

# Grundlagen der CCD Fotographie mit digitalen Spiegelreflexkameras

## Kontaktdaten



Sales & Service  
Postfach 1265  
Am Barkenkamp 9  
D – 25474 Hasloh

e-Mail [service@ineltech.de](mailto:service@ineltech.de)  
[www.ineltech.com](http://www.ineltech.com)

## INHALTSVERZEICHNIS

<b><i>Inhaltsverzeichnis</i></b> .....	<b>2</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>3</b>
<b>2 Theorie</b> .....	<b>4</b>
<b>2.1 Chiptechnik</b> .....	<b>4</b>
2.1.1 Quanteneffizienz .....	5
2.1.2 Full Frame .....	5
2.1.3 Frame Transfer .....	5
2.1.4 Interline Transfer .....	5
2.1.5 Microlinsen .....	6
<b>2.2 Digitale Spiegelreflexkamera</b> .....	<b>6</b>
2.2.1 Kenndaten einer Digitalen Kamera.....	6
2.2.2 Dunkelstrom .....	7
2.2.3 Flatfield.....	7
2.2.4 Farbfilterarray .....	8
2.2.5 Farbrauschen .....	8
2.2.6 Bilder im Rohdatenformat (RAW) .....	8
2.2.7 Digitale Kompakt- vs. - Spiegelreflexkamera.....	9
2.2.8 Kriterien für den Kauf .....	9
<b>2.3 Aufnahmetechnik</b> .....	<b>10</b>
2.3.1 Pixelgröße und Brennweite.....	10
<b>2.4 Teleskop mit Digitalkamera</b> .....	<b>11</b>
2.4.1 Primärfokus .....	11
2.4.2 Okularprojektion .....	11
2.4.3 Afokale Projektion .....	11

### 1 Einleitung

Mit der Einführung der Digitaltechnik in der Photographie hat sich diese vermehrt durchgesetzt. Durch die zunehmende Verbreitung wurden diese immer erschwinglicher und fand mehr und mehr auch Anwendung bei professionellen Spiegelreflexkameras. Mittlerweile werden fast ausschließlich nur noch digitale Kameras auf dem Markt angeboten.

Es ist daher nicht verwunderlich, dass viele Astronomen jetzt nach einem Ersatz für die bisher verwendeten analogen Kameras suchen. Sie sollten sowohl im alltäglichen wie auch für die Astrophotographie geeignet sein. Im ersten Anflug könnte man geneigt sein, die digitalen Spiegelreflexkameras als direkte Weiterentwicklung der analogen zu betrachten.

Wenn Sie sich für den Einsatz von speziellen Astro- CCD Kameras (welche aber auch deutlich teurer sind) interessieren, so finden Sie hierzu nähere Informationen in einem gesonderten Artikel.

## 2 Theorie

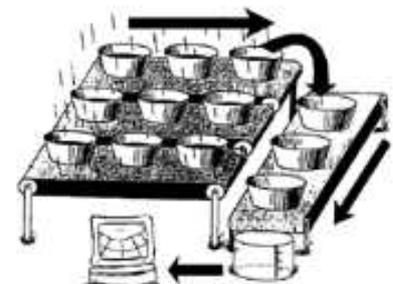
Grundsätzlich gelten für digitale und analoge Spiegelreflexkameras die selben Grundlagen. Das Fehlen des sog. Schwarzschildeffekts bei digitaler Aufnahmetechnik ist der gravierendste Unterschied. Das bedeutet, dass sich die Aufnahmehelligkeit weitgehend linear mit der Belichtungszeit verhält. So ist es möglich, mehrere vergleichsweise kurz belichtete Aufnahmen im Computer zu einem Komposit aufzuaddieren. So muss beim Nachführen weniger exakt gearbeitet werden und misslungene Aufnahmen können einfach ausgelassen werden, ohne die gesamte Aufnahme zu ruinieren. Auf die Möglichkeiten dieser Technik werden wir später noch detaillierter eingehen.

### 2.1 Chiptechnik

Bei aktuellen Digitalkameras kommen fast ausschließlich CCD und CMOS Chips zum Einsatz. Sie sind maßgeblich für die Qualität der späteren Bilder verantwortlich. Ein CCD-Chip, besteht aus einer rechteckigen Fläche, welche in viele kleine Teile (Pixel = Picture-Elements) aufgeteilt ist. Bei der Belichtung fällt eine von der Objekthelligkeit abhängige Menge an Photonen (Lichtteilchen) auf die Pixel und wird in Form von elektrischen Ladungen gespeichert.

