

## Tipps für den Kamerakauf

Der Kauf einer Astro-CCD-Kamera will wohlüberlegt sein, denn immerhin geht es um eine Investition in nennenswerter Höhe. Die Matrix der Faktoren, die bei der Wahl für ein bestimmtes Modell eine Rolle spielt, ist vielschichtig. Eine optimale Kamera, die allen Anforderungen gerecht wird, gibt es nicht, selbst wenn das Budget keine Rolle spielen sollte. Vergleichen Sie es mit dem Kauf eines Kraftfahrzeugs: Einen geländegängigen Sportwagen mit großem Ladevolumen, Allradantrieb und günstigem Verbrauch werden Sie auf dem Markt nicht finden können.

Das bedeutet, dass sich jede Astro-CCD-Kamera nur für bestimmte Einsatzzwecke perfekt eignet, während sie für Aufgaben nur mit Einschränkungen verwendet werden kann. Um eine fundierte Entscheidung treffen zu können, ist es zunächst einmal wichtig, dass Sie die Parameter kennen lernen, die eine Astro-CCD-Kamera kennzeichnen und in denen sich die angebotenen Modelle voneinander unterscheiden. Danach ist es Ihre Aufgabe zu überlegen, für welche Zwecke Sie die Kamera vorwiegend einsetzen möchten. So schwierig diese Frage am Anfang klingt: Versuchen Sie, eine Antwort darauf zu finden.

Viele der folgenden Parameter können Sie der technischen Beschreibung der Kamera-Modelle entnehmen:

Merkmal	Erläuterung
Anschaffungspreis	Natürlich ist das Budget, das Sie zur Verfügung haben, ein wesentliches Kriterium. Tröstlich: Nicht immer ist die teuerste Kamera die beste Wahl. Wenn Sie zum Beispiel auf der Suche nach einer Supernova sind oder die Position von Kleinplaneten vermessen möchten, können Sie das ohne Einschränkung auch mit einer Kamera machen, die einen relativ kleinen Chip enthält und daher vergleichsweise preiswert ist. Während ein Einstieg mit 1000 Euro möglich ist, gibt es nach oben hin kaum Grenzen. Wenn, dann jenseits der 10.000-Euro-Marke.
Größe des Bildchips	Wird in Millimetern angegeben. Die Größe des Bildchips korreliert in der Regel mit dem Kaufpreis: Große Bildchips sind entsprechend teuer. Bei gleicher Brennweite bedeutet ein großer Bildchip ein großes Gesichtsfeld. Ein großer Bildchip erfordert aber auch eine Optik, die die große Chipfläche einwandfrei ausleuchtet. Die Spanne reicht derzeit von 4,9 x 3,6 mm bis 36 x 24,7 mm. Die Berechnung des Gesichtsfeldes ist auf Seite 11 f. beschrieben.
Lichtempfindlichkeit	Eine wichtige Kenngröße für jeden CCD-Chip ist seine Lichtempfindlichkeit. Sie wird auch als Quanten-Effizienz (abgekürzt „QE“) bezeichnet und gibt an, wie viel Prozent des einfallenden Lichtes tatsächlich vom Chip registriert wird. Weil die QE nicht für jede Wellenlänge des Lichtes den gleichen Wert besitzt, ist die Darstellung einer Kurve sehr aussagekräftig, bei der auf der X-Achse die Wellenlänge, auf der Y-Achse die QE aufgetragen ist (z.B.: <a href="http://www.sbig.com/sbwgifs/qe3200me.gif">http://www.sbig.com/sbwgifs/qe3200me.gif</a> ). Beim Vergleich solcher Kurven werden Sie feststellen, dass für manche Wellenlängen die Lichtempfindlichkeit sehr gering sein kann (QE < 10%), während für andere eine QE von mehr als 90% erreicht wird. Manche Chips haben sogar im Maximum nur eine QE von 50%. Achten Sie auf den Kurvenverlauf: eine Kurve mit breitem „Gipfel“ auf hohem Niveau bedeutet eine gute QE über einen weiten Wellenlängen-Bereich (gute Gesamtempfindlichkeit). Eine Kurve auf niedrigem Niveau mit einem spitzen Maximum ergibt keine sonderlich gute Gesamtempfindlichkeit. Legen Sie besonders Wert auf eine gute QE in den Wellenlängen, in denen Sie bevorzugt beobachten möchten. Wenn Ihr Interessensschwerpunkt das Aufnehmen von Wasserstoffnebeln ist, sollten Sie auf eine gute QE im Bereich der H-Alpha-Linie (656 Nanometer) Wert legen. Die QE der verschiedenen Chips schwankt hier zwischen 25% und 85%. Eine doppelt so hohe QE erlaubt die Halbierung der notwendigen Belichtungszeiten.
Anzahl der Pixel	Wird meist in „Megapixel“ (= 1 Million Pixel) angegeben. Je mehr Pixel ein Bildchip hat, desto größer können Sie das Bild später präsentieren (z.B. als Ausdruck), ohne dass die Pixelstruktur sichtbar wird. Voraussetzung dafür ist, dass passend zur Größe der einzelnen Pixel die richtige Brennweite gewählt wurde (s. S. 12 f.). Ein hochwertiger Druck etwa erfolgt mit 300 dpi (Pixel pro Zoll; 1 Zoll = 2,54 cm). Um eine Seite im Format 17 x 21,5 Zentimeter (nicht Doppelseite) des vorliegenden Buches in bester Qualität zu bedrucken, benötigen Sie bereits rund 2000 x 2500 Pixel (= 5 Megapixel). 17 cm ≈ 6,7 Zoll mal 300 Pixel ≈ 2000. Bedenken Sie aber auch, dass mit steigender Pixelzahl auch die Größe der Bilddateien und damit auch die Anforderungen an die Leistungsfähigkeit des Computers, auf dem Bildverarbeitung stattfindet, anwächst. Einstiegsmodelle haben 0,15, Spitzenmodelle mehr als 10 Megapixel.

