit eine neue Aufnahme gemacht werden kann.

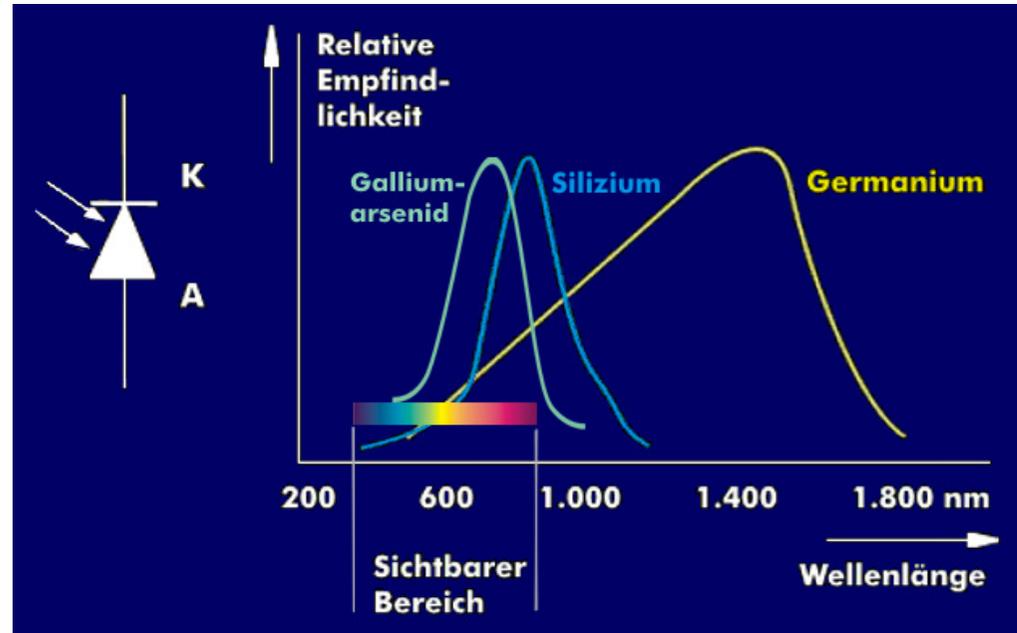
Das Frame Interline Transfer-Verfahren ist eine Kombination aus *Frame Transfer CCD* (FT-CCD) und Interline Transfer CCD (IT-CCD). Die nach diesem Verfahren arbeitenden CCD-Sensoren sind äußerst aufwendig und relativ teuer.

## **Fotodiode** *photo diode*

Fotodioden sind Sensoren die Licht in elektrische Energie umwandeln. Es handelt sich um Bauelemente der Optoelektronik, die als Germanium- oder Siliziumdioden in Sperrrichtung betrieben werden und auf dem Photoeffekt basieren. Zwischen den beiden dotierten Halbleiterschichten (P und N) befindet sich ein undotierter Bereich.

Aus diesem werden bei Lichteinfall durch den lichtelektrischen Effekt freie Elektronen aus der atomaren Struktur herausgerissen, deren Anzahl von der Lichtintensität abhängt. Der

# Bildsensoren



*Kennlinien von Fotodioden aus Silizium und Germanium*

der Spannungsabfall am Arbeitswiderstand proportional der Beleuchtungsstärke ist, und dem Elementarbetrieb, der sich durch eine hohe Temperaturunabhängigkeit auszeichnet.

Im Gegensatz zum Fotowiderstand haben Fotodioden eine wesentlich geringere Trägheit und können Signale im Nano- und Mikrosekunden-Bereich schalten. Die Schaltgeschwindigkeit hängt von der Sperrspannung ab, je höher diese ist, desto kürzer werden die Schaltzeiten. Das hängt damit zusammen, dass bei Erhöhung der Sperrspannung die Kapazität der Sperrschicht geringer wird.

