

Zeitschrift: Fotointern : digital imaging

Herausgeber: Urs Tillmanns

Band: 11 (2004)

Heft: 3

Artikel: Wie funktionieren Sensoren, und was bestimmt die Bildqualität?

Autor: [s.n.]

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-979401>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 09.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

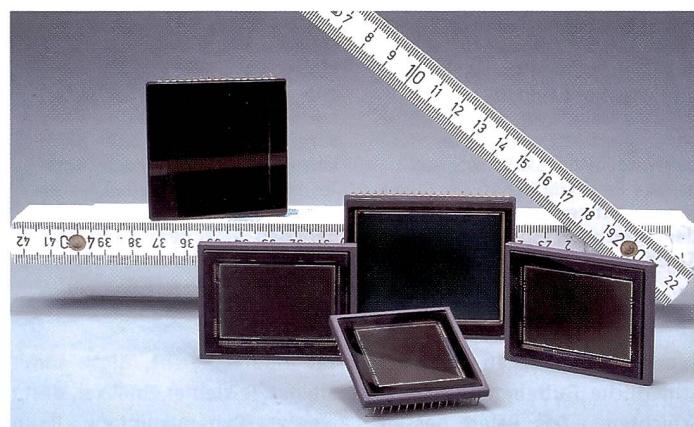
sensor technologie Wie funktionieren Sensoren, und was bestimmt die Bildqualität?

Früher, da war die Welt noch in Ordnung: Wollte man eine handliche oder eine schnelle Kamera, war Kleinbild die erste Wahl, wollte man detailgetreue Bilder, dann musste es Mittel- oder gar Grossformat sein. Die Grösse des Filmes entschied unzweifelhaft über die Qualität des Bildes. Diese Denkweise haben viele in die digitale Welt mitgenommen: Je mehr Pixel desto besser das Bild, lautet die Devise. Doch so einfach ist es eben nicht mehr. Mehr Pixel können sogar manchmal die Bildqualität verschlechtern, insbesondere wenn diese auf die gleiche Sensorgrösse «gequetscht» werden wie beim Vorgängermodell mit weniger Pixeln. Und auch die Bauart des Sensors spielt eine wesentliche Rolle, wie gut ein Bild schliesslich wird.

Wie funktioniert ein Sensor?

Man nehme: Eine Trägerschicht, bedrucke diese in einem dem Siebdruck ähnlichen Verfahren mit rund siebzig Schichten, löte an zwei Seiten Kontakte an – fertig ist der Chip. Die einzelnen Pixel sind komplexe aufgebaute mehrschichtige lichtempfindliche Punkte. Diese werden mit einer negativen Spannung belegt. Trifft nun ein Photon (Lichtteilchen) auf einen solchen Punkt, baut sich die negative Spannung ab, was messbar ist. Je mehr Licht, desto positiver die Spannung. Aus der Summe der einzelnen Pixel ergibt sich ein Bild – allerdings schwarz-weiss. Die Farbe kommt daher, dass jeder Pixel einen kleinen zusätzlichen Farbfilter obendrauf hat. Immer vier im Quadrat angeordnete Pixel haben je einen roten, einen blauen und zwei grüne Filter (nach der Erfinderfirma Bayer-Muster genannt). Da wo der rote Filter ist, wird die grüne und die blaue Farbe aus den Nachbarpixeln berechnet (Farbinterpolation), dasselbe geschieht bei den beiden anderen Farben. Beim neuen Sensor von

Fünf, sechs, acht oder sogar 22 Megapixel? CMOS, CCD, Super-CCD und Dreischichtensensoren? Was unterscheidet die einzelnen Technologien? Worauf man außer der Auflösung beim Kauf einer Digitalkamera achten sollte. Fotointern stellt die einzelnen Technologien anhand einiger praktischer Beispiele vor.



Verschiedene Größen von CCD-Digitalsensoren, wie sie in Sinar-Digitalbacks verwendet werden. Auch bei den Profisystemen geht der Trend zu mehr, dafür etwas kleineren Pixeln, der zurzeit grösste Sensor – von Sinar und Kodak entwickelt – hat 22 Millionen Pixel mit 9 µ Pixelkantenlänge. Der «kleine» 4-Megapixel-Sensor hatte noch 12 µ Pixelkantenlänge. Aktuelle Sensoren von Kompaktkameras weisen sogar Pixelgrößen unter 2 µ Kantenlänge auf.