Dieses Dokument ist eine Ergänzung zum Buch

**Astrofotografie digital** • Schritt für Schritt zu fantastischen Himmelsfotos • ISBN 3-440-10426-5

Stefan Seip • [www.astromeeing.de](http://www.astromeeing.de)

© 2006, Franckh-Kosmos Verlags-GmbH & Co. KG, Stuttgart • Alle Rechte vorbehalten

Größe der Pixel	Wird in Mikrometer (Symbol „ $\mu$ “, entspricht einem Millionstel Meter) angegeben. Kleine Pixel erlauben den Einsatz kurzer Brennweiten. Das Auflösungsvermögen ist dann gleich einer Kamera mit größeren Pixeln und längerer Brennweite. Kleine Pixel haben aber auch Nachteile: Ihre Fläche ist relativ klein, was eine geringe Lichtempfindlichkeit bedeutet. Zudem können weniger Elektronen in einem kleinen Pixel gespeichert werden, d.h. die Sättigung (Überbelichtung) tritt bei kleinen Pixeln schneller auf als bei großen (s. Full-Well-Kapazität). Kleine Pixel haben eine Kantenlänge von etwa $6\ \mu$ , große $24\ \mu$ . Nicht immer sind Pixel quadratisch. Rechteckige Pixel erfordern stets eine Korrektur der Proportionen in einem Bildverarbeitungsprogramm, andernfalls entsteht eine verzerrte Darstellung. Formeln zur Berechnung einer „idealen“ Pixelgröße finden Sie auf den Seiten 12 und 13.
Full-Well-Kapazität	Wird in Elektronen (e-) angegeben und ist ein Maß für die „Speicherkapazität“ eines Pixels. Sie gibt an, wie viele (i.d.R. durch den Einfall von Photonen freigesetzte) Elektronen ein Pixel speichern kann, bevor seine Sättigung erreicht ist. Je mehr Elektronen ein Pixel speichern kann, desto besser. Bei einem Objekt mit hohem Kontrastumfang (z.B. lichtschwache Galaxie mit hellem Kern) entscheidet die Full-Well-Kapazität, ab welcher Belichtungszeit die helleren Motivbereiche in die Sättigung laufen und überbelichtet werden (siehe auch: Dynamik). Kleinere Pixel haben meist eine geringere Full-Well-Kapazität als größere. Bescheiden sind Werte unterhalb von 50.000 e-, exzellent solche von 100.000 e- oder mehr.
Dunkelrauschen	Wird in Elektronen (e-) angegeben und bezeichnet die Menge an Elektronen, die auch ohne Lichteinfall in jedem Pixel pro Zeiteinheit und Temperatur freigesetzt wird. Typisch ist z.B. die Angabe e- pro Sekunde bei $0^\circ\text{C}$ . Kleine Werte, also geringes Dunkelrauschen, sind zu bevorzugen. Die Kühlung des Chips verringert das Dunkelrauschen (s.S. 101). Gute Werte liegen weit unterhalb von 1 e-, hohe Werte bei etwa 25 e- pro Sekunde bei $0^\circ\text{C}$ .
Ausleserauschen	Die Anzahl der Elektronen, die in einem Pixel nach der Belichtung gespeichert ist, kann nicht hundertprozentig genau ermittelt werden. Systembedingte Einschränkungen können durch eine mittlere quadratische Abweichung vom realen Wert angegeben werden (Einheit: e- rms). Ein geringes Ausleserauschen ist zu bevorzugen. Das Ausleserauschen und die Full-Well-Kapazität (s. dort) bestimmen die Dynamik der Kamera (s. dort). Sehr gute Werte sind 7 e- rms und kleiner, bescheidene Werte liegen im Bereich von 20 e- rms und darüber.
Dynamik	Ein Wert ohne Einheit, der angibt, welchen Helligkeitsgradient die Kamera maximal abbilden kann, ohne die hellsten Bildbereiche überzubelichten und dabei die dunkelsten Bildbereiche dennoch zu erfassen. Die Dynamik errechnet sich durch Full-Well-Kapazität geteilt durch das Ausleserauschen. Beispiel (Kodak Chip KAI-11000M): Full-Well-Kapazität = 50.000 e-; Ausleserauschen = 13 e-. Dynamik $\approx 3846$ . Ein 12-Bit-A/D-Wandler würde für diesen Chip ausreichen, denn er kann $2^{12} = 4096$ Helligkeitsstufen differenzieren.
Guiding-Technik	Manche Astro-CCD-Kamera-Modelle bieten eine Vorrichtung, um während der Belichtung die Nachführgenauigkeit der Montierung zu überwachen und – falls nötig – Korrekturbewegungen zu steuern. Diese Kontrolle und Korrektur wird als Guiding bezeichnet (s. S. 118f.). Für Langzeitbelichtungen ist das Guiding obligatorisch. Exklusiv (durch Patente geschützt) bietet die Firma SBIG Kameras mit zwei CCD-Chips an. Neben den Aufnahmechip sitzt ein kleiner Guide-Chip, der die Position eines Guidesterns überwacht. Vorteil dieser Technik ist, dass Sie nur eine Kamera für Aufnahme und Guiding benötigen. Nachteilig wirkt sich aus, dass eingeschwenkte Filter auch die Helligkeit des Guidesterns reduzieren. Außerdem können Sie mit dieser Technik nicht auf Objekte mit einer Eigenbewegung relativ zu den Sternen nachführen, die Sie gleichzeitig fotografieren möchten (z.B. Kometen oder Kleinplaneten). Der Hersteller Starlight-Xpress bietet Modelle an, deren Aufnahmechip während der Belichtung teilweise ausgelesen werden kann, um die Position von Sternen oder anderen Objekten zum Zwecke des Guidings auszuwerten. Das kostet zwar die Hälfte der Lichtempfindlichkeit der Kamera, ermöglicht aber das Fotografieren und das Guiding auf ein- und dasselbe Objekt. Die Alternative ist ein zweites Fernrohr, das parallel zur Aufnahmeoptik montiert ist und nur dem Guiding dient. Entweder wird eine separate Kamera an dieses Fernrohr angeschlossen (Guiding-Kamera), oder ein von der Hauptkamera getrennter „Guiding-Kopf“, der sowohl von SBIG als auch von Starlight-Xpress zu manchen Kamera-Modellen angeboten wird. Vorteil des separaten Guiding-Kopfes: Lichtabsorbierende Filter im Strahlengang der Aufnahmekamera beeinflussen die Helligkeit des Guide-Sterns nicht. Informieren Sie sich vor dem Kauf, welche Guiding-Technik die einzelnen Kameras anbieten und welche Methoden u. U. als Zubehör verfügbar sind.

Kühlsystem	Zum Zwecke der Rauschreduzierung wird der Aufnahmechip von Astro-CCD-Kameras gekühlt. Je stärker die Kühlleistung ist, desto weniger Bildrauschen tritt auf. Ideal ist eine geregelte Kühlleistung, bei der die Kühlung auf eine bestimmte Temperatur eingestellt werden kann. Dann nämlich können Sie im Bedarfsfall die Dunkelbilder zu einem anderen Zeitpunkt aufnehmen als die eigentliche Himmelsaufnahme. Dunkelbilder sollten nämlich mit der gleichen Chiptemperatur entstehen, die auch für die Himmelsaufnahmen verwendet wird. Sogar regelrechte Bibliotheken mit Dunkelbildern, die immer wieder verwendet werden können, sind damit realisierbar. Bei nicht geregelter Kühlung wird der Chip immer auf die minimal mögliche Temperatur gekühlt, die abhängig von der Außentemperatur jedoch schwankt. Dunkelbilder sollten dann immer in zeitlicher Nähe zu den Himmelsaufnahmen gewonnen werden. Eine unregelmäßige Kühlung ist insbesondere dann kein gravierender Nachteil, wenn der verwendete Aufnahmechip ein geringes Dunkelrauschen (s. dort) hat und unter Umständen Dunkelbilder komplett überflüssig werden lässt.
Farbfilterrad	Für die Erstellung von Farbaufnahmen mit einer Astro-CCD-Kamera gibt es zwei Wege. Entweder, Sie entscheiden sich für ein Modell mit Farbchip (s. dort), oder Sie machen mit einer Schwarzweißkamera nacheinander Aufnahmen durch einen Rot-, Grün- und Blaufilter und setzen diese Bilder später im Computer zu einem Farbbild zusammen. Manche Kameras haben ein in das Kameragehäuse integriertes Farbfilterrad, bei dem der Filterwechsel von der Software gesteuert werden kann – zweifellos die eleganteste Lösung. Wenn Sie vor dem Kauf einer Astro-CCD-Kamera stehen sollten Sie prüfen, ob ein Farbfilterrad mit motorischem Filterwechsel zumindest als Zubehör angeboten wird und was eine solche Aufrüstung kostet. Ein separates Filterrad kostet „Lichtweg“, was insbesondere bei Newton-Teleskopen und bei der Verwendung von Fotoobjektiven dazu führen kann, dass der Fokus auf „Unendlich“ nicht mehr erreichbar ist. Bei den Filtern ist es sehr hilfreich, wenn diese „parfokal“ sind, wenn also nach einem Filterwechsel kein Nachfokussieren notwendig ist.
Auslese- und Übertragungsgeschwindigkeit	Theoretisch kann ein Bildchip nach der Belichtung in sehr kurzer Zeit ausgelesen werden. Das verursacht jedoch ein starkes Ausleserauschen (s. dort). Zu lange Auslesezeiten sind jedoch auch nicht gewünscht, weil viel Beobachtungszeit verloren geht. Daher ist bei den Astro-CCD-Kameras meist ein Kompromiss bezüglich Ausleserauschen und -geschwindigkeit realisiert. Die ausgelesenen Daten müssen zudem noch auf den Computer übertragen werden. Eine USB-Schnittstelle bietet einen deutlich schnelleren Datentransfer als die parallele (Drucker-) Schnittstelle. Die noch langsamere serielle Schnittstelle (RS-232) ist heute praktisch nicht mehr in Gebrauch. Je nach Anzahl der Pixel (s. dort) kann das Auslesen und Übertragen eines einzigen Bildes etliche Sekunden dauern. Bei Langzeitbelichtungen spielt das keine große Rolle, sehr wohl aber bei kurzlebigen Ereignissen. Wenn die Auslese- und Übertragungszeit z.B. zwanzig Sekunden in Anspruch nimmt, können Sie während einer totalen Sonnenfinsternis mit einer Totalitätsdauer von zwei Minuten nur sechs Aufnahmen machen.
Blooming-Verhalten	Gelangt ein Pixel durch Überbelichtung an die Grenze seiner Speicherkapazität für Elektronen (s. Full-Well-Kapazität), kann es passieren, dass die überschüssigen Elektronen in benachbarte Pixel „überlaufen“ und dort unschöne „Strahlen“ erzeugen (Beispiel: <a href="http://www.sbig.de/universitaet/bilder/blooming.jpg">http://www.sbig.de/universitaet/bilder/blooming.jpg</a> ). Bildinformationen, über die diese Strahlen laufen, sind unwiederbringlich verloren. Insbesondere helle Sterne im Bild von diesem „Ausblühen“ – auch Blooming genannt – betroffen. Besonders störend ist das Blooming bei lichtschwachen Objekten, bei denen ein vergleichsweise heller Stern im Bildfeld steht (z.B. Plejaden-Nebel, Orion-Nebel, Pferdekopf-Nebel). Viele Chips in CCD-Kameras enthalten so genannte „Anti-Blooming-Gitter“: Leiterbahnen auf dem Chip, die überschüssige Ladungen aus überbelichteten Pixeln abführen und das Blooming verhindern bzw. verzögern oder abmildern. Die Leiterbahnen befinden sich im Lichtweg und kosten etwas Lichtempfindlichkeit. Für Helligkeitsmessungen (Photometrie) sind Chips ohne ein Anti-Blooming-Gitter vorzuziehen, wenn es um maximale Messgenauigkeit geht. Sind „schöne Bilder“ das Ziel, ist eine Kamera mit Anti-Blooming-Chip vorzuziehen. Wenige Kamera-Modelle sind wahlweise mit oder ohne Anti-Blooming-Gitter erhältlich.
Technische Unterstützung	Eine Astro-CCD-Kamera ist kein Massenprodukt. Bei speziellen Fragen zur Bedienung oder im Falle eines Defekts sind Sie auf den Service des Händlers und/oder des Herstellers angewiesen. Die Kompetenz des Händlers vor und nach dem Kauf sowie Abwicklung und Dauer von Reparatur- oder Wartungsarbeiten an der Kamera können eine wichtige Rolle spielen.

Farbchip	<p>Eine schwerwiegende Entscheidung ist die zwischen einer Schwarzweiß- und einer Farb-CCD-Kamera. Enthält die Kamera einen Farbchip, kann mit einer einzigen Aufnahme ein Farbbild entstehen, weil die einzelnen Pixel des Chips mit kleinen Farbfilterchen in drei verschiedenen Farben bedampft sind. Üblicherweise sind zwei von vier Pixeln mit einem Grünfilter versehen, je ein Pixel mit einem Rot- bzw. Blaufilter. Dieses Muster wird auch als „Bayer-Pattern“ bezeichnet. Der unkomplizierten Gewinnung von Farbaufnahmen steht eine durch das Bayer-Pattern verursachte Auflösungseinbuße gegenüber (s. S. 71 f.). Objekte mit schneller Eigenbewegung (z.B. Kometen) lassen sich mit einem Farbchip leichter abbilden, denn die Zeitverzögerung bei den Aufnahmen durch einen Rot-, Grün- und Blaufilter mit einer Schwarzweißkamera kann zu einem räumlichen Versatz der Farbauszüge führen. Das jedoch ist eher ein Sonderfall. Wenn Sie von Ihrer Astro-CCD-Kamera maximale Auflösung und maximale Lichtempfindlichkeit erwarten, kommt nur eine Schwarzweißkamera in Frage, bei der Sie den höheren Aufwand beim Einsatz von Farbfiltern und der späteren Bildverarbeitung in Kauf nehmen müssen. Als Ergänzung zu einer eventuell bereits vorhandenen digitalen Spiegelreflexkamera (mit Farbchip) rate ich auf jeden Fall zu einer Astro-CCD-Kamera mit Schwarzweißchip.</p>
Chipqualität	<p>Meist als „Class“ oder „Grade“ bezeichnet. Beim Herstellungsprozess von Bildchips treten fast immer Defekte auf, die mehr oder weniger große Bereiche des Chips betreffen. „Class 0“ wäre ein fehlerfreier Chip, „Class 1“ einer, auf dem bis zu fünf fehlerhafte Pixel vorhanden sein dürfen. „Class 2“-Chips zeigen oft fehlerhafte „Cluster“ (Bereiche mit mehreren, angrenzenden Pixeln) und bis zu zehn fehlerhafte, einzelne Pixel. Doch selbst ein „Class 2“-Chip sollte keine „Spaltendefekte“ aufweisen, bei denen eine ganze Pixelspalte oder ein Teil davon unbrauchbar ist (die Definition der „Classes“ ist jedoch nicht einheitlich, hier bezogen auf den Chip Kodak KAF-401LE). Bei manchen Kameramodellen können Sie die Chipqualität wählen, müssen jedoch bei einem besseren Chip natürlich einen höheren Preis einkalkulieren. Kleinere Chipdefekte sind in der Praxis jedoch kein Problem und können durch Kalibrierung und andere Bildverarbeitungsmethoden so behandelt werden, dass sie auf der endgültigen Aufnahme nicht mehr sichtbar sind.</p>
Verfügbares Zubehör	<p>Nehmen Sie auch das Zubehörprogramm unter die Lupe. Für manche Modelle sind interessante Optionen wie z.B. Adapter für Fotoobjektive, ein Spektrograph, ein adaptives optisches System (zur Kompensierung von Seeing-bedingten Ortsveränderungen und/oder mechanischen Unzulänglichkeiten der Montierung) und spezielle Farbfilterräder (s. dort) verfügbar. Nicht selten sind diese Zubehörteile nur mit ganz bestimmten Kameras nutzbar. Demzufolge kann ein für Sie wichtiges Zubehör die Wahl des Kamera-Modells beeinflussen oder gar entscheiden.</p>