Die spektrale Empfindlichkeit von Fotodioden hängt vom verwendeten Halbleitermaterial ab. Bei Selen (Se) liegt die höchste spektrale Empfindlichkeit bei 500 nm bis 600 nm, bei

Sperrstrom ist abhängig von der Beleuchtungsstärke ( $I_x$ ): Je höher die Beleuchtungsstärke, desto höher der Sperrstrom. Der Sperrstrom ist weitestgehend unabhängig von der angelegten Sperrspannung. Bei der Fotodiode unterscheidet man zwischen dem Sperrbetrieb, bei dem

Galliumarsenid (GaAs) bei 700 nm bis 800 nm, bei Silizium (Si) zwischen 800 nm bis 900 nm und bei Germanium bei etwa 1.400 nm, also bei Infrarot. Daher werden diese Bauelemente speziell in der Infrarottechnik eingesetzt.

Beispiele für Fotodioden sind die kostengünstigen PIN-Dioden und die empfindlichere APD-Dioden. Fotodioden finden ihren Einsatz in Lichtschranken, Fernbedienungen und in der Lichtmessung, sie werden in optischen Übertragungssystemen und in Solarzellen eingesetzt.

## Fototransistor *photo transistor*

Der Fototransistor basiert ebenso wie die Fotodiode auf dem Photoeffekt. Dieser Effekt bewirkt, dass sich die Eigenschaften einer Halbleiterstrecke bei Lichteinfall durch das Aufprallen von Photonen ändert. Es handelt sich dabei um die Kollektor-Basis-Strecke, die als Fotodiode fungiert und den Basisstrom für den Fototransistor erzeugt. Dieser wird von der Stromverstärkung des Transistors verstärkt.

Der Fototransistor hat dadurch gegenüber der Fotodiode eine wesentlich höhere Empfindlichkeit. Allerdings ist die Trägheit höher als die der Fotodiode, wodurch der Fototransistor nur bei Anwendungen mit niedriger Pulsfrequenz eingesetzt werden kann. Die Anstiegszeiten des Fototransistors liegen je nach Lastwiderstand zwischen 1  $\mu$ s und 100  $\mu$ s.



Fototransistor und -Schaltzeichen, Foto: Kingbright

Die spektrale Empfindlichkeit ist vergleichbar der der Fotodiode, d.h. dass Fototransistoren aus Germanium ihr Maximum bei etwa 1.500 nm haben, solche aus Silizium bei etwa 800 nm. Beide Wellenlängen liegen im Infrarotbereich und damit oberhalb der sichtbaren Wellenlängen. Die Empfindlichkeitskurve ist abhängig davon aus

# Bildsensoren

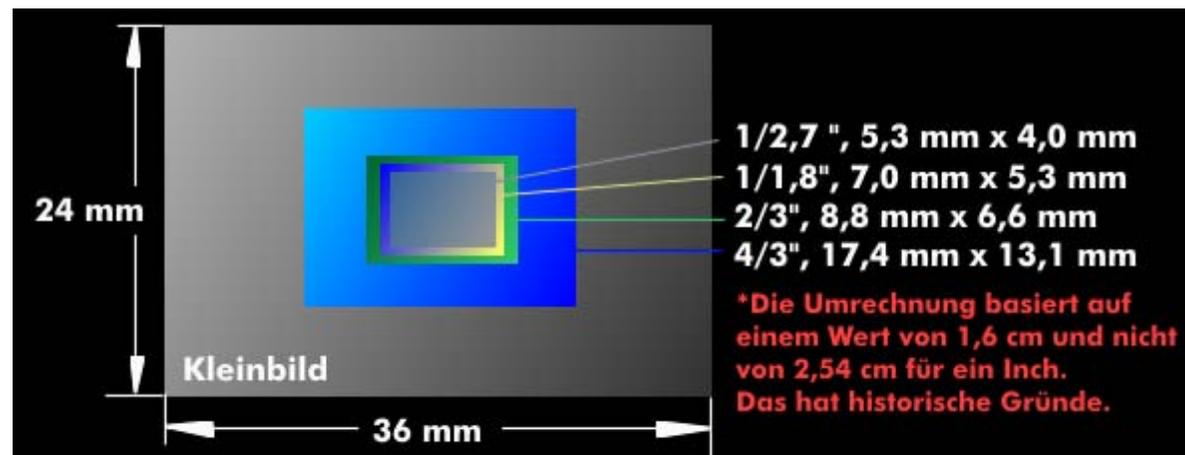
welchem Material das Transistorgehäuse besteht. Ein transparentes Gehäuse hat eine breitere Empfindlichkeitskurve als ein schwarzes Epoxy-Gehäuse. Die maximale Empfindlichkeit liegt bei Infrarot im Wellenlängenbereich bei ca. 850 nm.