Sony ist eine grüne Farbe durch einen weiteren Grünton ersetzt, was der Kamera in diesem Bereich eine differenziertere Wahrnehmung verleiht. Das menschliche Auge vermag besonders viele Grüntöne zu unterscheiden, deshalb ist diese Farbe besonders wichtig. Die Spannung des Sensors wird am Rand vom Sensor abgelesen und von einem Analog-Digital-Wandler in eine computertaugliche Information umgewandelt. Je besser diese Umwandlung, desto präziser die Information. Diese Angabe wird in Bit gemacht, bei acht Bit werden pro Farbe 256 Abstufungen unterschieden, bei neun Bit sind es bereits doppelt so viele, bei 16 Bit sind es dann 65'536 verschiedene Abstufungen. Die Umwandlung ist auch von der Qualität des Sensors abhängig.

CMOS, CCD oder Dreischichten-sensor

Prinzipiell unterscheidet man heute drei verschiedene Bauarten von Sensoren, wobei es beim CCD noch zwei Unterarten gibt, Full Frame oder Interline Transfer. Der einfachste und am billigsten zu produzierende Sensor ist der CMOS-Sensor. In der Bauart gleicht er der Chipstechnologie wie sie in jedem elektronischen Gerät verwendet wird, die Schaltung ist auf dem Sensor integriert, jeder Pixel ist einzeln angesteuert, dafür ist die effektive Aufnahmefläche des Pixels relativ klein. Diese Sensoren galten lange als Lowend-Produkt, da die integrierte Schaltung zu sogenanntem Rauschen neigt, das heißt, freie Elektronen im System führen zu nicht vorhandenen Farben vor allem in dunklen

Bildpartien, wo mangels Licht die Elektronen besonders auffällig die Spannung beeinflussen. In neuen Kameras, wie beispielsweise in der getesteten Canon EOS 300 D, ist es aber verschiedenen Herstellern gelungen, dieses Rauschen durch eine sorgfältige Bauweise der Elektronik soweit zu reduzieren, dass das Rauschen in der Software beinahe ganz eliminiert werden kann. Dies geschieht beispielsweise durch eine sogenannte Schwarzreferenz: Die Kamera nimmt zuerst ein Bild mit geschlossenem Verschluss auf. Im Wissen, dass dieses Bild schwarz sein sollte, wird das auftretende Rauschen anschliessend von der wirklichen Aufnahme einfach subtrahiert.

Sensoren für Profis

Der edelste unter den Digitalsensoren ist der Full Frame CCD. Er findet vor allem in professionellen Systemen wie der getesteten Contax N digital Anwendung. Der Sensor ist in der Fertigung besonders aufwändig, da die Pixel untereinander verbunden sind und nur am Rand ausgelesen werden. Ein Unterbruch macht praktisch den ganzen Sensor untauglich, wo bei anderen Technologien lediglich ein sogenannter Pixelfehler auftritt, der in der Software weggerechnet werden kann. Im Gegensatz zum Full Frame Sensor nimmt der Interline Transfer Sensor nicht die ganze Fläche an Pixeln auf, sondern nur jede zweite Reihe. Die Reihen dazwischen übernehmen die Information von der belichteten Nachbarreihe und geben sie wie beim Full Frame CCD am Rand ab. Die CCD Pixel sind aber meist sehr grossflächig lichtempfindlich, was zu einer guten Informationsausbeute führt, so dass die «toten» Reihen einfach rechnerisch mit Information gefüllt werden (Bildinterpolation). Eine Spezialität bei den CCDs stellt der Super-CCD von Fujifilm dar. Während bei allen Modellen die

Canon EOS 300D



In der Canon EOS 300 D kommt ein CMOS Sensor mit 6 Megapixel zum Einsatz. Canon gelingt es, einerseits mit einer wenig Eigenrauschen produzierenden Hardware, andererseits aber vor allem durch eine gute Software, die Bilder sehr brillant in den Farben und sehr differenziert im Kontrast darzustellen. Die Daten werden – wie bei Amateurkameras üblich – leicht geschärft ausgegeben.