Wird der CCD-Chip nach der Belichtung ausgelesen, werden die Ladungen der einzelnen Pixel nacheinander in digitale Signale umgesetzt, welche zu einem Speichermedium übertragen und in Form von Zahlen (Pixelwerten) gespeichert werden. Je mehr Photonen auf ein Pixel gefallen sind, also je stärker die Belichtung war, desto größer ist der Pixelwert, der diesem Pixel zugeordnet wird. Ein Bild besteht im Prinzip also nur aus Zahlen. Diese Zahlen liegen in einem bestimmten Wertebereich. Wie groß dieser Bereich ist, hängt von der sog. Dynamik der aufnehmenden Kamera ab.

Ein Nachteil dieser Technik liegt darin, das Pixel „Überlaufen“ können. Diese sind gesättigt und weitere auf diesen Pixel auftreffende Photonen belichten dann umliegende Pixel. Dieser Effekt heißt Blooming. Die



Prinzipien eines CCD Chips

meisten Chips digitaler Spiegelreflexkameras verfügen über eine Vorrichtung (Anti-

Blooming Gate), die diesen Effekt teilweise verhindert. Der Preis dafür ist eine Reduktion der Empfindlichkeit des Chips. In der Astrophotographie macht sich das Blooming insbesondere bei langbelichteten Aufnahmen von dunklen Objekten mit sehr hellen Sternen bemerkbar. Abhilfe schafft hier die bereits angesprochene Komposit Technik.

### **2.1.1 Quanteneffizienz**

Die Quanteneffizienz ist ein wichtiges Maß für die Lichtempfindlichkeit der einzelnen Pixel. Es ist der Wirkungsgrad, welcher Anteil der auftreffenden Photonen zu einer tatsächlichen Belichtung des Pixels führt. Gute Sensoren ohne Farbfilter bringen es auf eine Quanteneffizienz von bis zu 60%-80%. Sensoren mit Farbfilterarray erreichen typischer Weise nur 5%-10% Quanteneffizienz. Durch den Einsatz von sog. Mikrolinsen auf jedem einzelnen Pixel kann die Quanteneffizienz gesteigert werden.

### **2.1.2 Full Frame**

Bei einem Full Frame Chip handelt es sich um einen Sensor, der direkt ausgelesen wird. Mit einem Verschlussmechanismus wird eine gleichmäßige Belichtung des Sensors erreicht und beim Auslesevorgang verhindert. Die Full Frame Chips finden, dank der Möglichkeit, die volle Fläche nutzen zu können, Anwendung in speziellen Astro CCD Kameras, vor für bei Deep- Sky Aufnahmen interessant. Für die Aufnahme von Sonne, Mond oder Planeten ist diese Technologie hingegen weniger geeignet.

### **2.1.3 Frame Transfer**

Bei der Frame Transfer Technik ist der Chip zur Hälfte maskiert, so steht nur die andere Hälfte für die Aufnahme aktiv zur Verfügung. Nach der Aufnahme werden die Werte der aktiven Hälfte zunächst in die maskierte verschoben und dann ausgelesen. Hier wird ein mechanischer Verschluss daher nicht zwingend benötigt.

### **2.1.4 Interline Transfer**

Beim Interline Transfer wird jede zweite Bildzeile auf dem Sensor maskiert. Nach der Aufnahme werden dann die Ladungen der unmaskierten Zeilen jeweils in die nebenliegenden, maskierten Zeilen verschoben und erst anschließend ausgelesen. So können sehr kurze Belichtungszeiten von 1/7000s und kürzer verwirklicht werden. Ein mechanischer Verschluss ist nicht notwendig. Dass die maskierten Zeilen innerhalb

des Bildfensters liegen, stellt allerdings ein enormes Manko dar, da auf sie fallendes Licht nicht zur effektiven Belichtung führt.

### **2.1.5 Microlinsen**

Die einzelnen Pixel auf dem Sensor sind sowohl bei CCD als auch bei CMOS Chips extrem abhängig von direkt einfallenden Photonen. Nur diese können ausgewertet werden. Um diesem Effekt entgegen zu wirken, können die einzelnen Pixel auf dem Sensor mit kleinen Linsen versehen werden. Diese leiten Photonen, die sonst zwischen die aktiven Pixel fallen würden auf die Pixel, um sie so ebenfalls auswerten zu können. Durch den Einsatz dieser Linsen kann die Quanteneffizienz des Sensors enorm gesteigert werden.