## FourThirds *fourthirds*

FourThirds (4/3) ist ein proprietärer Kamera-Standard für Digitalkameras mit Wechselobjektiven. Er wurde von Olympus und Kodak für digitale Spiegelreflexkameras und deren Wechselobjektive entwickelt und von einigen namhaften Foto-Unternehmen lizenziert. Die Bezeichnung Four Thirds (4/3) ist von dem *Bildsensors* abgeleitet, nämlich 4/3". Ein 4/3"-Bildsensor hat eine Größe von 17,4 mm x 13,1 mm.

Digitalkameras mit Wechselobjektiven im 4/3"-Konzept sind kompakter und bieten eine Austauschbarkeit der Wechselobjektive mit denen anderer Hersteller.

Das aus dem FourThirds-Konzept entwickelte Micro-FourThirds-Konzept zeichnet sich durch



eine noch kompaktere Bauweise aus, weil diese Technik ohne den in Spiegelreflexkameras benutzten Schwingspiegel arbeitet. Dieser leitet das vom

Größe der verschiedenen Bildsensortypen

Objektiv eingefangene Bild zum optischen Sucher um. An seine Stelle tritt mit EVIL (Electronic Viewfinder, Interchangeable Lens) tritt ein elektronischer Sucher und Wechselobjektivanschluss. Außerdem hat das Micro-FourThirds-Konzept kleinere Wechselobjektive. Durch diese beiden Maßnahmen konnte der Abstand des Wechselobjektivs zum *CMOS-Sensor* halbiert werden.

FourThirds-Wechselobjektive können nur mit einem speziellen Adapter auf Micro-FourThirds-Kameras aufgesteckt werden.