Contax N digital



Die Contax N digital hat einen von Dalsa konstruierten Full Frame Sensor mit 6 Megapixel eingebaut. Ihre Daten werden wahlweise als JPEG oder Rohdaten und ungeschärft ausgegeben, was von Fotografen geschätzt wird, da die Weiterverarbeitung, Skalierung etc. bessere Resultate liefert. Die Bilder können mit verschiedenen Gradiationskurven abgespeichert werden für optimale Farbkontrolle.

Fujifilm 7000



Der Super CCD der Fujifilm 7000 hat dank seiner einmaligen Wabenstruktur kaum Moiréprobleme. Die 6,3 Megapixel liefern eine sehr detaillierte Auflösung, auch hier werden die Daten leicht vorgeschräft, zu erkennen an den kontrastreicherden Kanten. Das Testbild stammt aus dem Test im Fotointern 1/04, zeigt aber trotzdem den leicht geringeren Dynamikumfang des kleineren Sensors.

Sigma SD10



Verblüffend sind die Resultate des Foveon-Sensors der Sigma SD10, in der Fläche 3,4 Megapixel gross, allerdings sind drei solche Schichten übereinander. Die dadurch entfallende Farbinterpolation ermöglicht sehr farbreine und dadurch sehr detailgetreue Bilder. Die Software der SD10 arbeitet offensichtlich sehr gut bezüglich Rauschen, es ist wider Erwarten kaum welches festzustellen.

Pixel einfach in Reihen und in der Form rechteckig angeordnet sind, hat Fujifilm die Pixel acht-eckig gestaltet und in einem Wabenmuster angeordnet. Vorteil dieser Technologie: Während die rechteckige Pixelanordnung beim Aufnehmen von geometrischen Strukturen wie bei Stoffen zu sogenanntem Moiré neigt, eine Interferenz der Muster, die zu Farbfehlinterpolationen führt, vermag das Wabenmuster des Super-CCD diese Muster besser zu erfassen. Beim Super CCD HR von Fujifilm sind jeweils pro Pixelfeld sogar zwei Pixel unterschiedlicher Größe angeordnet, was nebst einer besseren Detailauflösung auch einen grösseren Dynamikumfang bringt.

Der von der amerikanischen Firma Foveon erfundene und in der Sigma SD9 erstmals eingesetzte Dreischichtensor hat einen entscheidenden Vorteil: An jeder Stelle nimmt er die volle Farbinformation auf und erübrigt damit die Interpolation. Dafür sind drei lichtdurchlässige CMOS-Sensoren sozusagen übereinandergelegt. Das Auslesen erfolgt nicht nur in zwei, sondern eben in drei Dimensionen, Filter zwischen den

Sensoren ermöglichen die unterschiedliche Farbempfindung der Schichten. Das liefert bessere Details, hat aber den Nachteil, dass sich das Rauschen der drei Schichten kumuliert.

Dynamik

Eine der wichtigsten Kriterien bei Digitalkameras ist der Dynamikumfang eines Sensors. Damit ist die Fähigkeit gemeint, sowohl in dunklen wie auch in hellen Bildpartien noch Details zu erkennen. Entscheidend für diese Fähigkeit ist neben der Elektronik die Größe des einzelnen Pixels. Diese ist abhängig von der Anzahl der Pixel und der Kantenlänge des Sensors. Der Trend geht zu immer kleineren Pixeln, da zum einen in der Produktion der Sensoren die Platten (Waver), auf denen die Sensoren «gedruckt» werden eine fixe Größe darstellen, und somit möglichst viele Sensoren auf einer Platte Platz finden müssen um Kosten zu sparen, zum anderen aber die Kameragehäuse und die Objektive gleich gross bleiben sollen, die Pixelzahl aber steigen soll. Somit bleibt die Sensorgröße stets die gleiche und es werden mehr Pi-

xel draufgepfercht, diese somit kleiner. Je kleiner ein Pixel, desto weniger Dynamikumfang. Denn trifft viel Licht auf einen kleinen Pixel, ist dieser schnell «überladen», die hellen Bildpartien reissen aus. In dunklen Bereichen trifft dafür weniger vom spärlichen Licht auf einen kleinen Pixel, also auch hier weniger Zeichnung. So gesehen kann eine Kamera mit weniger Pixeln gegenüber dem gleichen Modell mit mehr Pixeln bessere Bildresultate liefern.

