

Zeitschrift:	Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft
Herausgeber:	Schweizerische Astronomische Gesellschaft
Band:	53 (1995)
Heft:	269
Artikel:	Astrowerkstatt : Film versus CCD in der Amateurastronomie : Versuch eines Vergleichs
Autor:	Jost-Hediger, H.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-898735

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: 10.01.2026

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



Astrowerkstatt

Film versus CCD in der Amateurastronomie

(*Versuch eines Vergleichs*)

H. JOST-HEDIGER

Seit mehreren Jahrzehnten wird auch in der Amateurastronomie der Film zur Dokumentation von Beobachtungen oder einfach aus Freude am schönen Bild verwendet. Waren anfänglich nur wenige, teilweise auch schlecht geeignete Filme verfügbar, so verfügen wir heute sowohl in der Schwarz/Weiss- Fotografie als auch in der Farbfotografie über eine Vielzahl von verschiedenen Filmen und die Astrofotografie lässt auch für uns Amateure fast keine Grenzen offen. Demgegenüber steht die noch junge Technik der CCD-Fotografie, die seit einigen Jahren auch dem Amateur zu mehr oder weniger erschwinglichen Preisen zur Verfügung steht und welche manchmal fast den Eindruck erwecken könnte, der gute «alte» Film habe ausgedient.

Wo liegen nun die Unterschiede, Vorteile, Nachteile der zwei verschiedenen Aufnahmetechniken. Wo ergänzen sie sich? Wo gibt es Überschneidungen? Für welche Möglichkeit soll sich der Amateur überhaupt entscheiden?

Diesen Fragen wollen wir in diesem Artikel anhand von einigen ausgewählten Kenndaten nachgehen und dabei versuchen, die grössten Unterschiede in der Anwendung der zwei Techniken zu erkennen.

Weshalb überhaupt Astrofotografie

Was treibt uns überhaupt dazu, Himmelsobjekte zu fotografieren. Ist es die Freude am schönen Bild, die Sammelleidenschaft oder liegt der Grund darin, dass wir die Objekte unserer Begierde (für eine beschränkte Zeit) unsterblich machen wollen? Oder liegt der Grund in der Faszination der vielen Techniken, deren man sich bedienen kann?

Nein! der Grund liegt vor allem darin, dass die meisten Objekte, die uns interessieren, visuell so schwach sind, dass sie von blossem Auge auch mit den grössten Instrumenten schlichtweg nicht zu beobachten sind. Der wahre Beweggrund der Astrofotografie ist also darin zu suchen, dass wir *Unsichtbares sichtbar machen* wollen. Mit der Fotografie gewinnt man bei gleicher Optik ca. 5 Grössenklassen (Faktor 100). Währenddem das Auge nur das Licht eines kurzen Augenblicks wahrnimmt, wird bei der Fotografie das Licht während der unter Umständen Stunden dauernden Belichtung addiert und lässt uns dadurch noch Dinge erkennen, welche weit jenseits unserer visuellen Wahrnehmung liegen. Nur dadurch ist es uns überhaupt möglich, einen Blick in die Vergangenheit und damit auch Zukunft des Universums zu werfen und zu erkennen, dass wir nur während einer kurzen Zeit, einem Augenblick in der Unendlichkeit, Wanderer in einem für uns unendlichen Raum und einer unendlichen Zeit sind.

Und dann gibt es natürlich auch einen praktischen Grund: Eine Foto oder gespeicherte CCD-Aufnahme ist ein Dokument, welches wir jederzeit wieder zur Hand nehmen und auswerten können. Wer hätte vor Jahrzehnten daran gedacht,

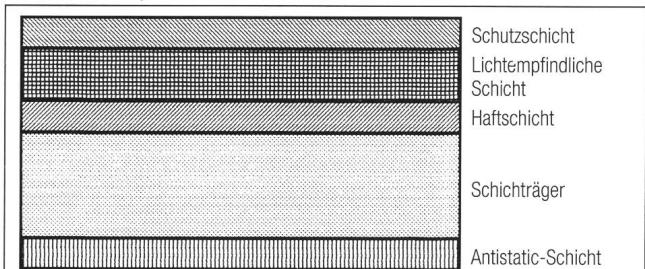
dass die vielen tausend Platten von Himmelsüberwachungsprogrammen von z.B. Sonnenberg oder Mount Palomar später einmal digitalisiert würden und dadurch damals ungeahnten, neuen und äusserst effizienten Auswerteverfahren zugänglich gemacht werden könnten?

Der Film

Die Geschichte der Fotografie und mit ihr die des Films beginnt nicht mit einer grossen Erfindung an einem bestimmten Tag. Sie hat vielmehr mit ihrer langen Geschichte dort angefangen, wo Menschen damit begannen, Gesehenes zeichnerisch und unter der Verwendung von Hilfsmitteln wie Licht, Optik und Chemie festzuhalten. Die Suche nach lichtempfindlichen Substanzen hat dabei während Jahrhunderten Alchimisten und Naturwissenschaftler beschäftigt. Johann Heinrich Schulze entdeckte 1727, dass sich Kreidepulver und Silbernitrat unter Lichteinwirkung schwärzen. Carl Wilhelm Scheele wies 1777 die höhere Aktinik blauer Strahlen mit Chlorsilber nach, und Tom Wedgwood und Sir Humphrey Davy experimentierten im Jahr 1802 ausgiebig mit Silbernitrat. Beinahe hätten sie den Film erfunden, doch konnten sie ihre ersten Photogramme nicht fixieren. Nach 1835 lag dann die Fotografie sozusagen in der Luft. Am 19. August 1839 kam dann das Verfahren von Louis Jacques Mandé Daguerre mit Hilfe der französischen Regierung zuerst an die Öffentlichkeit. Dieses Datum gilt als die Geburtsstunde des Films. Daguerre benutzte Silberplatten, die er mit Joddämpfen sensibilisierte und nach der Belichtung mit Quecksilberdämpfen entwickelte. 1871 wurde dann der eigentliche Durchbruch geschafft. Richard Leach Maddox erfand die Bromsilbergelatine-Platte und legte damit den Grundstein für sämtliche auch heute noch gebräuchlichen Verfahren.

Der fotografische Film ist ein äusserst kompliziertes Gebilde, das in heiklen Prozessen mit sehr engen Toleranzen entsteht (Bild 1). Zunächst wird beim Schwarzweiss Film ein nicht lichtempfindlicher, durchsichtiger Träger aus z.B. Polyester in einer Dicke von etwa 0,1mm bei Kleinbild- und Rollfilmen und von 0,25mm bei Planfilmen hergestellt. Dann

Bild 1. Der Aufbau des Films





wird die Emulsion aus ihren Komponenten Silbernitrat und Alkalihalogenide in Gelatine gemischt, gereift und mit verschiedenen Zusätzen zur Empfindlichkeitssteigerung, Stabilisierung und Sensibilisierung versehen. Danach folgt der Giessprozess, bei welchem auf dem Schichtträger zuerst eine Haftschiicht und dann eine oder mehrere Emulsionsschichten und zum Schluss eine Schutzschicht aufgebracht werden. Zur Verhinderung von Reflexionen werden Planfilme hinten mit einer sogenannten Lichthofschutzschicht versehen, während bei Kleinbildfilmen Schichtträger mit einer lichthofvermindernden Graufärbung gewählt werden.

Bei der Belichtung werden nun einzelne in der Emulsion (Bild 2) verteilte Bromsilbermoleküle durch das einfallende Licht teilweise oder ganz zu metallischem Silber reduziert. Bei der anschliessenden Entwicklung werden die «angefressenen» Körner zu Silberkristallen reduziert. Durch die Fixierung und Wässerung werden danach unbelichtete oder unentwickelte Bromsilbermoleküle aufgelöst und mit Wasser weggespült. Da metallisches Silber lichtundurchlässig ist, erscheint es in der Durchsicht dunkel. Überall dort, wo Licht auftraf, resultieren deshalb dunkle Bildstellen d.h. ein negatives Bild: Sterne sind schwarz, der Himmel ist weiss.

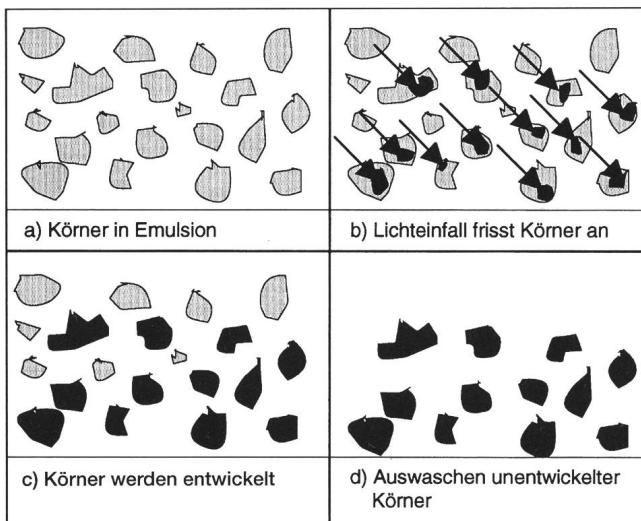


Bild 2. Die Filmentwicklung

Der *Farbfilm* ist im Prinzip identisch wie der Schwarzweissfilm aufgebaut. Anstelle nur einer Emulsion werden aber drei rot-, grün-, blau-empfindliche Emulsionen übereinander gegossen. Die drei verschiedenen Teilbilder ergeben dann zusammen das Farbbild. Da aber die Farbe der drei Emulsionen auf Tageslicht abgestimmt ist, sind Astrobilder nur in den seltensten Fällen absolut farbgetreu.

Die CCD-Kamera

Im Gegensatz zum Film stehen den Astroamateuren die CCD-Kameras erst seit einigen wenigen Jahren zur Verfügung. Während dieser paar Jahre hat die Entwicklung dieser Technologie riesige Fortschritte gemacht und ein Ende ist noch nicht abzusehen.

Wie funktionieren nun eigentlich CCD-Chips? Sie bestehen aus einer Anordnung von lichtempfindlichen Dioden, welche in Zeilen und Kolonnen angeordnet sind. Wenn Licht auf

diese Photodioden fällt, so werden aus den Atomen der Photodioden Elektronen herausgeschlagen, welche eine elektrische Spannung aufbauen. Diese elektrische Spannung kann dann aus jedem Pixel seriell ausgelesen und gemessen werden. Pro Pixel können zum Beispiel bei der LYNXX2 150'000 Elektronen sehr genau gezählt werden.

Wie ist nun die Kamera aufgebaut (Bild 3)? Sie besteht aus einem CCD-Chip, welcher in einem luftdichten und evakuier-ten Gehäuse eingebaut ist. Da die CCD-Chips sehr temperaturempfindlich sind (8 Grad Temperaturerhöhung verdoppelt das thermische Rauschen), wird der Chip in der Regel mit einer thermoelektrischen Kühlung (Peltier Element) je nach Chip zwischen 30 Grad bis 60 Grad unter die Umgebungstemperatur abgekühlt. Dann ist selbstverständlich im Kamerakopf eine Steuerelektronik eingebaut, welche die Aufnahmedaten entweder direkt über eine in aller Regel serielle Schnittstelle in den PC überträgt, oder aber dann mit einer zusätzlichen Elektronikkarte im PC zusammenarbeitet. Schlussendlich ist im PC noch die jeweilige Steuersoftware für die entsprechende Kamera geladen, welche erst die Bedienung der Kamera ermöglicht.

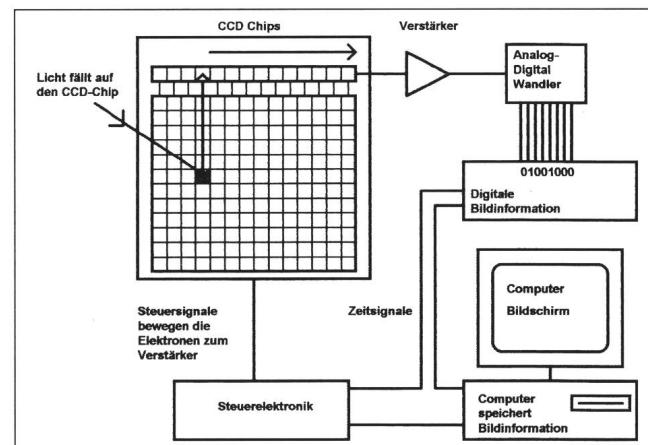


Bild 3. Der Aufbau der CCD-Kamera

Die Limiten der CCD Kamera werden durch die verschiedenen Arten des Rauschens bestimmt. Es sind dies: das thermische Rauschen, das Ausleserauschen und das «Glühen» des Ausleseverstärkers. Die Grösse dieser «Fehler» kann aber (in der Regel pro Aufnahme) mit geeigneten Korrekturaufnahmen ermittelt und korrigiert werden. Eine weitere Limite stellt die variable Empfindlichkeit der einzelnen Pixel dar, haben doch kein zwei Pixel die exakt identische Empfindlichkeit. Die Streuung beträgt bei einem guten Chip ca. 1%. Auch dies kann mit einer Korrekturaufnahme, der sogenannten Flat-Field Aufnahme korrigiert werden. Schlussendlich wird der mögliche Kontrast, das heisst die Anzahl der erzielbaren Graustufen, durch die sogenannte Quantisierung der Kamera (256, 4096 oder 16 000 Schritte) bestimmt.

Vom Negativ zum Bild

In der Regel werden wir als Amateurastronomen vom Filmmaterial ein Bild herstellen wollen. Da wir bereits durch die Wahl des Films (kontrastreicher oder weicher Film) und des Entwicklers einen wesentlichen Teil der Eigenschaften des



zukünftigen Bildes bestimmt haben, stehen uns bei der weiteren Verarbeitung nicht mehr beliebig viele Möglichkeiten offen. Im allgemeinen können wir den bereits durch das Negativ vorbestimmten Kontrast gleich lassen, verstärken oder abschwächen. Wir erreichen das durch die Verarbeitung der Bilder auf weichem, mittlerem oder hartem Papier. Müssen aber auf einem Bild sehr lichtschwache Teile verstärkt und sehr kontrastreiche Teile abgeschwächt werden, so bleibt uns nur die aufwendige und schwierige Methode des Abwedelns oder des Maskierens offen. Mit diesen Methoden gelingt es gut, den unterschiedlichen Anforderungen der verschiedenen Motive (z.B. Sonne Weisslicht mit viel Kontrast, Sonne Protuberanzen mit wenig Kontrast, deep sky Objekte mit wenig Kontrast) zu genügen.

Die Arbeit in der Dunkelkammer ist, auch nach viel Übung, durch den Kampf gegen den allgegenwärtigen Staub, welcher auch die schönsten Bilder ruinieren kann, bestimmt. Das Motto von G.Klaus «Wie Don Quichote gegen die Windmühlen, so kämpfen wir Fotolaboranten heroisch gegen den Staub», stimmt wahrhaftig. Das immer wiederkehrende Ritual Belichten, Entwickeln, Wässern, Fixieren, Wässern, Trocknen kann aber durch Übung recht gut erlernt und perfektioniert werden.

Die Bildverarbeitung bei der CCD

Die «Entwicklung» der CCD-Aufnahmen erfolgt im Personal-Computer (PC). Die Voraussetzung für eine optimale Verarbeitung wird bereits bei der Aufnahme geschaffen. Sie besteht darin, dass sehr saubere und klare Aufnahmeprotokolle mit eindeutigen Bildbezeichnungen geführt werden. Alle Rohbilder und Korrekturbilder müssen in unverarbeiteter Form gespeichert werden. Niemals dürfen Bilder bereits bei der Aufnahme skaliert werden! Zu gross ist die Gefahr, dass falsche Korrekturbilder verwendet werden und die Rohdaten nicht mehr hergestellt werden können.

Zuerst müssen die Rohbilder, welche noch mit allen kamerabedingten Fehlern behaftet sind, kalibriert werden. Es wird nacheinander das BIAS-Bild zur Korrektur des Nullpunktes und dann das thermische Bild zur Korrektur des thermischen Rauschens vom Rohbild subtrahiert. Danach wird das erhaltene Bild durch das Flat-Field-Bild dividiert, um die variable Empfindlichkeit der einzelnen Pixel zu korrigieren. Jetzt steht uns ein kalibriertes Rohbild zur Verfügung, welches nun weiterverarbeitet werden kann.

Während uns beim Film als mögliche Bildbearbeitung nur eine Veränderung des Kontrastes zur Verfügung steht, kommen nun hier die grossen Vorteile der Bildverarbeitung per PC voll zur Geltung. Der Kontrastumfang kann auf sehr viele verschiedene Arten (linear, logarithmisch, exponentiell usw.) verändert werden. Ebenso ist es möglich, kontrast-schwache oder kontrastreiche Bildelemente zu maskieren (auszuschneiden), separat zu verarbeiten und dann wieder zusammenzusetzen. Dem Erfindungsreichen sind fast keine Grenzen gesetzt. In den Aufnahmen verborgene Details können mit verschiedenen unscharfen Masken (lineare, binomiale, gaussförmige usw.) zum Vorschein gebracht werden. Auch Rauschen oder einzelne helle Pixel können mit geeigneten Filtern (Hochpass, Tiefpass, Geräuschfilter) beseitigt werden.

Das bearbeitete Bild ist jetzt im PC gespeichert und kann jederzeit wieder auf dem Bildschirm betrachtet werden. Will man auch von diesen Bildern Fotos, so muss der Bildschirm fotografiert werden. Auch da sind dann die von der Fotografie her bekannten Probleme mit dem Kontrast zu beachten.

Der Vergleich: Die Formate

Einer der auffallendsten Unterschiede zwischen dem Film und der CCD-Kamera besteht im unterschiedlichen Format der zwei verwendeten Medien. Während dem Amateur bei den Filmen Formate bis 100 x 125 mm zugänglich sind, liegen die Formate bei den CCD-Kameras durchwegs im Bereich von einigen Millimetern (Tabelle 1) (Bild 4). Entsprechend klein sind die daraus resultierenden Bildfelder, was den durch grosse Bildfelder verwöhnten Amateur vor völlig neuen Herausforderungen stellt (Tabelle 2). Abhilfe schaffen würden nur neue, grossflächige CCD-Chips, welche dann aber auch wieder neue Probleme stellen können (benötigter Speicherplatz, Verarbeitungszeit).

Tabelle 1: Formate

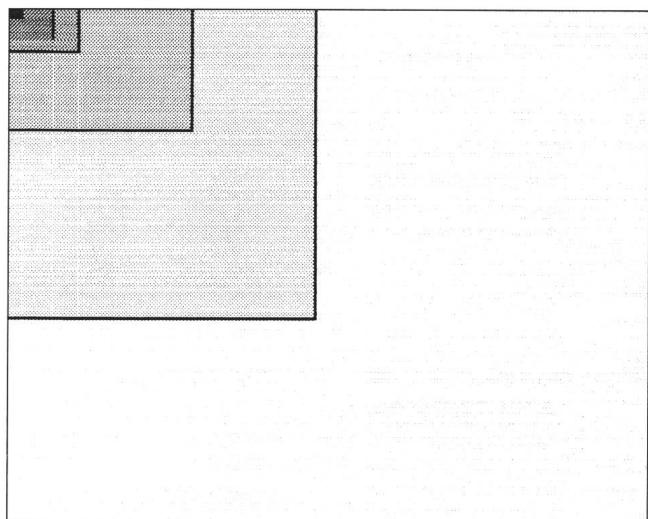
Medium	Format
Film Kleinbild	24 x 36 mm
Film Mittelformat	60 x 60 mm
Planfilm	100 x 125 mm
CCD LYNXX2	2,5 x 2,5 mm
CCD ST6	8,6 x 6,6 mm
CCD Meade Pictor 1616	9,2 x 13,8 mm

Tabelle 2: Bildfeld

Brennweite	CCD LYNXX2	Kleinbild	Planfilm
135 mm	1 Grad	10 Grad	40 Grad
1250 mm	6,6'	64'	4 Grad
5000 mm	1,6'	16'	64'

Auch die bei den kleinen Bildformaten notwendigen Vergrösserungen sind nicht unproblematisch, vergrössern wir den Film zum Papierbild in der Regel 10 bis 15 fach, so ist bei der CCD eine ca. 60 fache Vergrösserung notwendig. Bei der Dia-Projektion ist die Vergrösserung bei Kleinbildfilmen ca. 100-fach, bei der CCD ca. 1000-fach. CCD-Aufnahmen können in der Regel nicht projiziert werden, da bei dieser Vergrösserung ein Pixel 2-3 cm gross wäre!

Bild 4. Der Vergleich der Formate





Der Vergleich: Das Korn

Wie beim Film kann man auch bei der CCD-Kamera von Korn, bei der CCD-Kamera sind es die Pixel, sprechen (Tabelle 3). Während beim Film die Körner regellos und in verschiedenen, um einen Mittelwert streuenden Durchmessern, verteilt sind, sind die Pixel in der CCD-Kamera schön in Reih und Glied mit immer derselben Grösse angeordnet. Um einen einigermassen angemessenen Vergleich zu erhalten, müssen aber die bei den Filmen angegebenen Korngrössen ca. mit 5 multipliziert werden, da die Körner in der Regel eher als Kornhaufen denn als einzelne Körner in Erscheinung treten.

Für beide Techniken gilt bezüglich des Korns dasselbe Gesetz: Je gröber das Korn, desto geringer die Auflösung; je gröber das Korn, desto schneller der Film; halb so grosses Korn = vier mal längere Belichtungszeit; man kauft feineres Korn mit längerer Belichtungszeit. Die Wahl der Korngrösse und somit, ob langsamer oder schneller Film, erfolgt durch die Wahl des Films. Bei den meisten CCD-Kameras ist die Korngrösse und somit die Empfindlichkeit fix vorgegeben und nicht änderbar. Neuere Kameras können nun aber die Korngrösse durch elektronisches Zusammenschalten von mehreren Pixeln zu einem Pixel in bestimmten Grenzen (Faktor 2, 3, 4, 9) ändern. Dadurch können das Korn und die Empfindlichkeit jeweils dem aufzunehmenden Objekt angepasst werden. Wie Tabelle 3 zeigt, sind trotz beträchtlichen Fortschritten bei der Herstellung von CCD-Chips noch wesentlich grössere «Körner» als beim Film vorhanden.

Tabelle 3: Die Korngrössen

Medium	Korngrösse
Film: TP 2415, 4415	ca. 1 μm *
Film Tmax 100 ASA	ca. 2 μm *
Film Tmax 400 ASA	ca. 5 μm *
CCD LYNXX2	13,75 x 16 μm
CCD ST6	23 x 27 μm
CCD Meade Pictor 1616	9 x 9 μm

* Kornhaufen mit ca. 5fachem Korndurchmesser

Der Vergleich: Das Auflösungsvermögen

Eines der wichtigsten Charakteristika eines Films oder einer CCD-Kamera ist das Auflösungsvermögen, die Fähigkeit, eng beieinanderliegende Einzelheiten richtig abzubilden. Um die Fähigkeit des Filmes abzuschätzen, muss man Testbilder mit einer unregelmässigen Abfolge von schwarzen und weissen Strichen fotografieren. Kann man auf einer Fotografie zum Beispiel pro Millimeter 100 einzelne Striche deutlich erkennen, dann sagt man, dass der Film eine Auflösung von 100 Linien pro Millimeter hat. Man kann also Einzelheiten von 10 Mikron erkennen. Filme mit sehr guter Auflösung wie z.B. der TP2415 haben eine Auflösung von bis zu 500 Linien, während schnelle Filme (z.B. 3200 ASA) ca. 30 Linien pro Millimeter auflösen können. Die Auflösung wird stark durch die Korngrösse, den Kontrast und dann natürlich vor allem durch die Luftunruhe beeinflusst.

Bei der CCD-Kamera lässt sich die Auflösung aufgrund der Pixelgrösse berechnen. Gemäss dem Informationstheorem von Shannon muss eine Information mindestens auf 2 Pixel abgebildet werden, um sicher erkannt zu werden. Die Auflösung kann deshalb als Anzahl Pixel pro Millimeter geteilt durch 2 definiert werden. Sie beträgt z.B. bei der LYNXX2 ca.

30 Linien pro Millimeter, entsprechend einem schnellen Film. Gegenüber dem Film hat die CCD-Kamera aber den Vorteil, dass dank den hervorragenden Möglichkeiten der Bildverarbeitung auch noch Linien mit sehr geringen Kontrasten (Helligkeitsunterschiede im Bereich von 1/2 Promillen) sicher hervorgehoben und somit auch erkannt werden können.

Der Vergleich: Die Schwärzungskurve

Die Schwärzungskurve des Films ist eine graphische Darstellung, welche die Zusammenhänge von Belichtung ($\log E * t$ auf der Abszisse) und Dichte (auf der Ordinate) aufzeigt und Filmcharakteristiken und Entwicklungseinflüsse verdeutlicht (Bild 5): A-B = Schleier; Grunddichte ohne Belichtung. B-C = Schwellwert, erste messbare Schwärzung über dem Schleier; B-C = Durchhang, Bereich der Unterbelichtung und Schattenzeichnung; C-D = geradliniger Teil, Bereich des korrekten Belichtungsumfangs; D-E = Schulter, Bereich der Lichterzeichnung und Überbelichtung; E = Scheitel oder maximale Dichte; E-F = Solarisation, Bereich der Schwärzungsabnahme; α = Steigungswinkel (alpha), $\gamma = \text{tg}\alpha = a/b$ (Gamma, Gradation). Als Gamma-Wert eines Films bezeichnet man seine Fähigkeit, Helligkeitsabstufungen des Objektes originalgetreu wiederzugeben. Gamma-Wert >1: kontrastreicher Film; Gamma-Wert = 1: originalgetreue Wiedergabe der Helligkeitsabstufungen; Gamma-Wert <1: weicher Film. In den meisten Fällen wird die Aufnahme in den Bereich des Teiles C-D gelegt. Sind jedoch kontrastschwache Details vor einem gleichmässigen Hintergrund zu fotografieren, muss aus Gründen der optimalen Übertragungsfunktion im Bereich B-C gearbeitet werden.

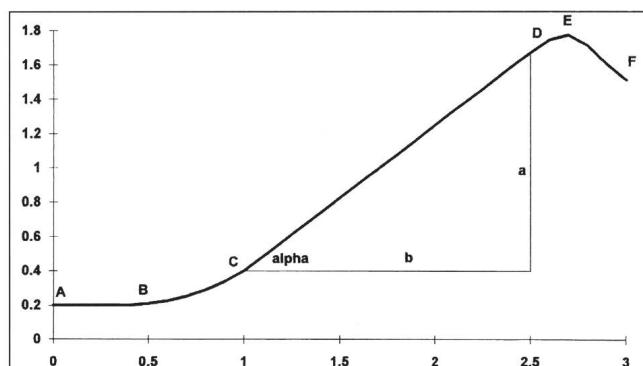
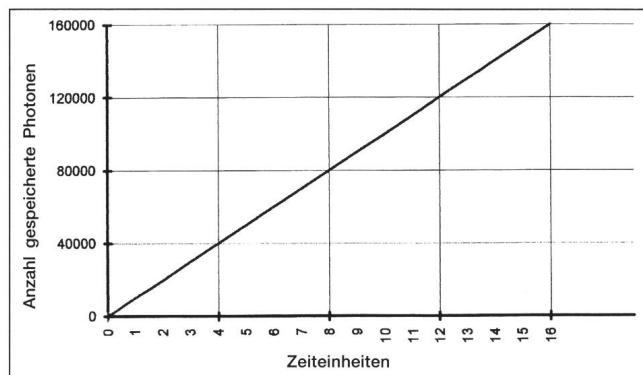


Bild 5. Die Schwärzungskurve des Films

Bild 6. Die «Schwärzungskurve» der CCD





Auch bei der CCD-Kamera kann von einer Schwärzungskurve (Bild 6), in diesem Fall wohl richtiger von einer Übertragungsfunktion, gesprochen werden. Sie ist, vom Nullpunkt ausgehend, absolut gerade, also optimal für die Aufzeichnung auch feinster Helligkeitsabstufungen. Das Einbringen von grösseren oder kleineren Gamma-Werten zur Kontrastverarbeitung erfolgt dann später im PC.

Der Vergleich: Die Empfindlichkeit

Eine immer wieder kontroverse Diskussion ist die Frage nach dem Vergleich der Empfindlichkeiten. Sie kann nicht eindeutig beantwortet werden. Bei der von mir verwendeten Kamera vom Typ LYNXX2 beträgt die Empfindlichkeit der CCD bei identischem Signal/Rauschverhältnis und Kontrast ca. 100 ASA. Wird vom ganzen Empfindlichkeitsbereich der CCD nur ca. 1% benutzt, so kann man natürlich auch behaupten, die CCD habe eine Empfindlichkeit von bis zu 40 000 ASA. Diese Art Aufnahmen zu machen, ist aber weitgehend sinnlos.

Der Vergleich: Der Schwarzschild-Effekt

Als Reziprozitätsfehler oder Langzeitverhalten (Bild 7) eines Films bezeichnet man die Tatsache, dass eine kurze Belichtungszeit und eine hohe Beleuchtungsstärke nicht dieselbe Schwärzung des Films ergeben, wie eine lange Belichtungszeit mit der entsprechenden geringen Beleuchtungsstärke. Nach dem Gesetz von Bunsen und Roscoe müsste dies der Fall sein. Der Astronom Karl Schwarzschild (nach ihm die Bezeichnung «Schwarzschild-Effekt») stellte 1899 fest: «je länger man belichtet, desto unempfindlicher wird die fotografische Schicht». Der Effekt ist beim Film unter anderem abhängig von: Filmpfandlichkeit, Emulsion, Langzeitbereich, Temperatur bei der Belichtung. Filme können zur Verminderung des Schwarzschildeffektes optisch oder chemisch (Forminggas) behandelt werden.

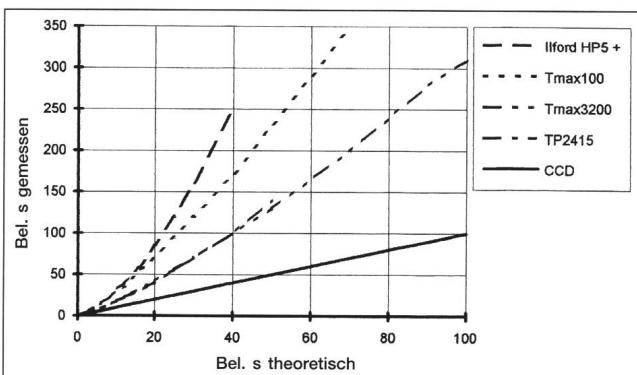


Bild 7. Der Schwarzschild-Effekt

Dieser beim Film zu beachtende Effekt fehlt bei der CCD-Kamera vollständig. Da Photonen in Elektronen umgewandelt werden, spielt es absolut keine Rolle, ob in kurzer Zeit viele Photonen gesammelt werden oder ob während längerer Zeit wenig Photonen gesammelt werden.

Der Vergleich: Die spektrale Empfindlichkeit

Als spektrale Empfindlichkeit bezeichnet man die Fähigkeit eines Films oder eines CCD-Chips, Licht unterschiedlicher Wellenlänge abzuspeichern. Der bei Filmen lichtempfindliche Rohstoff Silberhalogenid ist nur für ultraviolettes und blaues

Licht bis ca. 470 nm empfindlich. Durch das Beimengen bestimmter Farbstoffe, ein Prozess, den man in der Fachsprache optische Sensibilisierung nennt, wird die Emulsion für weitere Spektralbereiche empfindlich. Heute kennen wir im wesentlichen zwei verschiedene Filme: die orthochromatischen Filme, welche von blau (ca. 370 nm) bis gelb (ca. 600 nm) empfindlich sind und die panchromatischen Filme, welche von blau (ca. 370 nm) bis rot (ca. 680nm) empfindlich sind.

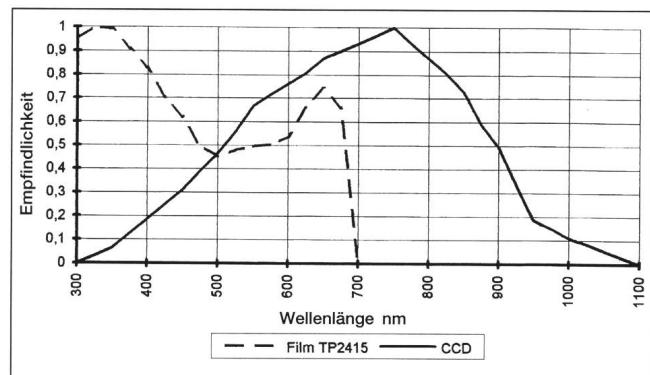


Bild 8. Die spektrale Empfindlichkeit

Ganz im Gegensatz dazu stehen die CCD-Chips. Sie sind im blauen Bereich sehr unempfindlich und erreichen erst im Infraroten bei ca. 800 nm ihre maximale Empfindlichkeit um dann bis ca. 1100 nm empfindlich zu bleiben. Sie weisen somit gegenüber dem Film eine total andere spektrale Empfindlichkeit (Bild 8) auf, was vor allem bei der Verwendung von Refraktoren ohne Farbfilter zu Fokussier-Problemen führen kann (unser Auge ist leider für Infrarot unempfindlich).

Der Vergleich: Die Belichtungszeiten

Soll bei einer CCD-Aufnahme das gleiche Signal/Rauschverhältnis wie beim Film erreicht werden, so können nach meinen bisherigen Erfahrungen die Belichtungszeiten gegenüber dem Film um ca. den Faktor 5 verkleinert werden (Tabelle 4). Eine weitere Verkürzung ist, da bei der CCD-Kamera in der Regel mit Öffnungsverhältnissen im Bereich von 1:50 (Abhängig von Objekt, Brennweite und Pixelgrösse der CCD-Kamera) gearbeitet wird, nicht sinnvoll. Der grosse Vorteil der CCD-Kamera liegt jedoch darin, dass mehrere Aufnahmen mit kurzen Belichtungszeiten (z.B. 1/10 der notwendigen Soll-

Tabelle 4: Beispiele Belichtungszeiten

Objekt	Blende	Film SW 100 ASA	Blende	CCD LYNXX2
Halbmond Terminator	15	1 / 30 s	50	1 / 50 s
Vollmond	15	1 / 125 s	50	—
Jupiter	15	1 s	50	1 / 5 s
Saturn	15	2 s	50	1 / 3 s
Mars	15	4 s	50	1 / 2 s
Orion Nebel	3,5	30 mn	15	1 mn
Galaxien	3,5	30 mn	15	5 mn
Sonne Weissl.	15	1 / 125 s	15	1 / 100
Sonne H-alpha	22	1 / 2 s	22	1 / 2 s



Belichtungszeit, was beim Film hoffnungslos unterbelichtet wäre) zusammenaddiert und so zu einem voll belichteten Bild addiert werden können. Zu beachten ist aber bei diesem Verfahren, dass die Teilbilder die gleiche Qualität bezüglich Rauschen haben müssen, da sonst die Qualität des ausbelichteten Bildes nicht optimal ist und der Verarbeitungsaufwand am PC beträchtlich ansteigen kann.

Der Vergleich: Welche Technik für welches Objekt?

Eine Beurteilung, ob für die Fotografie eines bestimmten Objektes wohl die CCD-Technik oder das Fotografieren mit Film vorzuziehen ist, kann kaum abschliessend beantwortet werden. Sicher kann mit beiden Techniken fast jede dem Amateur zugängliche Arbeit mehr oder weniger gut durchgeführt werden. Trotzdem habe ich versucht, in der Tabelle 5 die

Objekt	Film	CCD
Optisch «schöne» Bilder	++	—
Wissenschaftliche Bilder	+	++
Sonne Total Weisslicht	++	—
Sonne Einzelflecken	++	+
Sonne Protuberanzen	+	+
Sonne Filamente	+	+
Mond Total	++	—
Mond Details	++	+
Mars	—	++
Jupiter	—	++
Saturn	—	++
Deep Sky (Nebel, Galaxien usw.)	++	+
Suche nach Super-Novae	++	+
Photometrie Variable	—	++
Photometrie Kleinplaneten	—	++
Photometrie Kometen	—	++

Tabelle 5: Welche Technik für welches Objekt?

für mich im Moment geltenden Regeln zusammenzufassen. Unbestreitbare Vorteile gegenüber dem Film weist die CCD-Kamera im Bereich der Planetenphotographie und der Photometrie auf. Für grossformatige, optisch schöne Bilder ist für mich aber immer noch die Schmidt-Kamera die einzige wirklich gute Lösung.

Der Vergleich: Die notwendige Optik

Die Anforderungen, die an die Optik gestellt werden, sind in etwa vergleichbar. Bei der CCD-Kamera werden aber aufgrund des sehr kleinen Formates kürzere Brennweiten verwendet. Hinzu kommt, dass wegen des sehr grossen Spektralbereiches Spiegeloptiken verwendet werden sollten. Werden Refraktoren verwendet, so müssen in jedem Fall Filter eingesetzt werden, da sonst das Fokussieren auch bei Optiken mit guter Farbkorrektur fast unmöglich wird.

Der Vergleich: Die Kosten

Die Kosten der zwei Techniken, selbst ohne Berücksichtigung der Optiken, miteinander zu vergleichen, ist sehr schwierig. Zu unterschiedlich sind die Anforderungen für die verschiedenen Arbeitsgebiete und zu unterschiedlich sind wohl auch die Anforderungen des Amateurs. Bei der ganzen Kostenfrage lasse ich die Kosten der Optik unberücksichtigt.

Film	CCD
Kamera	CCD-Kamera: 3'000 - 15'000
Dunkelkammer	PC: 2'500 - 4'500
Vergrösserungsapparat	Software: 100 - 2'000
Total ca. 1'500 - 3000	Total 5'600 - 21'500

Tabelle 6: Anschaffungskosten

Tabelle 7: Jährliche Kosten

Tätigkeit	Film	CCD
20 Schmidt Aufnahmen Negativ	100	
15 Kleinbildfilme	500	
Photopapier	100	
Entwickler	100	
Speicherplatz für ca. 1500 Bilder		100
Total ca.	800	100

Die ganze Aufstellung der jährlichen Kosten konnte ich nur aufgrund meiner persönlichen Erfahrung machen. Die Unterschiede werden je nach Arbeitsgebiet und Technik sehr gross sein. Bei den CCD-Aufnahmen ist besonders zu beachten, dass z.B. 1500 Bilder mit der Meade Pictor 1616 einen Speicherplatz von ca. 4,5 Gigabyte bei heutigen Kosten von ca. 4500Fr. bedingt. Da würde man dann vermutlich doch etwas weniger Aufnahmen machen und aufbewahren.

Film oder CCD für den Amateur?

Welche Technik soll ich als Amateur nun anwenden? Soll ich mit dem Film fotografieren oder soll ich mir eine CCD-Kamera anschaffen?

Dies hängt meiner Erfahrung nach davon ab, an was man Freude hat und was man wirklich gut kann oder können will. Auch der Geldbeutel ist sicher zu Rate zu ziehen, wie auch zu überlegen sein wird, wieviel Zeit man investieren kann. Es ist sicher wichtiger, vielleicht einmal etwas weniger zu tun, das dafür aber mit Engagement und wirklich gut. Vergessen wir nicht, Jahrtausendelang haben die Menschen den Himmel von blossem Auge beobachtet, und das nicht schlecht. Erst ab ca. 1600 stand dann das Fernrohr zur Verfügung. Die Fotografie steht dem Astroamateure erst seit diesem Jahrhundert zur Verfügung und die CCD-Kamera erst seit einigen Jahren. Und trotzdem konnten Amateure auch ohne moderne Techniken wertvolle Erkenntnisse gewinnen und an ihrem Hobby Freude haben.

Ich finde, alle Techniken, sei es die Beobachtung von Auge, das Zeichnen, das Fotografieren mit Film oder mit CCD-Kameras sind faszinierend und können das Leben voll ausfüllen. Möge jeder vor allem das tun, was ihm persönlich am meisten Freude und Befriedigung verschafft.

Quellenangaben

Schwarzweiss Photoschule, Verlag Photographie, ISBN 3-7231-0009-0

Astro-Photographie, PATRICK MARTINEZ, ISBN 3-87139-081-X

Astronomical Image Processing, RICHARD BERRY, Willmann-Bell Inc, ISBN 0-943396-32-8

Choosing and Using a CCD Camera, RICHARD BERRY, Willmann Bell Inc, ISBN 0-943336-39-5

HUGO JOST-HEDIGER
Lingeriz 89, 2540 Grenchen

Weil die Sterne nicht am Himmel stehen

Wenn Sie mit hochwertigen Objektiven den Himmelskörpern auf ihren Bahnen folgen wollen, sollten Sie nicht auf eine gute Montierung verzichten. Denn mit der neuen PaMont II von Carl Zeiss für Tuben bis zu 20kg Masse können Sie jetzt die Leistungskraft Ihres Teleskops voll ausschöpfen. Die quarzstabilisierte Steuerung der 12 V Schrittmotoren in beiden Achsen sorgt für bequeme Positionierung und professionelle Nachführgenauigkeit. Ausgefeilte Technik, Robustheit und Präzision garantieren die notwendige Stabilität. So können Sie mit Vergnügen beobachten und Nachführproblemen selbst bei langen Belichtungszeiten ein Schnippchen schlagen.

Technische Daten:

Belastbarkeit:

20 kg (Refraktoren bis ca. 150 mm Öffnung bzw. Reflektoren bis ca. 300 mm Öffnung)

Masse:

12,5 kg
zzgl. Gegengewichte

Spannung:

12V DC

Leistungsaufnahme:

max. 10W

Antriebe in α und δ :

12V Schrittmotoren,
hochauflösend

Nachführung:

siderisch, lunär,
synodisch

periodischer Fehler:

$\leq \pm 5''$

Positioniergeschwindigkeit:

2x, 8x, 16x (15''/sec.)

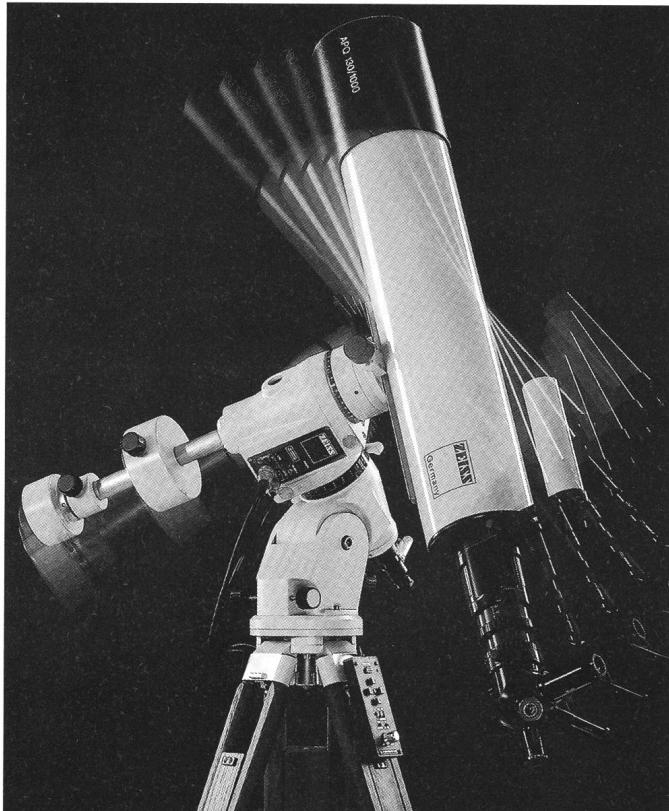
Polsucher:

optional

Startracking:

vorbereitet

motoren in beiden Achsen sorgt für bequeme Positionierung und professionelle Nachführgenauigkeit. Ausgefeilte Technik, Robustheit und Präzision garantieren die notwendige Stabilität. So können Sie mit Vergnügen beobachten und Nachführproblemen selbst bei langen Belichtungszeiten ein Schnippchen schlagen.



Carl Zeiss AG
Postfach
8021 Zürich
Telefon 01/465 91 91
Av. Juste-Olivier 25
1006 Lausanne
Téléphone 0 21/320 62 84