

# DER BILDSSENSOR

## – TEIL 2 –

Mit gelöster Auflösungsbremse | Auflösung: Sensor schlägt Film |  
Schlankheitskur für den Sensor | Die Zukunft des Sensors



GRUNDWISSEN KAMERATECHNIK



Alle Illustrationen: Michael J. Hußmann

# Mit gelöster Auflösungsbremse

Immer mehr Kamerahersteller gehen dazu über, im Interesse einer höheren Auflösung auf das Tiefpassfilter vor dem Sensor zu verzichten. Aber lassen sich auf diese Weise wirklich mehr Details bei gleicher Pixelzahl abbilden, ohne dass sie von einem farbigen Moirémuster überlagert würden? Und wenn ja, warum hat man dann jemals Tiefpassfilter eingebaut? **Michael J. Hußmann** klärt auf, was hinter dem neuen Trend steckt.

**D**er aktuelle Trend, Kameras ohne Tiefpassfilter zu bauen, um damit deren Detailauflösung zu verbessern, macht stutzig: Der technische Fortschritt besteht gewöhnlich darin, dass vorhandene Komponenten verbessert werden oder ganz neue Module hinzu kommen. Das Tiefpass- oder Antialiasingfilter ist dagegen ein früher selbstverständliches Bauteil, über das die Hersteller selten ein Wort verloren hatten, und das sie nun nicht nur als überflüssig, sondern als Hindernis zur Nutzung der vollen Sensorauflösung ausgemacht haben. Es ist ein wenig so, als hätte man Autos bisher stets mit fest angezogener Bremse gebaut und käme erst jetzt auf die Idee, diese Bremse zu lösen.

## Der Sensor im Querschnitt

Wenn das Tiefpassfilter lange Zeit wenig Beachtung fand, so liegt das auch daran, dass es ein fester, selbst beim Blick in die Kamera nicht sichtbarer Bestandteil der Sensoreinheit ist. Das, was wir gemeinhin als Sensor bezeichnen, ist ein Sand-