Um die Ausbeute bei kleinen Pixeln zu verbessern, applizieren einige Hersteller auf jedem Pixel eine sogenannte Mikrolinse, die das Licht bündelt und so mehr Information in den Pixel bringt. Nebst der Problematik des Dynamikumfangs sind die Mikrolinsen bezüglich der optischen Qualität meist nicht optimal, was wiederum zu Farbverschiebungen und Unschärfen führen kann.

Fazit

Pixeljagd ist nicht das Ende der Weisheit. Lieber etwas weniger Pixel, dafür «gute» Pixel. Bei Profisystemen darauf achten, wie das Rauschen gemanagt wird.

Aktive Kühlung des Sensors unterdrückt beispielsweise weitgehend das Rauschen, weil die gekühlte Elektronik weniger freie Elektronen aufweist. Während professionelle Digitalrückteile für Mittelformat- oder Fachkameras für die volle Farbinformation den Sensor noch viermal um Pixelbreite bewegen und aus den vier ineinander gerechneten Aufnahmen jeweils an jeder Pixelstelle jede Farbe erhalten, weist Foveon mit dem Dreischichtensor den Weg in die Zukunft.

Buch zum Thema

Das von Romano Padeste, Workflowspezialist bei der Firma Sinar, und Helmut Kraus, Fachbuchautor und Medienprofi, verfasste Buch «Digitale High-End Fotografie» liefert alle wissenswerten Grundlagen über digitale Technik, Physik und Weiterverarbeitung von Bildern. In praktischen Beispielen wird außerdem die professionelle Anwendung von Digitalkameras gezeigt. Erschienen im Verlag Sinaredition, Bestell-Nr. 1203325, erhältlich für Fr. 78.– unter www.fotobuch.ch

KREATIVE KONTROLLE

ILFORD

www.ilford.com

Zeit, ILFORD richtig kennen zu lernen !

Nehmen Sie sich die Zeit und seien Sie dabei, wenn wir am 24./25. März 2004 oder 27./28. April 2004 unsere Hüllen fallen lassen.

An unserem ganztägigen Workshop sollen Sie sich anhand Live-Demos von Qualität und Leistung unserer

Neuheiten überzeugen können.

Zum Abschluss werden wir Sie durch das

ILFORD Werk führen.

Wir freuen uns schon heute,

Sie in Marly (FR) begrüßen zu dürfen.

Studio
"ILFORD"

FÜR DIE PROFESSIONELLE
BILDBEARBEITUNG

ILFORD
GALERIE
premium

FÜR DEN PROFESSIONELLEN
FOTOHÄNDLER, COPY SHOPS...

PRINTASIA®
"ILFORD"

BIG PRINTS

DIGITALES
VERGRÖSSERUNGSSYSTEM

FOTO : © MATTHIAS MAAS FOTOGRAFIE

... WORKSHOP ... WORKSHOP ... WORKSHOP ... WORKSHOP ... WORKSHOP ... WORKSHOP ...

ANMELDEALON

Bitte senden Sie uns den Anmeldealon bis zum **15. MÄRZ 2004** zurück

SEHR GERNE NEHME ICH AM GANZÄGIGEN WORKSHOP
IN MARLY (FRIBOURG) TEIL UND MELDE MICH AN FÜR:

24. März 2004, 27. April 2004, in französischer Sprache
 25. März 2004, 28. April 2004, in deutscher Sprache

ICH BIN LEIDER VERHINDERT

- Bitte um Kontaktaufnahme für eine separate Demonstration
 Bitte senden Sie mir weitere Unterlagen
zu folgendem/n System/en
 Studio Galerie Premium Big Prints

Frau Herr Anzahl Personen _____

Name & Vorname:

Firma:

Adresse:

PLZ/Ort:

Tel. / Fax. Nr.:

E-Mail:

Datum &
Unterschrift: