

DER BILDSSENSOR – TEIL 1 –

Am Anfang war der Sensor | Wo kommen die Farben her? |
Finger weg vom ISO-Regler! | High-ISO-Sensoren



GRUNDWISSEN KAMERATECHNIK

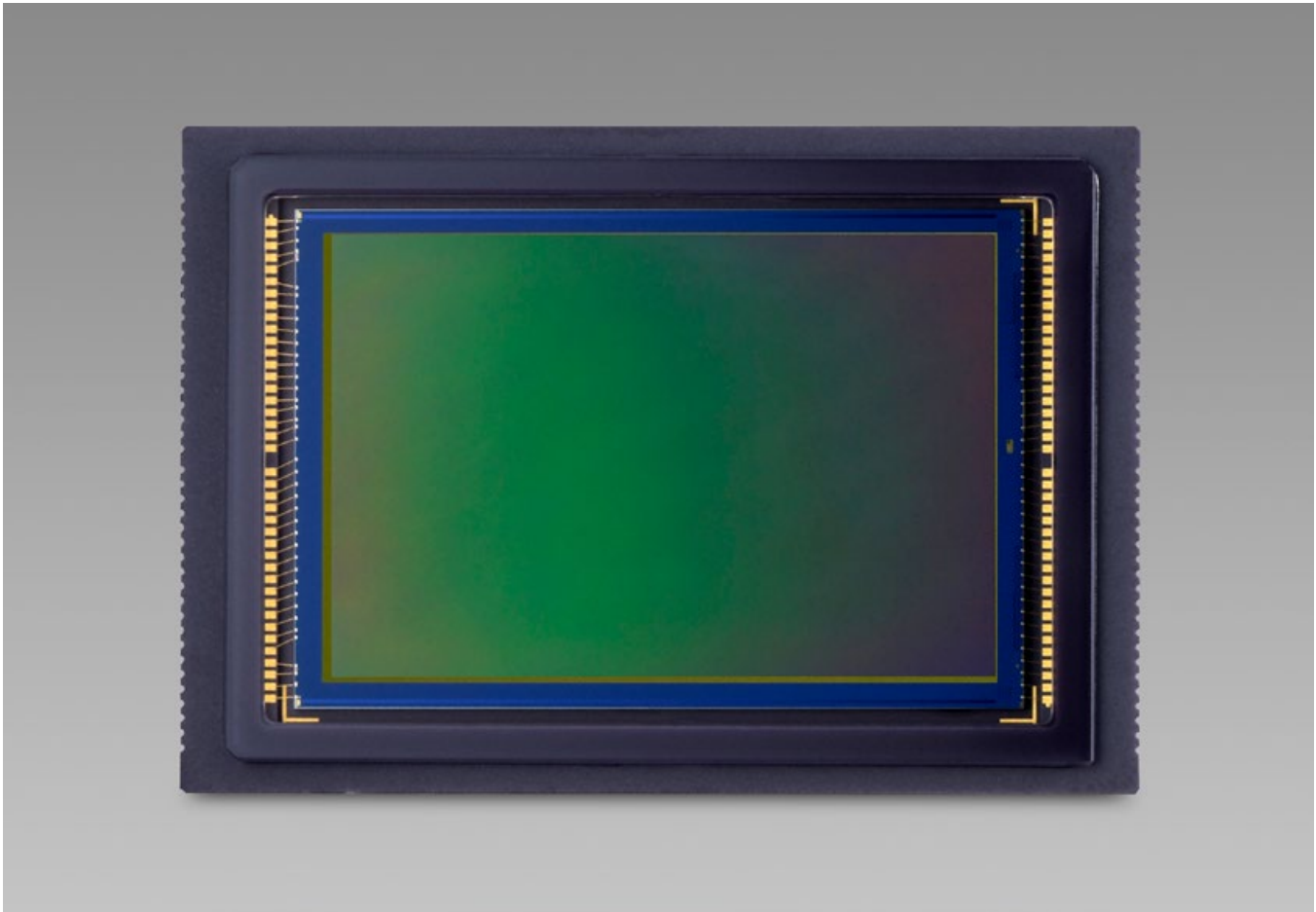


Foto: Canon

Am Anfang war der Sensor

Der Spielraum des Bildbearbeiters wird durch sein Ausgangsmaterial beschränkt, und dieses liefert heutzutage meist der Sensor einer Digitalkamera. Technologien wie CCD und CMOS sind daher mehr als bloße Schlagworte – sie wirken sich unmittelbar auf die Bildergebnisse aus, und daher sollten Sie wissen, was Sensoren heute und in Zukunft leisten können. | **Michael J. Hußmann**

Wer die Spezifikationen von Kamerasensoren vergleicht, schaut auch heute noch allzu oft zuerst auf die Megapixelzahl. Mehr Megapixel versprechen eine höhere Auflösung, damit auch mehr Material für die Bildbearbeitung und die Möglichkeit präziserer Bildmontagen. Aber es kommt nicht allein auf die Zahl der Sensorpixel an, sondern mindestens ebenso auf das Potential, das in jedem einzelnen Pixel steckt.