## **2.2 Digitale Spiegelreflexkamera**

### **2.2.1 Kenndaten einer Digitalen Kamera**

Um die notwendigen Berechnungen und Einstellungen vornehmen zu können, ist es unbedingt notwendig, einige Kennzahlen der Kamera zu kennen. Die wichtigsten Daten sind:

- Chip Typ (CCD, CMOS)
- Auflösung
- Chipgröße (in mm)
- Pixelgröße
- Spektrale Empfindlichkeit
- Quanteneffizienz

Mit der Chipgröße und der horizontalen und vertikalen Auflösung lässt sich die Pixelgröße leicht errechnen. Bei Farbbildkameras ist die reelle Anzahl der Pixel aufgrund des Farbfilterarrays größer als die Anzahl der Pixel der erzeugten Bilder.

Digitale Spiegelreflexkameras werden derzeit hauptsächlich mit CMOS Chips ausgestattet. Diese sind in der Herstellung günstiger und stehen in der Qualität den CCD Chips in nichts nach.

Im folgenden werden die einzelnen Effekte, die bei der digitalen Photographie auftreten, näher beleuchtet. Dabei handelt es sich insbesondere um Dunkelstrom und Flatfield. Außerdem wird die Technik der Farbbildgewinnung mittels Farbbarray sowie die dadurch bedingten Effekte beschrieben.

### 2.2.2 Dunkelstrom

Sowohl bei CCD als auch bei CMOS Chips tritt der sogenannte Dunkelstrom, eine zusätzliche, thermische Belichtung der Pixel, auf. Er steigt proportional zur Belichtungszeit und ist umso größer, je höher die Außentemperatur ist. Unterhalb von  $-60^{\circ}\text{C}$  tritt dieser Effekt kaum noch auf. Aus diesem Grund werden reine Astrokameras gekühlt. Auch, wenn sich das Dunkelstromverhalten bei den aktuellen Chips deutlich verbessert hat, kann durch eine später beschriebene Methode dieses nahezu vollständig eliminiert werden.

Zu beobachten ist, dass die bei den in der Massenproduktion hergestellten digitalen Spiegelreflexkameras verbaute Elektronik den Chip durch Wärmeentwicklung zusätzlich erwärmt. Dies kann dazu führen, dass die Kamera für Langzeitbelichtungen bei hoher Empfindlichkeit weniger geeignet ist.



Die Erwärmung durch den links im Bild liegenden Ausleseverstärker erhöht dort den Dunkelstromeffekt

### 2.2.3 Flatfield

Leider haben nicht alle Pixel auf einem CCD-Chip die gleiche Empfindlichkeit. Im Extremfall, also bei sehr geringer Pixelempfindlichkeit, spricht man von toten Pixeln. Außerdem wird durch optische Einflüsse nicht immer eine gleichmäßige Belichtung des ganzen Chips erzielt. Dafür ist hauptsächlich die sog. Vignettierung verantwortlich: Häufig ist die Lichtausbeute am Rand des Bildes aufgrund von Streulichtblenden, Adaptern oder eines (zu) kleinen Fangspiegels kleiner als in der Mitte. Ein weiterer Effekt, der die Belichtung beeinflussen kann, sind Staubkörner auf optischen Flächen.

Diese Effekte kann man durch eine sogenannte Flatfield-Aufnahme ausgleichen. Dabei wird eine gleichmäßig beleuchtete, weiße Fläche aufgenommen. Das gewonnene Bild gibt Aufschluss über die Empfindlichkeiten und die Belichtung der

verschiedenen Pixel und muss von der Originalaufnahme dividiert werden.

Da die zeitlichen Veränderungen der Pixelempfindlichkeiten nur minimal sind, reicht es, wenn keine Vignettierung vorhanden ist, die Erstellung eines Flatfield-Bildes einmal pro Saison durchzuführen. Dies erfordert natürlich auch eine nahezu staubfreie optische Flächen!