## Foveon-X3-Sensor

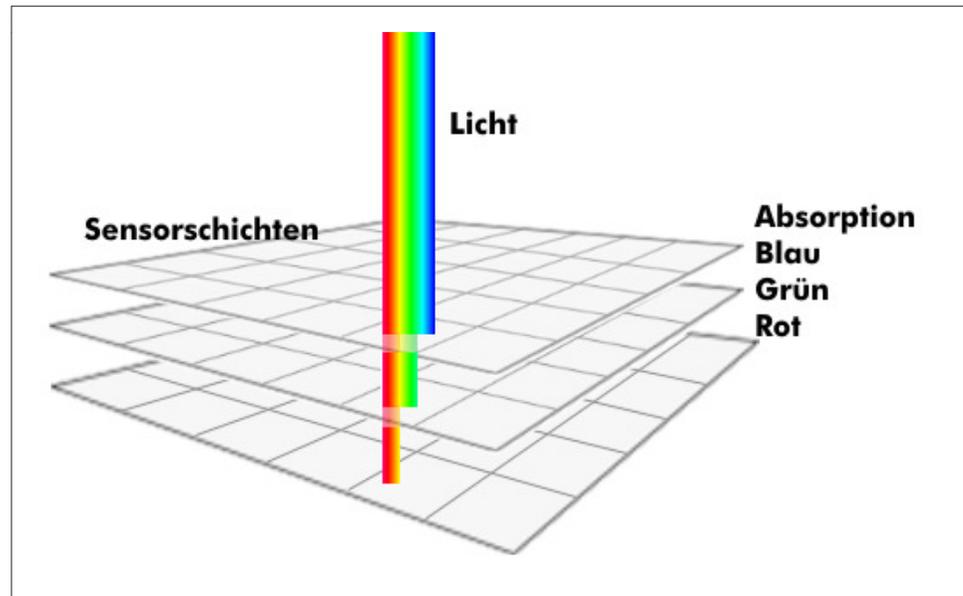
CMOS- und *CCD-Sensoren* generieren ihre Spannungen nur aus der Lichtintensität mit der Licht auf die einzelnen CMOS- und CCD-Elemente fällt. Um eine möglichst hohe Lichtausbeute des *Bildsensors* mit einem möglichst geringen *Bildrauschen* zu erzielen, wenden die Hersteller verschiedene Verfahren an mit der die aktiven Pixelflächen optimal ausgenutzt werden. Dazu gehört u.a. die Verdrahtung in den Rändern so schmal als möglich zu machen oder die Verdrahtungsebene unabhängig von der Belichtungsebene. Andere Verfahren optimieren die Lage und Verteilung der *Farbfilter* vor dem Bildsensor. Da der Bildsensor keine Farbe interpretieren kann, muss das einfallende Licht, bevor es auf die *Fotodioden* trifft, in die Primärfarben zerlegt werden. Das kann mit optischen Filtern erfolgen, wie dem *Bayer-Filter*, aber auch mit geschichteten, mehrlagigen Bildsensoren, wie beim X3-Sensor von Foveon, der auf Farbfilter verzichtet.

Der von Foveon Inc. entwickelte X3-Sensor macht sich den Effekt zu Nutze, dass Lichtwellen mit unterschiedlichen Wellenlängen unterschiedliche Eindringtiefen in Silizium haben.

Langwelliges Licht dringt tiefer ein als kurzwelliges. Wenn die Siliziumplättchen hinreichend dünn sind, dann kann langwelliges Licht es durchdringen.

Der X3-Sensor ist daher sandwichmäßig aus drei dünnen *CMOS-Sensor-Arrays* aufgebaut. Im

# Bildsensoren



*Aufbau des Foveon-X3-Sensors*

diese Schicht und wird in der dritten Sensorschicht umgesetzt.

Aus den Spannungswerten der übereinander liegenden *Pixel* wird die Spannung erzeugt, die dem Farbton und der Lichtintensität des einfallenden Lichts entspricht. Da sich vor den Sensoren kein optischer Filter befindet, wird das Licht nicht gedämpft. Außerdem muss die resultierende Spannung nicht über eine Interpolation ermittelt werden, wie beim Bayer-Filter. Nachteilig ist aber die Bildauflösung und der Bildrauschen bei geringem Umgebungslicht.

obersten Halbleiter-Array wird kurzwelliges, blaues Licht absorbiert und in Spannungen umgesetzt. Der längerwellige Anteil des Lichtstrahls durchdringt diese erste Sensorschicht und dringt in die zweite ein. In dieser wird Licht mittleren Wellenlänge absorbiert und umgesetzt. Das sind die Wellenlängen im Grünbereich. Der langwellige Rotanteil durchdringt auch

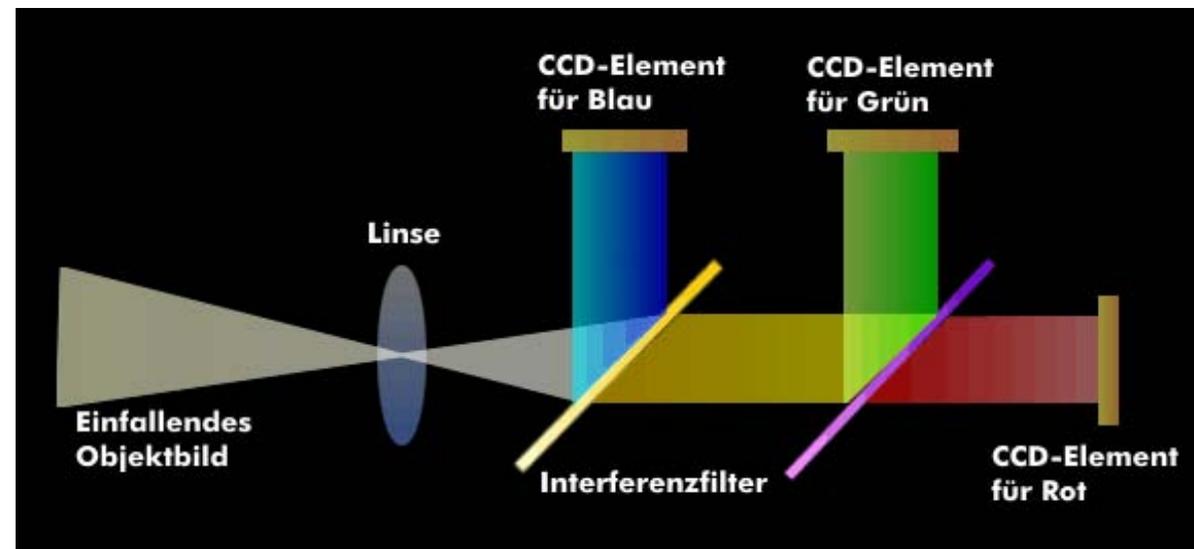
Die Frame-Transfer-Technik (FT-CCD) ist ein Verfahren für den Auslesevorgang von CCD-Sensoren. Bei CCD-Sensoren müssen zuerst alle Ladungszustände ausgelesen werden, bevor eine neue Aufnahme gemacht werden kann. Die Frame-Transfer-Technik nutzt einen

maskierten, lichtundurchlässigen Bereich auf dem Sensor-Chip, der nicht von der Belichtung betroffen ist, und verschiebt das Ladungsbild der Aufnahme in diesen Bereich. Der als Zwischenspeicher fungierende Bereich hat den gleichen Umfang wie der Aufnahmebereich. Sobald eine Aufnahme erfolgt ist, wird das Ladungsbild in diesen Bereich verschoben und von dort ausgelesen.

Der Vorteil gegenüber *Full Frame CCD* (FF-CCD) besteht darin, dass die folgende Aufnahme bereits gemacht werden kann, wenn sich das Ladungsbild im abgedunkelten Bereich befindet.

Da die Aufnahmesensoren von Videokameras, Digitalkameras und Camcordern nur helligkeitsempfindlich sind, nicht aber farbempfindlich, müssen die auf ein CMOS- oder CCD-

**Interferenzfilter**  
*interference filter*



Aufbau einer 3-CCD-Videokamera mit Interferenzfiltern

*Sensor*  
fallenden  
Lichtsignale mit  
*Farbfiltern*  
getrennt und in  
die drei  
Primärfarben  
Rot, Grün, Blau  
(RGB) zerlegt  
werden. Das  
macht man mit  
Streifenfiltern,  
*Bayer-Filtern*  
oder

Interferenzfiltern, auch Farbteilerspigel genannt.

Solche Interferenzfilter bestehen aus Glasplatten, die durch aufgedampfte Interferenzschichten Licht von bestimmten Wellenlängen filtern, Licht mit anderen Wellenlängen hingegen reflektieren.

Ein Interferenzfilter kann beispielsweise rotes Licht filtern, grünes und blaues reflektieren. Zwei Interferenzfilter sind erforderlich um weißes Licht in die drei Primärfarben zu zerlegen und dieses auf die entsprechenden CCD-Sensoren zu leiten.

## IT-CCD, *interline transfer* CCD

Interline Transfer *CCD* (IT-CCD) ist eine weitere Technik, die den Auslesevorgang von CCD-Sensoren unterstützt. Daneben gibt es *Full Frame CCD* (FF-CCD), *Frame Transfer CCD* (FT-CCD) und *Frame Interline Transfer CCD* (FIT-CCD). Bei allen Verfahren geht es darum das Ladungsbild des CCD-Sensors zuerst auszulesen bevor eine neue Aufnahme den Ladungszustand der Potentialtöpfe, das sind Kleinstkapazitäten, beeinträchtigen kann. Beim Interline Transfer ist jede zweite Pixelzeile auf dem CCD-Sensor maskiert und steht nicht für Belichtungen zur Verfügung. In sie können die Ladungen aus der daneben liegenden Zeile ausgelesen werden. Beim Auslesen werden die Ladungen der belichteten Pixelzeilen in die Zwischenzeile transferiert und dann zeilenweise zum Ausleseverstärker geschoben. Das Verfahren ermöglicht sehr kurze Belichtungszeiten.

## Lichtempfindlichkeit *light sensitivity*

Von Lichtempfindlichkeit spricht man bei den Sensoren von Digitalkameras und Filmmaterial. Es handelt sich dabei um von der ISO und der American Standards Association (ASA) standardisierte Werte für die Erfassung von Helligkeitssignalen. Daneben gibt es das von DIN (Deutsches Institut für Normung e.V.) entwickelte System. Die ISO kombiniert die ASA- und DIN-Werte und trennt diese mit einem Schrägstrich, Beispiel: 100/24.

# Bildsensoren

DIN	ISO/ASA	DIN	ISO/ASA
12	12	21	100
15	25	24	200
18	50	27	400

Lichtempfindlichkeit nach DIN und ASA

Die ASA-Skala ist linear, ein ASA-Wert von 200 hat eine doppelt so Lichtempfindlichkeit wie einer von 100 ASA. Die Skalen für die Lichtempfindlichkeit basieren auf den Blendenstufen einer Kamera. Eine Verdoppelung des ASA-Wertes entspricht dem Anstieg um eine Blendenstufe oder der doppelten Verschlusszeit.

Anders ist es bei den DIN-Werten. Die DIN-Skala ist in Gradzahlen eingeteilt und logarithmisch skaliert. 3 Grad entsprechen einer Verdoppelung der Lichtempfindlichkeit. So ist eine Lichtempfindlichkeit von 21 Grad halb so empfindlich wie eine von 24 Grad. Eine Erhöhung des DIN-Wertes um 3 entspricht einer Blendenstufe. Zwischen dem DIN-Wert und dem ASA-Wert gibt es einen mathematischen Zusammenhang.

Neben den ASA- und DIN-Angaben gibt es noch den Belichtungsindex, Exposure Index (EI), in dem die Lichtempfindlichkeit von professionellem Filmmaterial angegeben wird. Es handelt sich um eine dimensionslose Zahl, wobei EI100 etwa ISO 100 oder DIN 21 entsprechen. Die Lichtempfindlichkeitswerte werden für Filme, *CCD-Sensoren*, *CMOS-Sensoren* und andere lichtempfindliche Sensoren verwendet. Mit steigender Lichtempfindlichkeit steigt allerdings auch das *Bildrauschen* der *Bildsensoren*. Eine Erhöhung der Lichtempfindlichkeit von Bildsensoren kann durch das Zusammenfassen mehrerer *Pixel* zu einem größeren Pixel erreicht werden. Dieses Zusammenfassen heißt *Binning*.

Lumen ist die Maßeinheit für den Lichtstrom, allgemein für die Helligkeit. Sie ist definiert als der Lichtstrom, den eine punktförmige Lichtquelle allseitig ausstrahlt. Eine punktförmige Lichtquelle von 1 *Candela* (cd) Stärke sendet allseitig einen Gesamtlichtstrom von  $4 \pi$  aus,

**Lichtstrom**  
*luminous flux*

das entspricht 12,57 Lumen (lm).

Der Lichtstrom einer Glühbirne liegt zwischen 10 lm/W und 20 lm/W, Energiesparlampen und OLEDs haben etwa die doppelte Lichtausbeute, Leuchtstoffröhren bringen es auf 100 lm/W und Power-LEDs erreichen über 70 lm/W.

Von der Lichtmenge spricht man, wenn ein Lichtstrom in einer festen Zeiteinheit zur Verfügung steht: Lumen-Sekunden (lms).

## Lichtstärke

*luminous intensity*

*Candela* (cd) ist die Maßeinheit für die Lichtstärke, für die von einer Lichtquelle abgestrahlten Lichtenergie. Definitionsgemäß ist es die Energie, die ein schwarzer Strahler mit  $1/60$  qcm Oberfläche, bei der Schmelztemperatur von Platin, bei  $1.770$  °C während einer Sekunde ausstrahlt. Die Einheit der Lichtstärke ist das Candela.

Dagegen wird die Leuchtdichte in Candela pro Flächeneinheit (cd/qm) angegeben.

Die Bezugsgröße zwischen der Lichtstärke und dem *Lichtstrom*, dessen Einheit das Lumen ist, ist der Raumwinkel oder Abstrahlwinkel, angegeben in Steradian. Die Lichtstärke in Candela ergibt sich aus dem Verhältnis des Lichtstroms in Lumen zum Raumwinkel.

Bei Leuchtdioden ist die Abhängigkeit der Lichtstärke vom Abstrahlwinkel von besonderem Interesse. Sie stehen in einem negativen Verhältnis, das sich darin zeigt, dass bei größeren Abstrahlwinkeln die empfundene Lichtstärke sinkt und diese bei geringerem Abstrahlwinkel ansteigt. Eine Leuchtdiode mit schmalen Abstrahlwinkel wird vom Betrachter als intensiver wahrgenommen, da sich die Lichtenergie auf eine kleinere Fläche konzentriert.

## Megapixel

*MP, mega pixel*

Die Bezeichnung Megapixel ist eine Maßeinheit für die *Auflösung* von *Bildsensoren* für Digitalkameras und Camcorder und auch für Displays. Bei Digitalkameras wird die Auflösung direkt in Millionen *Pixel*, in Megapixel (MP), angegeben. Der Wert errechnet sich aus der

horizontalen und vertikalen Auflösung. So ergibt sich bei einer Digitalkamera mit einer Auflösung von 2.240 x 1.680 Pixel ein Wert von 3,76 Megapixel (Fotозellen).

Aus der Pixelzahl und der *Farbtiefe* kann die Bildgröße errechnet werden. Bei 4 Millionen Pixel und einer Farbtiefe von einem Byte (256 Farben), ergibt sich ohne Zusatzdaten theoretisch eine Dateigröße von 4 Megabyte (MB). Ein Digitalfoto mit 10 Megapixel und 24 Bit Auflösung hat demnach eine Dateigröße von 30 MB.

Bildsensoren gibt es mit verschiedensten Pixelzahlen. Das Angebot liegt bei einfachen Digitalkameras zwischen 0,3 MP und 10 MP, professionelle Digitalkameras überschreiten diese Werte um ein Vielfaches.

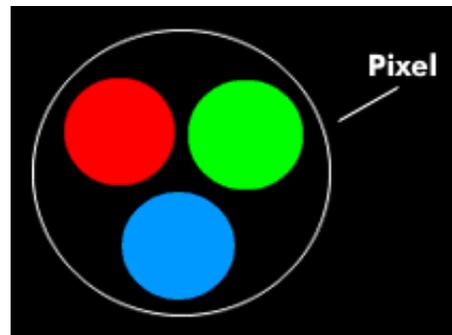
Ein Bildpunkt oder Pixel ist der kleinste Bestandteil eines Computerbildes oder eines Bildschirms und besteht bei Farbdarstellung aus einem Farbtupel mit den drei Primärfarben Rot, Grün und Blau. Eine digitale Darstellung setzt sich aus einer Vielzahl einzelner Bildpunkte zusammen. Die Anzahl der Bildpunkte und deren Abstand voneinander, der so

genannte Dotpitch, bestimmen die *Auflösung* des Bildes. In der Computergrafik sind Bildpunkte einzeln aktivierbar in Farbton, Farbsättigung und Helligkeit.

Bei reinen Schwarz-Weiß-Darstellungen wird ein Bildpunkt mit 1 Bit/Pixel codiert, bei Grautönen mit 4 bis 8 Bit/Pixel und bei Farbdarstellungen mit einer *Farbtiefe* von 4, 8, 16 oder 24 Bit/Pixel.

Normalerweise ist ein Bildpunkt quadratisch mit einem Seitenverhältnis, dem Pixel Aspect Ratio (PAR), von 1:1. Bei den verschiedenen Fernsehnormen weicht das PAR-Verhältnis

## Pixel, picture element *Bildpunkt*



Das Pixel als Farbtupel aus Rot, Grün und Blau

allerdings von 1:1 ab. Von der Darstellung her ist ein Pixel zweidimensional. Durch Hinzufügen der dritten Dimension, wird aus einem Pixel ein Voxel, ein Volumenpixel.

Bei *Bildsensoren* für Digitalkameras und Camcorder ist die Anzahl der Pixel der Kennwert für die grafische Auflösung. Die angegebene Pixelzahl ist die effektiv zur Verfügung stehende Auflösung. Je nach Bildsensor-Konzept entspricht sie der Anzahl an Fotozellen oder ist nur ein Viertel von dieser. Da Digitalkameras über mehrere Millionen Pixel verfügen, ist allgemein üblich die Pixelzahl in *Megapixel* (MP) und bei hochauflösender Spezial-Fotografie sogar in Gigapixel (GP) anzugeben.

## ppi, pixel per inch

*Pixel per Inch* (ppi) ist eine Qualitätsangabe für das Auflösungsvermögen von Scannern und für die Betrachtung von Digitalbildern. Es handelt sich dabei um die digitalisierten Bildpunkte pro Inch. Je niedriger die Pixelanzahl pro Inch ist, desto grober ist das gescannte oder dargestellte Digitalbild, das dann Pixeltreppen aufweist. Die Pixeltreppen sind bei einem größeren Betrachtungsabstand nicht mehr sichtbar.

Damit man bei kleinen Fotodrucken keine Pixelstufungen sieht, sollten Digitalfotos mindestens 300 ppi haben. Bei Postern, die aus größerem Abstand betrachtet werden, reichen 150 ppi und bei Darstellungen auf Displays sogar 75 ppi.

Bei Displays und Druckern wird die *Auflösung*, die nicht mit den Pixel per Inch verwechselt werden sollte, in Dots per Inch (dpi) angegeben.

## Herausgeber

Klaus Lipinski  
Datacom-Buchverlag GmbH  
84378 Dietersburg

ISBN: 978-3-89238-189-1

## Bildsensoren

E-Book, Copyright 2010

Trotz sorgfältiger Recherche wird für die angegebenen Informationen keine Haftung übernommen.



Dieses Werk ist unter einem Creative Commons Namensnennung-Keine kommerzielle Nutzung-Keine Bearbeitung 3.0 Deutschland Lizenzvertrag lizenziert.

Erlaubt ist die nichtkommerzielle Verbreitung und Vervielfältigung ohne das Werk zu verändern und unter Nennung des Herausgebers. Sie dürfen dieses E-Book auf Ihrer Website einbinden, wenn ein Backlink auf [www.itwissen.info](http://www.itwissen.info) gesetzt ist.

Layout & Gestaltung: Sebastian Schreiber  
Titel: © Viktor Kuryan - Fotolia.com

Produktion: [www.media-schmid.de](http://www.media-schmid.de)  
Weitere Informationen unter [www.itwissen.info](http://www.itwissen.info)