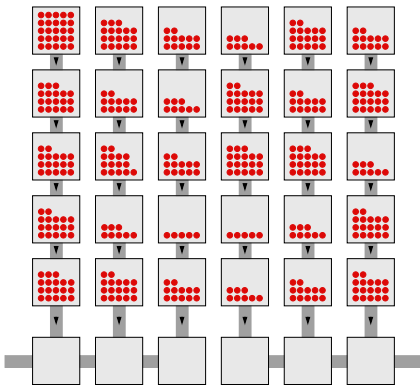
Während der Belichtungszeit eines Fotos sammeln die Sensorpixel das auftreffende Licht – aber da man Licht nicht speichern kann, werden die Elektronen gespeichert, die von den auftreffenden Photonen freigesetzt werden. Diese Elektronen dienen als Zählmarken für die Lichtmenge, die

auf das Pixel fällt. Die wenige Quadratmikrometer messende Fläche eines Sensorpixels begrenzt nicht nur die Lichtausbeute; von dieser Fläche hängt auch die Zahl der Elektronen und damit die elektrische Ladung ab, die gespeichert werden kann – einige zehntausend Elektronen sind typisch für professionelle DSLRs; dagegen sind es bei aktuellen Kompaktkameras, deren Pixel viel kleiner sind, nur einige tausend. Da die Sensorfläche begrenzt ist, muss sich der Sensorhersteller entscheiden, ob er die Zahl der Pixel oder die Zahl der pro Pixel speicherbaren Elektronen maximieren will.

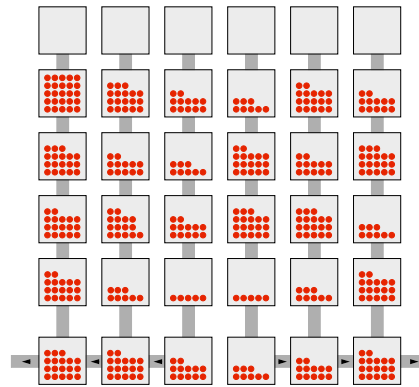
Sowohl die Lichtausbeute wie auch die Speicherkapazität für Elektronen hängen proportional von der Pixelfläche ab. Aus diesem Grund haben die typischerweise

in Digitalkameras eingesetzten Sensoren stets eine Grundempfindlichkeit zwischen ISO 50 und 200: Große Sensorpixel fangen zwar mehr Photonen ein, die jeweils ein Elektron freisetzen, können aber auch im etwa gleichen Maßstab mehr Elektronen speichern, benötigen also das zusätzliche Licht für eine optimale Belichtung. Je mehr Elektronen ein Sensorpixel speichern kann, desto größer ist der Dynamikumfang, also der vom Sensor bewältigte Kontrast. Um diesen Dynamikumfang auszuschöpfen, muss man die Speicherfähigkeit der Sensorpixel maximal ausnutzen.

Mehr Elektronen pro Pixel zahlen sich noch in anderer Weise aus: Sie sorgen für ein stärkeres, aus dem Sensor ausgelesenes Signal, gegenüber dem das Rauschen



Beim Auslesen eines Full-Frame-Transfer-CCD werden die gesammelten Ladungen um jeweils ein Pixel nach unten weitergereicht.



In der – hier zweigeteilten – Auslesezeile werden die Ladungen zu den Ausgängen transportiert, um digitalisiert zu werden.

in den Hintergrund tritt, und sie ermöglichen auch eine feinere Auflösung der Tonwerte – um so größer ist das Potential für eine spätere Bildbearbeitung, ohne dass es zu Tonwertabrisen kommt. Auch weil das Fassungsvermögen der Sensorpixel für Elektronen selten dokumentiert ist, schaut man stattdessen oft auf die Anzahl der Bits pro Pixel, die vom Analog/Digital-Wandler geliefert und in den Raw-Dateien gespeichert werden. Wie viele Bits aber überhaupt sinnvoll digitalisiert werden können, hängt von der Zahl der Elektronen und vom Rauschabstand ab – wenn die Kamera mehr Bits und damit mehr vermeintliche Information speichert, als die Sensorpixel überhaupt hergeben, enthalten die zusätzlichen Bits nur digitalisiertes Rauschen.

Wenn alle mit anpacken: das CCD

Der konstruktiv einfachste Typ unter den aktuell eingesetzten Sensoren ist das Full-Frame-Transfer-CCD. Lange Zeit dominierte dieser Sensortyp den Spiegelreflexmarkt, bis er immer mehr durch die CMOS-Technologie abgelöst wurde; noch heute ist die Mittelformatfotografie die Domäne dieser CCD-Variante. Ein Full-Frame-Transfer-CCD nutzt fast die gesamte Fläche des Siliziumchips für die eigentlichen Pixel, bestehend jeweils aus einer Photodiode, in der Photonen absorbiert werden, um Elektronen freizusetzen, und einem Ladungsspeicher, in dem diese Elektronen gesammelt werden.

Wenn sich nach der Belichtung der Verschluss schließt, ist in jedem Pixel eine Menge von Elektronen gespeichert, die proportional zur Lichtmenge ist, die auf dieses Pixel fiel. Nun sollen diese elektrischen Ladungen noch ausgelesen und digitalisiert werden, und da das Full-Frame-Transfer-CCD den Sensorpixeln einen so großen Platz einräumt, müssen die Pixel auch beim Auslesen mithelfen. Jede Spalte von Pixeln ist durch Schleusen für elektrische Ladungen zu einer Kette verbunden, und im Rhythmus eines Taktgebers öffnen sich beim Auslesen diese Schleusen, sodass die in jedem Pixel gesammelten Ladungen jeweils zum darunter liegen-

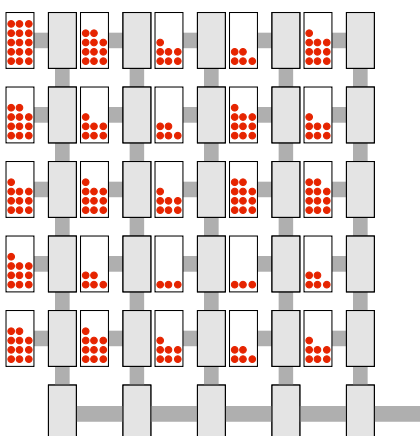
den Pixel weitergegeben werden. Die Pixel der untersten Zeile reichen ihre Ladungen in spezielle Auslesepixel weiter, die ebenfalls zu einer Kette verbunden sind. Schritt für Schritt wird Zeile um Zeile von Pixeln in die Auslesezeile geschoben, aus der die Ladungen dann nacheinander ausgelesen und digitalisiert werden.

Zur Beschleunigung des Auslesens kann man die Auslesezeile in zwei oder mehr Teile zerlegen, die jeweils über einen eigenen Kanal parallel ausgelesen und mit einem eigenen Analog/Digital-Wandler digitalisiert werden. Oft wird das Beschleunigungspotential nicht vollständig ausgenutzt; man liest den Sensor also beispielsweise über vier Kanäle parallel aus, halbiert aber gleichzeitig den Auslesetak. Auf diese Weise verdoppelt sich insgesamt die Geschwindigkeit, während sich die Geduld, für die Digitalisierung doppelt so viel Zeit aufzuwenden, in einem verringerten Rauschen auszahlt.

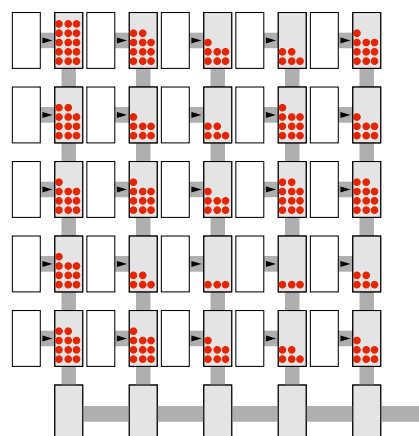
Ein elektronischer Verschluss

Auch in vielen Kompaktkameras stecken CCDs, die allerdings von einem anderen Typ sind. Diese Kameras müssen den Sensor ständig, im Rhythmus von meist 30 oder 60 Hz auslesen, um ein Livebild zur Anzeige auf dem Display zu erzeugen; auch der Autofokus greift auf diesen Datenstrom zurück. Ein Full-Frame-Transfer-CCD muss aber bei geschlossenem Verschluss ausgelesen werden, und ein mechanischer Verschluss, der sich 30 oder 60 mal pro Sekunde öffnet und schließt, hätte keine lange Lebensdauer. Stattdessen verwenden die Kamerahersteller Interline-Transfer-CCDs, mit denen sich ein elektronischer Verschluss ohne bewegliche Teile verwirklichen lässt. Statt eines Ladungsspeichers pro Pixel hat dieser Sensortyp derer ▶

Interline-Transfer-CCDs enthalten zwei Ladungsspeicher pro Pixel, von denen einer gegen Lichteinfall geschützt ist.



Nach Ablauf der Belichtungszeit werden die gesammelten Elektronen in den lichtgeschützten Ladungsspeicher verschoben.



Aus dem Zwischenspeicher können die elektrischen Ladungen ausgelesen werden; so wird ein elektronischer Verschluss realisiert.