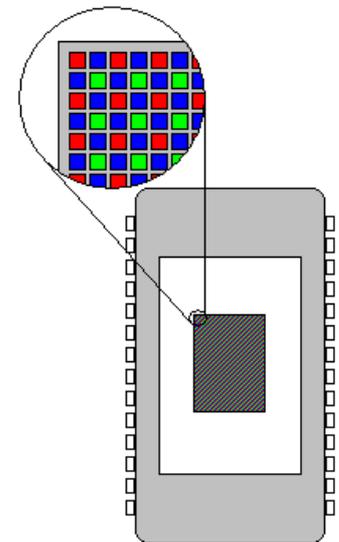
Möchte man jedoch die Vignettierung (vor allem bei großen Chips) ausgleichen, muss allerdings mindestens ein Flatfield pro Aufnahmeserie gemacht werden.

### **2.2.4 Farbfilterarray**

Als Besonderheit gegenüber den reinen Astrokameras ist bei digitalen Spiegelreflexkameras ein Farbfilterarray direkt auf den Chip aufgebracht. Dadurch sind reine schwarz/weiß Aufnahmen nicht möglich, ebenfalls sinkt die Quanteneffizienz. Andererseits wird dieser Verlust oft durch Mikrolinsen wieder etwas ausgeglichen.

Die optische Qualität der mit Farbfilterarray gewonnenen Aufnahmen, geben die Hersteller an, ist mit der Qualität sehr guter Glasfilter vergleichbar.

Bei den aufgetragenen Farbfilterarrays können die gewonnen Rohbildinformationen nicht direkt verwendet werden. Ein Farbbild muss erst durch die Interpolation der farbigen Pixel errechnet werden. Bei der Interpolation setzt jeder Hersteller auf ein anderes Verfahren.



CCD Sensor mit einem Farbraster

### **2.2.5 Farbrauschen**

Die durch das Farbfilterarray notwendige Interpolation entsteht ein Farbrauschen. Abhilfe schafft hier die Nachbearbeitung an einem Computer mit einer speziellen Bildverarbeitungssoftware. Es bietet sich hier an, die Weichzeichnungsfilterfunktion zu verwenden.

### **2.2.6 Bilder im Rohdatenformat (RAW)**

Aktuelle Spiegelreflexkameras bieten ein Rohdatenformat an. Dieses ermöglicht es, die Daten ohne Interpolation oder Komprimierung direkt vom Chip auszulesen. Dieses

bietet die Möglichkeit, Bilder mit einer deutlich größeren Dynamik (z.B. 12 oder 16 Bit je Farbkanal), statt der bei JPEGs üblichen 8 Bit, auszulesen.

Da die Daten direkt vom Chip ausgelesen werden und keine Verarbeitung stattfindet, ist das RAW Dateiformat Chipabhängig und variiert von Kamera zu Kamera. Derzeit unterstützen nur wenige Bildverarbeitungsprogramme einzelne Kameratypen direkt. Zur weiteren Bearbeitung ist daher in der Regel eine Konvertierung in ein anderes Dateiformat notwendig. Um verlustfrei zu arbeiten, ist bei Astro- Aufnahmen die Verwendung des FITS Formates mit einer Dynamik von 16Bit je Farbkanal empfehlenswert. Es bietet sich zudem auch für die langfristige Archivierung an. Mittels eines Bildverarbeitungsprogramms können dann jederzeit JPEGs oder TIFFs erzeugt werden.

### **2.2.7 Digitale Kompakt- vs. - Spiegelreflexkamera**

Für die astronomische Photographie ist es notwendig, über ausreichend lange Belichtungszeiten zu verfügen. Einige wenige digitale Kompaktkameras bieten die Möglichkeit die Belichtungszeit einzustellen. Mit der festeingebauten Optik kann diese, mit etwas Übung, zum abfotografieren auf den Okular genutzt werden. Dies ist vor allem bei der Aufnahme von Planeten und Mond anwendbar.

Die digitalen Spiegelreflexkameras verfügen im Vergleich zu Kompaktkameras über große Chips (egal ob CCD oder CMOS). Das Rauschverhalten ist im Verhältnis zur Empfindlichkeit bei diesen in der Regel besser. Die in der Regel wechselbare Optik bietet darüber hinaus die Möglichkeit, die Kamera mittels T-Adapters direkt an das Teleskop anzuschließen, egal ob im Primärfokus oder über Okularprojektion.

### **2.2.8 Kriterien für den Kauf**

Bei der Anschaffung einer digitalen Spiegelreflexkamera ist die astronomische Photographie in aller Regel nur ein Anwendungsgebiet unter vielen. Um diese allerdings erfolgreich abzudecken, sollten folgende Punkte besonders berücksichtigt werden:

- Geringes Rauschen

- B-/T- Belichtungsmodus mit Zeiten von mind. 5 -10 min
- Spiegelvorauslösung
- Externe Stromversorgung
- Fernsteuerung
- RAW Dateiformat Unterstützung

In der astronomischen Photographie sind die Modelle Canon EOS 300D / 10D und Nikon D100 / D70 derzeit sehr verbreitet. Es kann davon ausgegangen werden, dass diese sich für die Astrofotographie besonders anbieten.

## 2.3 Aufnahmetechnik

### 2.3.1 Pixelgröße und Brennweite

Die Belichtungsfläche kann durch die Brennweite und das Öffnungsverhältnis der Optik berechnet werden.

Brennweite:  $f$

Öffnungsverhältnis:  $n$

Öffnung:  $d = f / n$

Bei lichtstarken Öffnungsverhältnissen (kleiner als  $f/5$ ) sind aktuelle digitale Spiegelreflexkameras sehr gut. Bei lichtschwächerer Optik macht sich die fehlende Kühlung des Sensors bemerkbar. Der Grund hierfür ist die notwendige Verlängerung der Belichtungszeit.

Die Brennweite bestimmt die Vergrößerung und somit die Auflösung, die erreicht wird. Da digitale Kameras mit einer fixen Pixelgröße ausgestattet sind, bieten sich einige Teleskop-Kamera-Konstellationen mehr an als andere.

Legt man nun die allgemeinen Formeln zu Grunde, lässt sich die Auflösung in Bogensekunden berechnen. Verwendet man ein Teleskop mit  $f=1200$  mm Brennweite und eine Kamera mit  $L = 7,8$   $\mu\text{m}$  Pixelgröße, so errechnet sich eine Auflösung von  $A = 1,33''$  pro Pixel. Verändert man nun die Brennweite auf  $f=3500$  so errechnet sich daraus ein Wert von  $A = 0,46''$  pro Pixel. Hier wird dem versierten Astrofotographen schnell klar, dass ein Seeing von fast  $0,5''$  in unseren Breiten eher selten vorkommt.

### **2.4 Teleskop mit Digitalkamera**

Es gibt verschiedene Wege, eine Digitalkamera in Verbindung mit einem Teleskop zu nutzen.

#### **2.4.1 Primärfokus**

Anstelle eines Teleobjektivs wird bei dieser Aufnahmetechnik das Teleskop eingesetzt. Es wird so die maximale optische Qualität des Teleskops ausgenutzt. Allerdings steht so nur eine feste Brennweite zur Verfügung, was zwangsweise eine vom Teleskop abhängige Vergrößerung ergibt. Mit zusätzlichen Barlow- und Shapley- Elementen (zwischen Teleskop und Kamera) kann die Brennweite modifiziert werden, um so eine gewisse Flexibilität zu erzielen.

#### **2.4.2 Okularprojektion**

Um Objekte zu fotografieren, die eine größere Vergrößerung benötigen, wie z.B. Sonne, Mond oder Planeten bietet sich hingegen die Okular Projektion an. Dabei wird in den Strahlengang ein (Projektions-)Okular eingebracht. Mit diesem wird dann die passende Vergrößerung eingestellt.

Allerdings führt die mit der Okularprojektion erreichte, virtuell große Brennweite zu einem deutlich lichtschwächeren Öffnungsverhältnis, sodass nur lichtstarke Objekte hierfür infrage kommen.

#### **2.4.3 Afokale Projektion**

Kompakte Digitalkameras verfügen über eine fest eingebaute Optik. Um diese dennoch an einem Teleskop anschließen zu können, wird die afokale Projektion eingesetzt. Allerdings entstehen durch die vielen zum Einsatz kommenden Optiken eine Vielzahl von Glas-Luft Flächen. Als Folge leidet die Qualität der Aufnahme enorm. Auch trotz immer besser werdender Technik ist diese Methode daher nur als Notlösung anzusehen.

## Kontaktdaten



Sales & Service  
Postfach  
Am Barkenkamp 9  
D – 25474 Hasloh

e-Mail [service@ineltech.de](mailto:service@ineltech.de)  
[www.ineltech.com](http://www.ineltech.com)