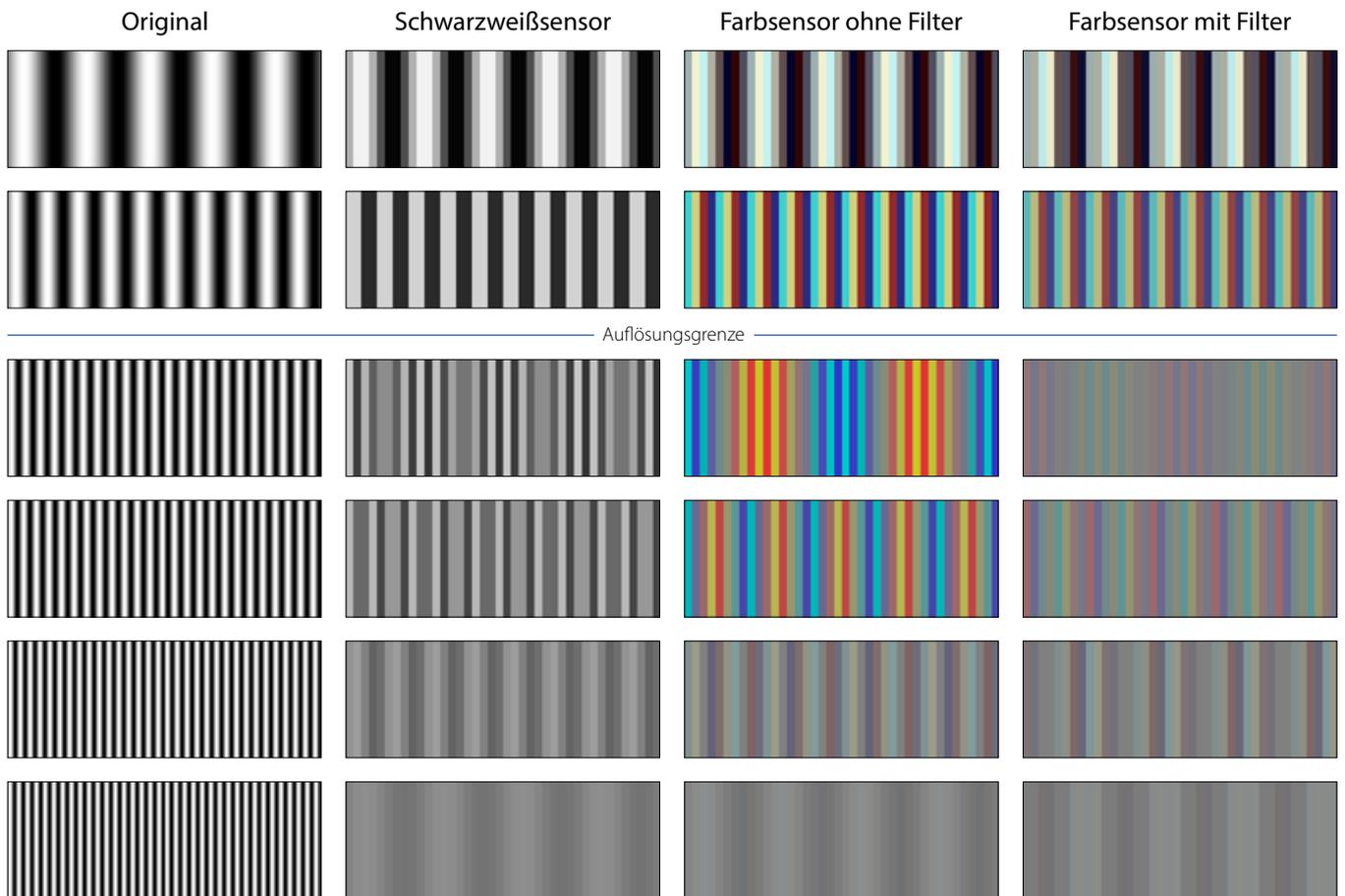
wich aus mehreren Schichten, die eine gekapselte Einheit bilden. Die Basis bildet ein Siliziumchip, meist vom CMOS-Typ, dessen Pixel je eine lichtempfindliche Fotodiode und einen Speicher für elektrische Ladungen enthalten, dazu die Ausleseelektronik, Schaltkreise für die Rauschunterdrückung und heutzutage fast immer auch die Analog/Digital-Wandler. Auf dem Chip liegt eine Schicht aus Farbfiltern, meist rote, grüne und blaue Filter im nach Bryce E. Bayer benannten Muster, und darüber die Mikrolinsen, die dafür sorgen, dass ein möglichst großer Teil des auf ein Quadrat des Pixelrasters fallenden Lichts auf die kleinere lichtempfindliche Fläche auf dem Chip gelenkt wird. Die oberste Sensorschicht bildet ein vergütetes Deckglas, das oft gleichzeitig als UV/IR-Sperrfilter wirkt, nur sichtbares Licht durchlässt und insbesondere Farbverschiebungen durch Infrarot verhindert.

Zwischen Deckglas und Mikrolinsen gibt es bei den meisten Sensoren eine weitere Schicht – ein Tiefpassfilter, das feinste,

vom Sensor noch auflösbare Details unterdrückt und das Bild damit unschärfer macht. Das Gegenteil eines Tiefpassfilters kennen Sie in seiner Software-Variante aus Photoshop, nämlich »Filter > Sonstige Filter > Hochpass«. Während ein Hochpassfilter hohe Ortsfrequenzen, also feine Details passieren lässt, sperrt es die tiefen Frequenzen. Auch Tiefpassfilter, die feine Details unterdrücken und nur grobe Strukturen erhalten, sind in Photoshop zu finden, aber mit anderen Namen unter »Filter > Weichzeichnungsfiler«. Es bleibt nun aber noch die Frage zu beantworten, warum die Auflösung einer Aufnahme schon in der Kamera reduziert wird, wenn man das Bild doch auch noch im Nachhinein weichzeichnen könnte.

## Entschärfen

Der Einbau eines weichzeichnenden Tiefpassfilters drückt die effektive Auflösung deutlich unter das Maß, das der Sensor eigentlich bewältigen könnte, aber dafür gibt es einen guten Grund: Ohne ein sol-



Wenn das abzubildende Muster über die vom Abtasttheorem gesetzte Grenze hinaus immer feiner wird (erste Spalte), erzeugt ein reiner Schwarzweißsensor zunehmend weniger Kontrast; das Helligkeitsmoiré stört dabei kaum (zweite Spalte). Bilder eines Farbsensors mit RGB-Filtern im Bayer-Muster zeigen dagegen ein auffälliges Farbmoiré (dritte Spalte), das durch ein Tiefpassfilter reduziert wird (vierte Spalte).

ches Filter würden feine Strukturen knapp jenseits der Auflösungsgrenze des Sensors ein Moiré erzeugen, das sich im Nachhinein nur schwer eliminieren ließe. Das fein schraffierte Porträt George Washingtons auf einer Dollar-Note, das im Aufmacherbild zu sehen ist, zeigt diese Artefakte in künstlich hervorgehobener Form.

Wenn es um die Ursache des Moirés und die vermeintliche Notwendigkeit eines Tiefpassfilters geht, wird meist auf das Abtasttheorem von Nyquist und Shannon verwiesen – eine mathematische Gesetzmäßigkeit, die beschreibt, wie feine Strukturen sich durch einzelne Messungen auflösen lassen. Das ist nicht falsch, geht aber am Kern der Sache vorbei.

Das Abtasttheorem besagt nur, was uns intuitiv bereits klar ist, nämlich dass die Pixelzahl des Sensors dessen Auflösungsvermögen begrenzt. Wenn es in einem Bild ein Muster feiner schwarzer und weißer Linien gibt, deren Abstand dem Abstand der Sensorpixel entspricht, wird dieses Muster perfekt, also mit maximalem Kontrast aufgelöst, falls die Linien im Bild mit den Pixelzeilen oder -spalten zusammenfallen. Sind die Linien dagegen um eine halbe Pixelbreite verschoben, so „sieht“ jedes Pixel je zur Hälfte eine schwarze

und eine weiße Linie, im Durchschnitt also Grau. In diesem ungünstigsten Fall werden die Linien gar nicht aufgelöst. Erst wenn der Pixelabstand geringer als der Abstand der Linien ist, ist selbst im ungünstigsten Fall ein Minimum an Kontrast garantiert.

Nach dem Abtasttheorem kann der Sensor nur solche Strukturen auflösen, die wenigstens etwas gröber als sein Pixelraster sind. Für noch mehr Auflösung wären noch mehr Megapixel nötig, aber auch ein höher auflösender Sensor könnte nicht das eigentliche Problem beseitigen – das Moiré, das sich an der immer vorhandenen und bestenfalls hinausgeschobenen Auflösungsgrenze zeigt.

Die Entstehung von Moiré lässt sich auf anderem Wege besser erklären, nämlich als Folge nicht repräsentativer und daher irreführender Messwerte. Nehmen Sie an, Sie wollten in einem Diagramm darstellen, wie viel es in Ihrer Stadt in jedem Monat des Jahres regnet, und um Zeit zu sparen, würden Sie die Regenmenge nur an jedem 15. eines Monats messen. Es liegt auf der Hand, dass der 15. zufällig der einzige Regentag eines ansonsten eher trockenen Monats sein könnte, und ebenso wäre der umgekehrte Fall möglich. Die so ermittelten Werte wären also nicht reprä-

sentativ für einen ganzen Monat und daher nicht verlässlich. Stattdessen müssten Sie die Regenmenge jeweils über den ganzen Monat messen. Die Auflösung bliebe dieselbe – das Diagramm zeigte weiterhin nur 12 Werte, je einen pro Monat –, aber diese Werte wären repräsentativ und damit aussagekräftig.

Probleme mit nicht repräsentativen Messungen kann es auch beim Bildsensor geben, denn von der gesamten Pixelfläche ist ja nur ein Teil tatsächlich lichtempfindlich. Wenn ein Motiv sehr feine Strukturen enthält und das Objektiv diese entsprechend fein auflöst, kann auf einen Teil eines Sensorpixels Licht fallen, auf einen anderen Teil hingegen nicht. Das Pixel würde rein zufällig Licht oder Schatten registrieren, je nachdem, ob der vom Licht getroffene Teil überhaupt dafür empfindlich ist. Aus der Überlagerung eines regelmäßigen Musters im Bild mit dem ebenso regelmäßigen Pixelraster entstünde dann Moiré.

Zumindest wäre das zu erwarten. Dass wir ein solches Helligkeitsmoiré tatsächlich kaum beobachten, ist Sensorbestandteilen zu verdanken, an die Sie in diesem Zusammenhang vermutlich nicht denken würden: den Mikrolinsen. Die Hauptaufgabe der Mikrolinsen liegt zwar darin, die ▶