

# Was leistet die Phillips Toucam? Empirische Testverfahren von Digitalkameras für den Amateurastronomen

Ein Bericht von Peter C. Slansky

9.9.2005



Bild 1: Modifizierte Phillips Toucam VC 840 K

Neben speziell für die Astrofotografie entwickelten CCD-Kameras werden von Amateurastronomen auch andere Digitalkameras für vielfältige Aufnahmewecke eingesetzt. So haben vor einigen Jahren billige Webcams einen Quantensprung in der Bildqualität bei Planetenaufnahmen gebracht. Auch handelsübliche digitale Fotokameras kommen zum Einsatz. Während jedoch bei den echten astronomischen CCD-Kameras die für die Astrofotografie wichtigen Bildparameter in wissenschaftlicher Vollständigkeit dokumentiert werden (spektrale Empfindlichkeit, Full-Well-Capacity, Dunkelstrom etc.), fehlen bei normalen digitalen Kameras oft die grundlegendsten, für den Amateurastronomen wichtigsten Angaben.

## Der empirische Ansatz

Im folgenden Artikel soll eine Reihe einfacher, mit Amateurmitteln leicht durchzuführender Testmethoden gezeigt werden, mit deren Hilfe die für den Astrofotographen interessanten Bildparameter ermittelt werden können. Die Testmethoden werden beispielhaft vorgeführt an der weit verbreiteten Philips Toucam VC 840 K. Die hierbei erzielbare Genauigkeit genügt für die Astrofotographie mit semiprofessionellen Kameras.

## Die Philips Toucam VC 840 K

Die Toucam VC 840 K ist, wie ihr Vorgängermodell VC 740 K, als reine Computerkamera zum Einsatz über eine USB-Schnittstelle konzipiert. Die Kamera kann sowohl Standbilder als auch Laufbilder aufzeichnen. Im Nachfolgenden wird nur noch die VC 840 K besprochen, doch gilt fast alles auch für das Vorgängermodell.

Aus mehreren Gründen Die Toucam ist bei Amateurastronomen sehr beliebt:

- 1.: Ihr Objektiv lässt sich sehr einfach gegen einen Okularstutzenadapter austauschen und somit leicht in den Primärfokus eines Teleskops bringen.
  - 2.: Sie besitzt im Gegensatz zu vielen anderen Webcams einen echten CCD-Bildsensor und keinen billigen CMOS-Chip.
  - 3.: Vom Hersteller wird eine durchaus astrotaugliche Aufnahme-Software mitgeliefert, in der sich viele wichtigen Bildparameter manuell einstellen lassen.
  - 4.: Generell ermöglichen Webcams eine Laufbildaufnahme, so dass mit Hilfe von (Shareware-) Programmen wie *Giotto* oder *Registax* eine voll-automatische Gewinnung sehr rauscharmer Summenbilder möglich wird.
  - 5.: Die Kamera bietet mit einem Preis von weit unter 100.- € ein hervorragendes Preis-Leistungsverhältnis. Allerdings benötigt man im Gegensatz zu einer digitalen Fotokamera zwingend einen Computer.
- Einen 6. Vorteil, der auf den ersten Blick nicht so ins Auge fällt, möchte ich hier auch schon nennen: die Toucam ist auch im Infraroten sehr empfindlich, was gerade für Planetenaufnahmen interessante Möglichkeiten ergibt.

## Die getestete Kamera

Alle hier beschriebenen Tests wurden mit meiner Philips Toucam VC 840 K durchgeführt. Dieses Modell hatte ich mir 2004 von einem Kameratechniker in ein stabiles und elektrisch gut abgeschirmtes Metallgehäuse mit einem C-Mount-Objektivanschluss einbauen lassen. Der C-Mount-Anschluss ist ein Objektivgewinde, dass vor allem bei 16mm-Filmkameras weit verbreitet war. Von meinen 16mm-Filmkameras her besitze ich noch

Empirische Testverfahren von Digitalkameras für den Amateurastronomen

einen Satz C-Mount-Objektive in verschiedenen Brennweiten. Alle hier gezeigten Testaufnahmen wurden mit einem Schneider 1.8/10 mm Cinegon gemacht, dessen Schärfeleistung ich vor etlichen Jahren einmal am Kollimator gemessen hatte.

Wichtig war noch der Einsatz bestimmter Filter vor dem Objektiv. Beim Originalobjektiv der Philips Toucam ist nämlich ein Infrarot-Sperrfilter integriert. So adaptierte ich einen Gewindingering für das gebräuchliche 1¼"-Filtergewinde an das Schneider Cinegon.

## Die astrofotographisch relevanten Bildparameter

Getestet wurden:

- die Kameraempfindlichkeit in ISO/DIN
- die spektrale Empfindlichkeit
- die Farbwiedergabe, insbesondere mit verschiedenen Filtern
- die Auflösung, wobei hier zwischen verschiedenen Auflösungseinstellungen der Kamera einerseits und der Auflösung in verschiedenen Spektralbereichen andererseits (Weißlicht oder einzelne Farben) unterschieden werden muss

Generell wurden für alle Bildparameter Testtafeln verwendet, die dem Amateur zu erschwinglichen Preisen oder im Selbstbau zur Verfügung stehen.

## Der Testaufbau

Die Aufnahmen wurden an zwei Tagen im Studio II der Hochschule für Fernsehen und Film München gemacht und im Labor von Matthias Knülle in Aßling bei München. Im ersten Versuchsaufbau wurde die absolute Empfindlichkeit sowie die Übertragungskennlinie anhand des Kodak Graustufenkeils ermittelt. Dieser besteht aus 20 Helligkeitsabstufungen von Schwarz über Grau nach Weiß. Die Abstufungen verlaufen logarithmisch; der Übergang von einem Feld zum nächsten entspricht einem Dichteunterschied von jeweils 0.1 optischen Dichten, d.h. einem Helligkeitsunterschied von jeweils 1/3 Blendenstufe. Alle drei Felder verdoppelt bzw. halbiert sich also die Helligkeit. Der Gesamtkontrast des Graustufenkeils entspricht 6 2/3 Blendenstufen bzw. einem Verhältnis von 1 : 100 ( $2^{6.67} = 101,6$ ).

1993 hatte ich mich zusammen mit Detlef Möllering mit den fotografischen Eigenschaften von professionellen Fernsehkameras beschäftigt [1]. Für Fernsehkameras existieren festgeschriebene Verfahren der Empfindlichkeitsbestimmung, die ihren Ursprung aus den Technischen Pflichtenheften der Rundfunkanstalten [3] haben. Danach wird die Empfindlichkeit einer

## Empirische Testverfahren von Digitalkameras für den Amateurastronomen

professionellen Videokamera als Kombination einer Beleuchtungsstärke, mit der eine weiße Testtafel beleuchtet wird, und einer Blende, bei der die zu testende Kamera einen Videopegel von 100 % Bildamplitude ergibt, angegeben. Diese Vorschrift gilt übrigens für analoge und digitale Fernsehkameras gleichermaßen. Wichtige Randbedingungen sind noch der Remissionsgrad der weißen Testtafel (89 %), die Verwendung von Kunstlicht mit einer Farbtemperatur von 3200 K, eine Belichtungszeit von 1/50 Sekunde sowie eine normierte Kontrastübertragungskennlinie (u. a. muss die Lichterkompression, die so genannte Kniefunktion, abgeschaltet sein).

Um die Empfindlichkeit einer Videokamera mit der Empfindlichkeit eines Filmmaterials direkt vergleichen zu können, hatten wir aus den obigen Parametern eine Umrechnungsformel ermittelt: Danach hat eine Videokamera, die bei einer Blende F 4 und einer Beleuchtungsstärke von 2000 Lux auf einer weißen Testtafel mit einem Remissionsgrad von 89 % mit Halogenlicht von 3200 K ohne Filter bei der für unser Fernsehsystem normalen Belichtungszeit von 1/50 Sekunde einen Helligkeitssignalpegel von 100 % ergibt, eine Empfindlichkeit von 100/21 ISO. Das entspricht der früheren Angabe 100 ASA bzw. 21 DIN. Neuere professionelle Fernsehkameras haben Empfindlichkeiten von 400/27 ISO bis 800/30 ISO. Hinzu kommt noch die elektronische Signalverstärkung (Gain), mit deren Hilfe die Empfindlichkeit auf bis zu 3200/36 ISO und mehr gesteigert werden kann.

Der obigen Definition folgend nahm ich den Kodak Graustufenkeil mit der Phillips Toucam auf. Das hellste Feld entspricht hinreichend genau dem genormten Weiß von 89 % Remission. Nun kam es nur noch darauf an, die Blende zu ermitteln, bei der das hellste Feld Bildweiß ergab. In der Kamera-Software ist die Signalverstärkung über einen Schieberegler (mit der Bezeichnung „Gewinn“) stufenlos einstellbar. Diese Signalverstärkung entspricht dem Gain einer Videokamera. Sie bewirkt eine Erhöhung der Kameraempfindlichkeit bei gleichzeitig schlechter werdendem Signal-Rausch-Abstand. Die Parameter „Helligkeit“ und „Kontrast“ müssen für die Messung auf Mittelwert stehen. Für die Beleuchtung der Testtafel wurden Scheinwerfer mit einer Spektralcharakteristik ähnlich wie Tageslicht eingesetzt. Der Weißabgleich erfolgte per Automatik.

## Absolute Empfindlichkeit

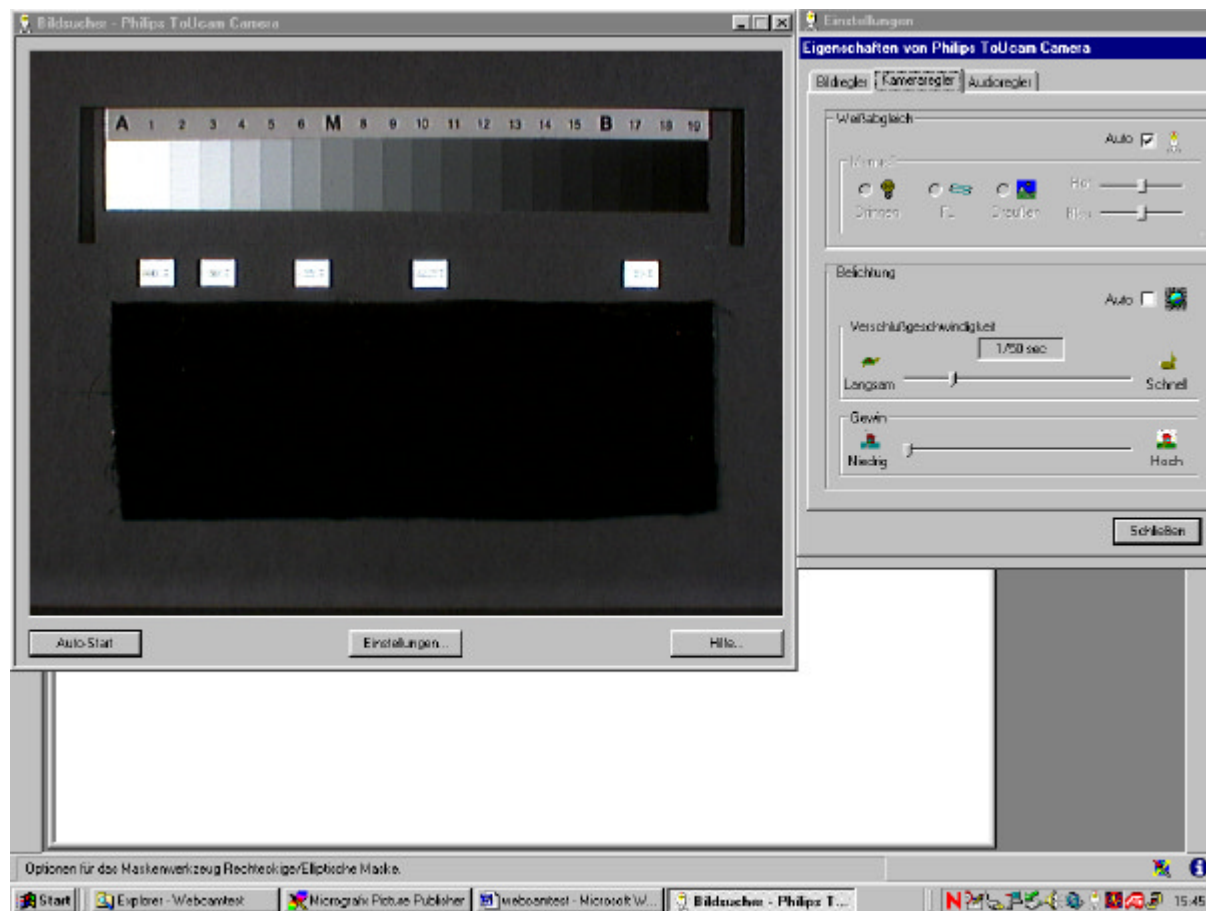


Bild 2: Phillips Toucam Software

Als Ergebnis des oben beschriebenen ersten Tests konnte ich in Abhängigkeit von der Signalverstärkung folgende Empfindlichkeiten meiner Toucam 840 ermitteln, wobei allerdings erhebliche Streuungen von einer Kamera zur anderen zu erwarten sind:

Bei einer Signalverstärkung von 0 %:	400/27 ISO
Bei einer Signalverstärkung von 20 %:	800/30 ISO
Bei einer Signalverstärkung von 40 %:	2000/34 ISO
Bei einer Signalverstärkung von 60 %:	4000/37 ISO
Bei einer Signalverstärkung von 85 %:	8000/40 ISO
Bei einer Signalverstärkung von 100 %:	20000/44 ISO

Bei Verstärkungen von mehr als 70 % ist das Bildrauschen allerdings bereits so hoch, dass die Empfindlichkeitsangabe mit einer erheblichen Ungenauigkeit behaftet ist. Zu beachten ist auch, dass bei kurzen Belichtungszeiten das Bild durch ein erhöhtes Ausleserauschen sichtbar kontrastärmer wird. Bei meiner Toucam begann dies ab 1/1000 Sek. Daher Achtung bei Sonnenaufnahmen! „Belichtungszeit“ ist bei einer CCD-

## Empirische Testverfahren von Digitalkameras für den Amateurastronomen

Kamera übrigens kein korrekter Begriff, da der Bildsensor ja permanent belichtet wird. Stattdessen müsste man von der Bildintegrationszeit sprechen.

Die nachfolgende Uranusaufnahme zeigt die Einsatzgrenzen für die Toucam auf: am 6.8.2004 wurde mit dem 40cm-Cassegrain (F 18) des Deutschen Museums mit 1/25 Sek bei 100 % Signalverstärkung eine Videosequenz von 2022 Bildern aufgenommen, von der 20 % zu einem Summenbild aufaddiert wurden. Dieses Summenbild wurde noch kräftig digital weiter bearbeitet. Das Bild daneben zeigt ein Einzelbild der originalen Videosequenz.

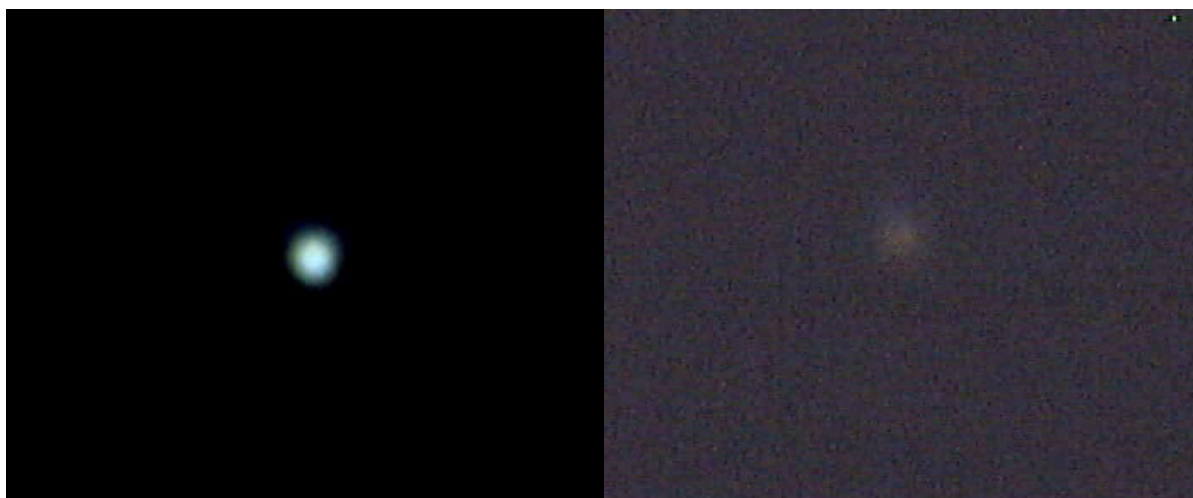


Bild 3: Uranus, bearbeitet

Bild 4: Uranus, einzelnes Rohbild

Noch ein wichtiger, grundsätzlicher Hinweis für die Aufnahme von Testcharts: Die Ausleuchtung muss stets reflexfrei und gleichmäßig sein! Glanzlichter auf der Testtafel oder eine inhomogene Beleuchtung machen die Messergebnisse unbrauchbar. Am besten eignet sich ein „45°-Reprolicht“, bei dem zwei gleich starke Scheinwerfer das Testchart symmetrisch aus einem Winkel von jeweils 45° rechts und links der optischen Achse beleuchten. Dann ist die Ausleuchtung reflexfrei. Man achte aber auch auf eventuelle Reflexe von anderen Lichtquellen wie Deckenlampen oder Fenster.

### Sensorraster und Bildraster

Die Phillips Toucam 840 verwendet, wie schon das Vorgängermodell 740, einen Sony-Farb-CCD vom Typ ICX098BQ. Auf ihrer Website stellt die Firma Sony sehr ausführliche Informationen über ihre Bildsensoren zur Verfügung. Das Datenblatt des ICX089BQ findet sich unter [www.sony.co.jp/~semicon/english/90203.html](http://www.sony.co.jp/~semicon/english/90203.html). Dieser Sensor weist 659x494 effektive, das heißt lichtempfindliche Pixel auf. Die Farbseparation geschieht mit einer sogenannten Bayer-Maske.

## Empirische Testverfahren von Digitalkameras für den Amateurastronomen

An dieser Stelle muss darauf hingewiesen werden, dass bei CCD-Kameras ein grundsätzlicher Unterschied besteht zwischen den Pixeln bzw. dem Pixelraster des CCDs selbst (nachfolgend Sensorpixel bzw. Sensorraster genannt) und den Pixeln bzw. dem Pixelraster der resultierenden Bilddatei (nachfolgend Bildpixel bzw. Bildraster genannt). Dies wird in der populären Betrachtung oft außer Acht gelassen. Zur Erinnerung: Ein CCD ist ein rein analoges Bauteil. Aus dem Sensorraster ergibt sich die native Auflösung des CCDs, erst aus dem Bildraster die Auflösung der digitalen Bilddatei. Hierbei spielt auch eine Rolle, dass bei Farb-CCDs mit Bayer-Maske die vollständige Bildinformation in RGB erst durch einen Rechenalgorithmus aus dem Rohdatenstrom gewonnen werden kann.

Welcher Zusammenhang besteht nun zwischen dem analogen Sensorraster und dem digitalen Bildraster? Um dies zu verstehen, soll nachfolgend die Funktionsweise eines Farb-CCDs genauer betrachtet werden.

Die Bayer-Maske besteht aus einem mikrofotolithographisch auf den CCD aufgetragenen feinen Mosaik aus transparenten Polymerfarbstoffen. Die Strukturgröße von wenigen  $\mu\text{m}$  stellt dabei höchste technologische Ansprüche. Die optimale Anordnung der roten, grünen und blauen Filterelemente war (und ist) Gegenstand zahlreicher Untersuchungen. In der Praxis wird heute meist die 1976 von B. Bayer entwickelte Filtermaske eingesetzt. Von dieser Bayer-Maske existieren zahlreiche Varianten. Im Falle des ICX089BQ sieht sie folgendermaßen aus:

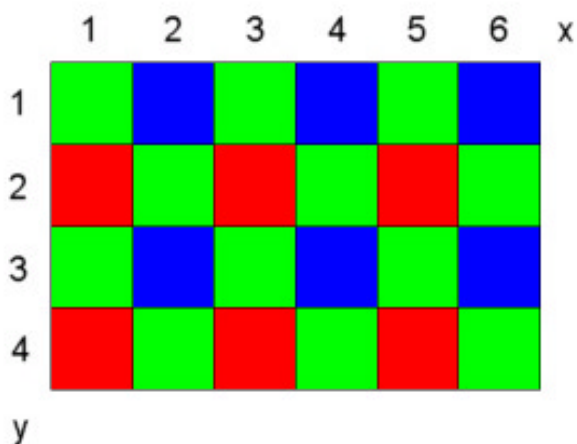


Bild 5: Bayer-Maske

Wie man sieht, besteht die Maske zur Hälfte aus grünen Filterelementen, und, zeilenweise wechselnd, zu jeweils einem Viertel aus roten bzw. blauen. Diese Anordnung trägt der Tatsache Rechnung, dass das menschliche Auge im Bereich des Grüns am lichtempfindlichsten ist, der Grünkanal somit den größten Anteil zur Helligkeitsauflösung beiträgt. Man sieht weiterhin, dass die vollständige Bildinformation der Kanäle Rot, Grün und Blau nicht in jedem einzelnen Sensorpixel vorliegt, sondern erst aus einer

## Empirische Testverfahren von Digitalkameras für den Amateurastronomen

gewissen Anzahl von Sensorpixeln für jeden Bildpixel interpoliert werden muss. Dies geschieht mit einem mathematischen Algorithmus.

Bei der Bayer-Maske ist die Fläche eines Bildpixels stets vier mal so groß wie die eines Sensorpixels. Jeder Sensorpixel und jeder Bildpixel eines Flächensensors ist durch zwei Zahlen adressiert: die x/y-Koordinaten. Zur Gewinnung der vollständigen RGB-Information für den Bildpixel 1/1 müssen die Informationen der vier Sensorpixel 1/1 (Grün), 2/1 (Blau), 1/2 (Rot) und 2/2 (wieder Grün) nach einem gewissen Schlüssel kombiniert werden:

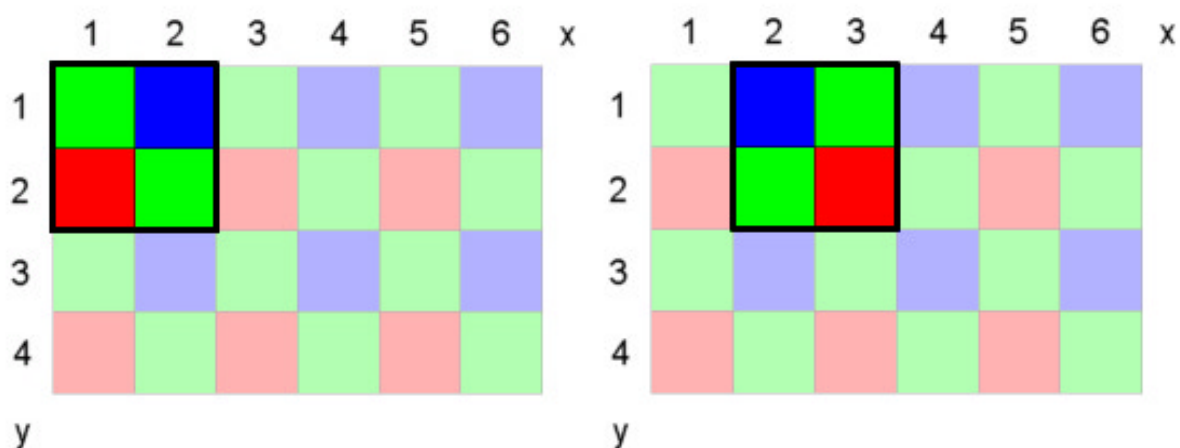


Bild 6/7: Farbkodierung bei der Bayer-Maske für zwei nebeneinander liegende Bildpixel

Die Information des nächsten Bildpixels 2/1 ergibt sich nun durch Verschieben der Vierergruppe von Sensorpixeln um einen Sensorpixel nach rechts: Die Information für den Bildpixel 2/1 ergibt sich dann durch die Kombination der Sensorpixel 2/1 (Blau), 3/1 Grün, 2/2 (Grün) und 2/3 (Rot). Horizontal und vertikal wird also jeweils mindestens ein Sensorpixel mehr benötigt als Bildpixel ausgelesen werden sollen. So wird beim ICX098BQ aus 641x481 aktiven Sensorpixeln ein Bildraster von 640x480 Bildpixel.

Wichtig: Die native Auflösung in den Kanälen Blau und Rot liegt nur halb so hoch wie im Grünkanal. Dies hat weit reichende Konsequenzen für den Einsatz der Toucam: Aufnahmen mit strengen Blau- oder Rotfiltern weisen ebenfalls nur die halbe Auflösung auf. Bild 10 zeigt diesen Effekt. Soll also die Toucam beispielsweise für H $\alpha$ -Aufnahmen eingesetzt werden, so kann gleich in einer niedrigeren Bildauflösung von 320x240 Pixeln aufgenommen werden: die native Auflösung des CCDs allein im Rotkanal ist ja nur halb so hoch.



## Undersampling und Oversampling

Eine Fernseh- bzw. Videokamera zerlegt jedes Einzelbild in zwei unterschiedliche, aufeinander folgende Halbbilder. Dagegen nimmt eine reine Computerkamera wie die Toucam sowohl im Videomodus als auch im Standbildmodus stets Vollbilder auf. Dies wird auch als „Progressive Scan Mode“ bezeichnet.

In der Toucam-Software sind im Videomodus wie im Standbildmodus jeweils verschiedene Auflösungen wählbar. Ausgehend von der maximalen, nativen Auflösung des CCDs von 641x481 Sensorpixel lassen sich zunächst die ungebinnte Auflösung 640x480 Bildpixel und die gebinnten Auflösungen 320x240 Bildpixel (2x2-Binning = Zusammenfassung der Information von je 4 Pixeln) und 160 x 120 Bildpixel (4x4-Binning = Zusammenfassung der Information von je 16 Pixeln) einstellen. In den beiden letzteren Auflösungseinstellungen arbeitet der CCD mit dem vollen Format, d. h. es sind 641x481 Sensorpixel aktiv, allerdings im Undersampling. In den ebenfalls wählbaren Einstellungen 352x288 Bildpixel (ungebinnt) bzw. 176x144 Bildpixel (2x2-Binning) werden dagegen lediglich die Pixel in der Sensormitte ausgelesen.

Im Standbildmodus (z. B. wenn die Toucam als Twain-Quelle gewählt wird) kann die native Auflösung des CCDs noch durch Oversampling nachträglich vergrößert werden: In den Einstellungen 1280x960 Bildpixel bzw. 960x720 Bildpixel wird das original Sensorraster feiner abgetastet. Kann dies irgendwelche bildmäßigen Vorteile bringen, wo doch das Ausgangsbild vom CCD stets nur maximal 641x481 Sensorpixel umfasst? Nun, die nachträgliche Bildsignalverarbeitung, insbesondere die elektronische Schärfenanhebung, produziert im Oversampling-Modus weniger sichtbare Artefakte, da die meisten dieser Artefakte genau einen Bildpixel breit bzw. hoch sind. Da das Oversampling nur im Standbildmodus zur Verfügung steht, die Toucam für Planetenaufnahmen aber meist im Videomodus betrieben wird, ist diese Möglichkeit leider eher von theoretischem Interesse.

## Auflösung und Bildschärfe

Zur Kennzeichnung der Auflösung von digitalen Kameras oder Videokameras wird oft allein die Pixelzahl angegeben. Es scheint, als hätte dieser Parameter die gleiche suggestive Wirkung wie die PS-Zahl eines Autos: je mehr, desto besser. In der astrofotografischen Praxis interessiert aber eher die Bildschärfe. Ein Kriterium für die Bildschärfe ist die Modulationsübertragung (MTF): der Motivkontrast in Abhängigkeit von der Feinheit einer aufgenommenen Struktur. Solche MTF-Messungen sind allerdings relativ aufwändig. In Anbetracht des geringen Preises der Toucam erscheint hier eine eher qualitative Betrachtung angemessener.

## Empirische Testverfahren von Digitalkameras für den Amateurastronomen

Für diese Untersuchungen wurde ein so genanntes Megacycle-Testchart aufgenommen, das aus vertikalen, unterschiedlich feinen schwarzen Strichen auf weißem Grund besteht. Anhand dieser Testtafel wurde ein visueller Befund am Computermonitor vorgenommen. Solche Testtafeln sind für Videofilmer im Fotogeschäft erhältlich, sie lassen sich aber auch leicht selbst herstellen.

Bei Computerkameras und bei digitalen Fotokameras ist die horizontale und die vertikale Auflösung in der Regel identisch. Bei Fernseh- bzw. Videokameras ist dies, u. a. wegen des Halbbildverfahrens, nicht der Fall. Die 8 Felder des Megacycle-Testcharts entsprechen jeweils einer bestimmten Feinheit des Linienmusters: Feld 1 entspricht 104 Linien (= 52 schwarze und 52 weiße Linien pro Bildbreite); Feld 2 208 Linien, Feld 3 312 Linien, Feld 4 416 Linien, Feld 5 520 Linien, Feld 6 624 Linien und Feld 8 832 Linien pro Bildbreite. Es leuchtet ein, dass die Toucam mit 641 Sensorpixeln horizontal keinesfalls mehr als 640 Linien auflösen kann. Im Gegenteil: wegen der örtlichen Unterabtastung setzen schon vorher Artefakte ein, so genannte Aliaseffekte.

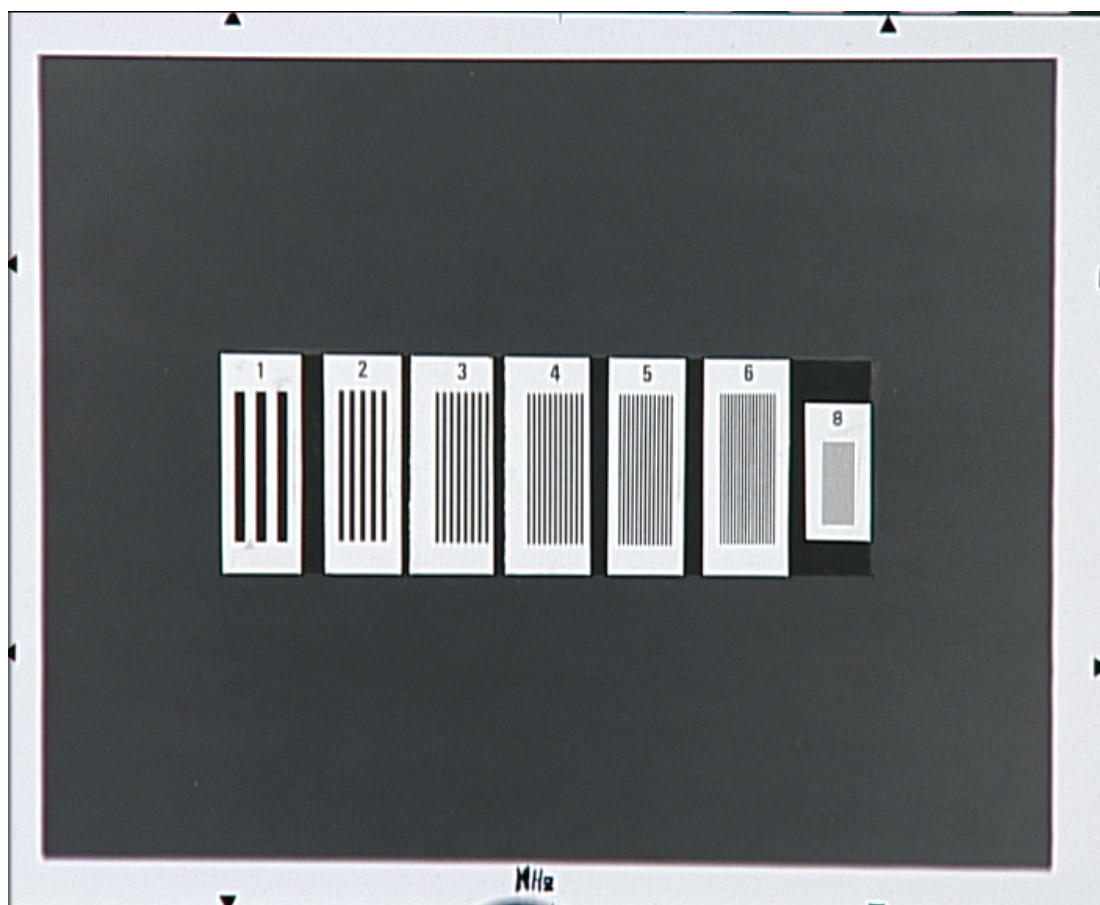


Bild 8:  
Megacycle-Testchart mit einer professionellen Fernsehkamera (Ikegami HK-388)

# Empirische Testverfahren von Digitalkameras für den Amateurastronomen

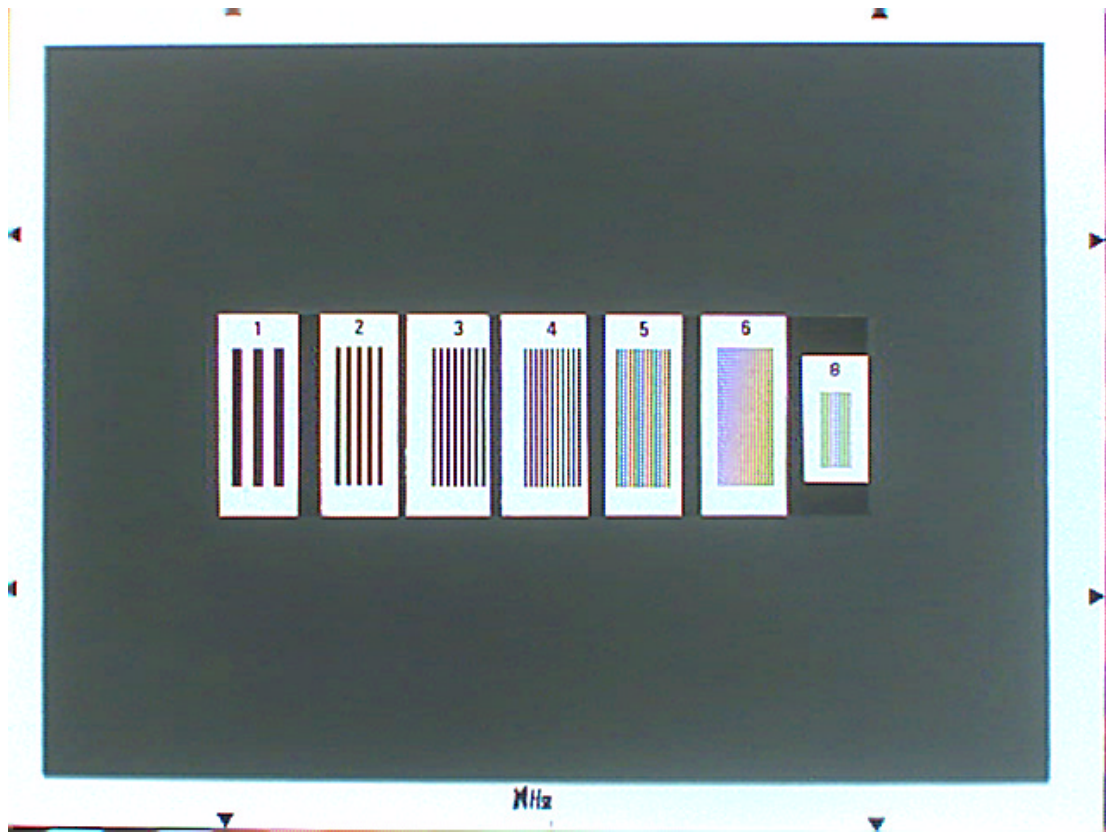


Bild 9: Megacycle-Testchart mit der Toucam 840 mit Infrarot-Sperrfilter

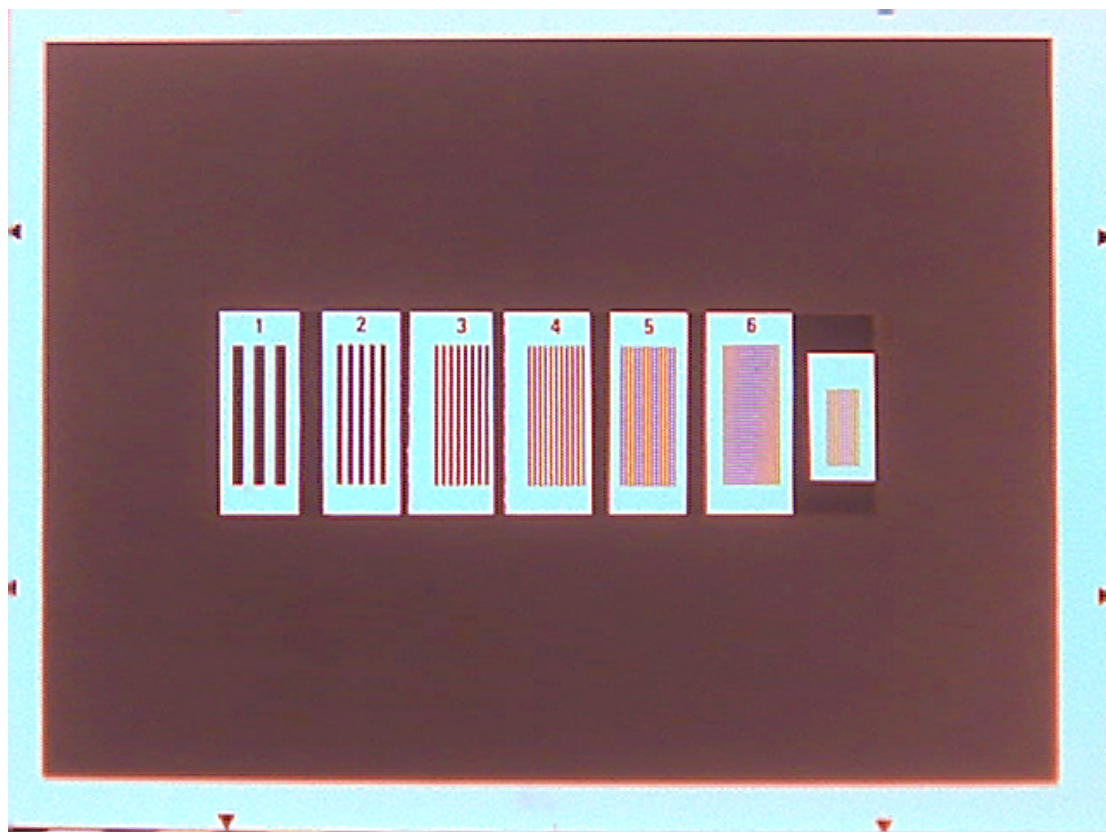


Bild 10: Megacycle-Testchart mit der Toucam 840 mit Infrarot-Passfilter

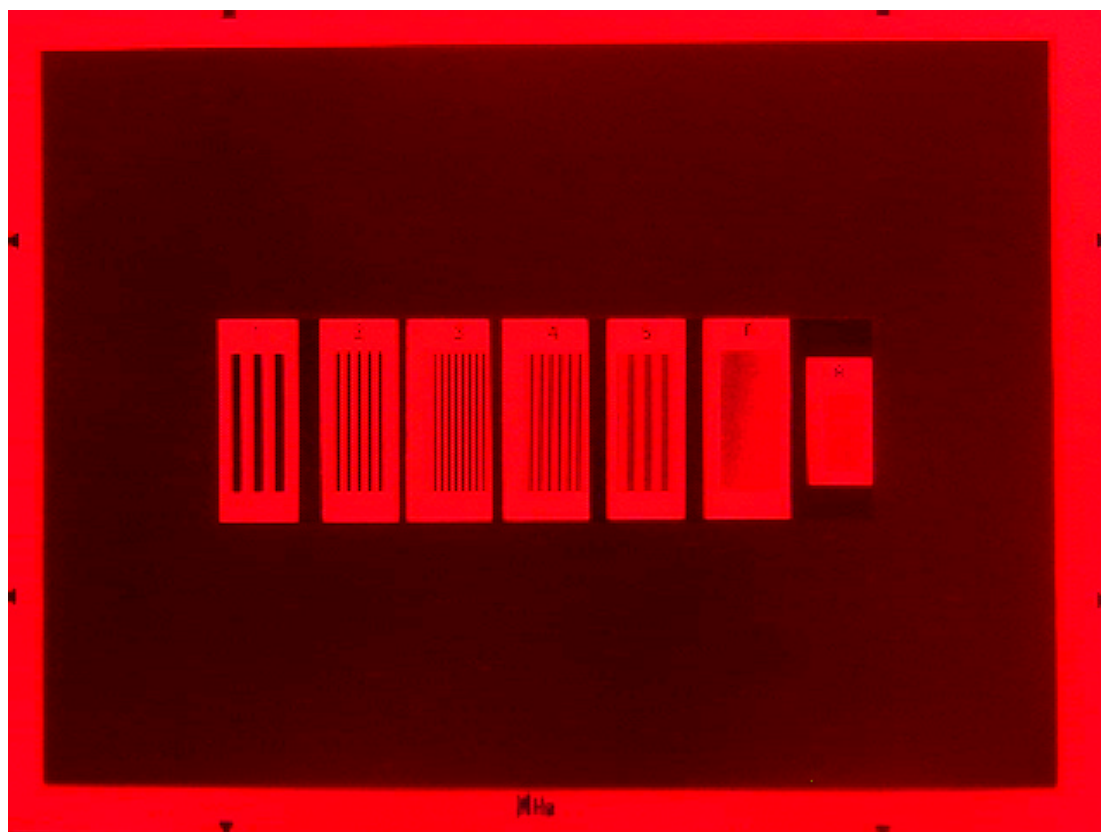


Bild 11: Megacycle-Testchart mit der Toucam 840 mit H $\alpha$ -Filter

Bild 8 zeigt als Referenz die Aufnahme mit einer professionellen Fernsehstudiokamera. Wegen des TV- Pixelrasters von 720x576 nichtquadratischen Pixeln erscheint die Testtafel horizontal geringfügig gestaucht. Die Felder 1 bis 5 sind noch gut aufgelöst, erst in Feld 6 erscheinen erste Aliaseffekte.

Bild 9 zeigt eine Aufnahme mit der Toucam mit Infrarotsperfilter, das heißt im sichtbaren Weißlicht. Hier erscheinen erste Aliaseffekte bereits in Feld 3 und noch stärker in Feld 4. Diese Aliaseffekte sind farbig, da sie von der Bayer-Maske mit verursacht werden. Die Felder 5 und 6 werden nicht mehr differenziert, sie zeigen ausschließlich Aliaseffekte. Die Auflösungsgrenze der Toucam liegt also – bei ersten Aliaseffekten – bei etwa 312 Linien horizontal – im Weißlicht, wohlgemerkt.

Bild 10 wurde mit der Toucam durch einen Infrarotpassfilter aufgenommen. Dieser lässt alle Wellenlängen von mehr als etwa 700 nm hindurch. Gegenüber dem Bild mit Infrarotsperfilter ist die Auflösung unverändert - ein Hinweis darauf, dass die Filterfarbstoffe der Bayer-Maske in allen drei Kanälen Rot, Grün und Blau im Infraroten durchlässig sind.

Den Einfluss des De-Bayerings zeigt Bild 11: dieses Bild wurde mit einem H $\alpha$ -Filter gewonnen. Da durch den schmalbandigen Filter nur die für Rot empfindlichen Pixel angesprochen wurden (d. h. nur jeder 4. Pixel), ist

Empirische Testverfahren von Digitalkameras für den Amateurastronomen

auch die Auflösung nur noch halb so groß - horizontal wie vertikal. So erscheinen Aliaseffekte bereits in Feld 3.; die Felder 4 und 5 werden völlig von Aliaseffekten dominiert.

Die folgenden beiden Aufnahmen zeigen diesen Effekt anhand von Venus: Bild 12 wurde im Weißlicht aufgenommen, Bild 13 im H $\alpha$ -Licht mit einem Daystar-Filter neun Tage später beim Venustransit.



Bild 12: Venus im Weißlicht am 30.5.2004 im 30cm-Refraktor des Deutschen Museums (f = 5000 mm)



Bild 13: Venus vor der Sonne im H $\alpha$ -Licht am 8.6.2004 im 20cm-Koronagraphen des Wendelstein-Observatoriums (f = 3750 mm)

## Spektrale Empfindlichkeit

### Spektrale Empfindlichkeit

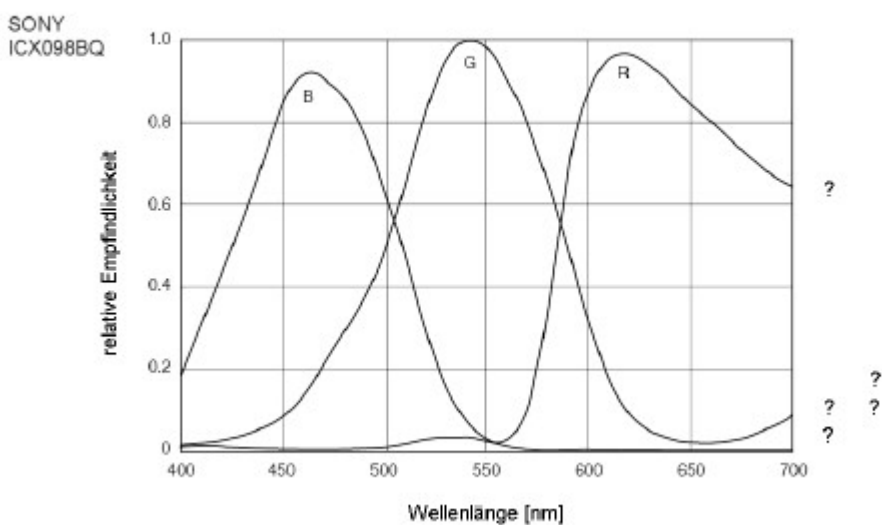


Bild 14: Spektralempfindlichkeit des Sony-CCDs ICX098BQ [Fragezeichen von mir]

## Empirische Testverfahren von Digitalkameras für den Amateurastronomen

Leider sind im Datenblatt des CCDs die Kurven nur bis zu einer Wellenlänge von 700 nm dargestellt. In der Planetengrafie, dem Hauptfeld der Toucam, ist aber auch das nahe Infrarot bis über 1000 nm durchaus interessant. Um die exakten spektralen Empfindlichkeitskurven des CCDs in den drei Farbkanälen quantitativ exakt zu ermitteln, benötigte man eine monochromatische Lichtquelle mit variabler Wellenlänge bis ins Infrarot. Dies wäre sehr aufwändig. Im Folgenden soll ein einfacheres, qualitatives Verfahren gezeigt werden.

Ein erster guter Test für die Infrarotempfindlichkeit einer Webcam oder einer Videokamera kann mit Hilfe einer Fernbedienung eines Fernsehers oder einer Hifi-Anlage vorgenommen werden: Fernbedienungen besitzen eine Infrarot-LED, die bei einem Tastendruck eine gepulste Infrarotstrahlung abgibt. Die Toucam reagiert deutlich auf diese Strahlung: Bild 15 wurde ohne Filter aufgenommen, Bild 16 mit IR-Sperrfilter. Da die IR-Strahlung gepulst ist, wurde jeweils das hellste Einzelbild einer Videosequenz ausgewählt.



Bild 15: ohne Infrarot-Sperrfilter

Bild 16: mit Infrarot-Sperrfilter

Genauere Ergebnisse ergibt ein Spektroskop. Die folgenden beiden Bilder wurden mit einem einfachen Pappspektroskop aus dem Schullehrmittelbereich (Preis 7.- €) aufgenommen. Ein solches Pappspektroskop lässt sich z. B. über [www.astromedia-verlag.de](http://www.astromedia-verlag.de) beziehen. Es ist allerdings ziemlich ungenau und muss daher unbedingt geeicht werden, beispielsweise über eine Aufnahme mit einem H $\alpha$ -Filter. Wichtig ist die Verwendung einer Lichtquelle mit einem kontinuierlichen Spektrum auch im Infraroten. In unserem Fall war kam eine Halogenglühbirne zum Einsatz.

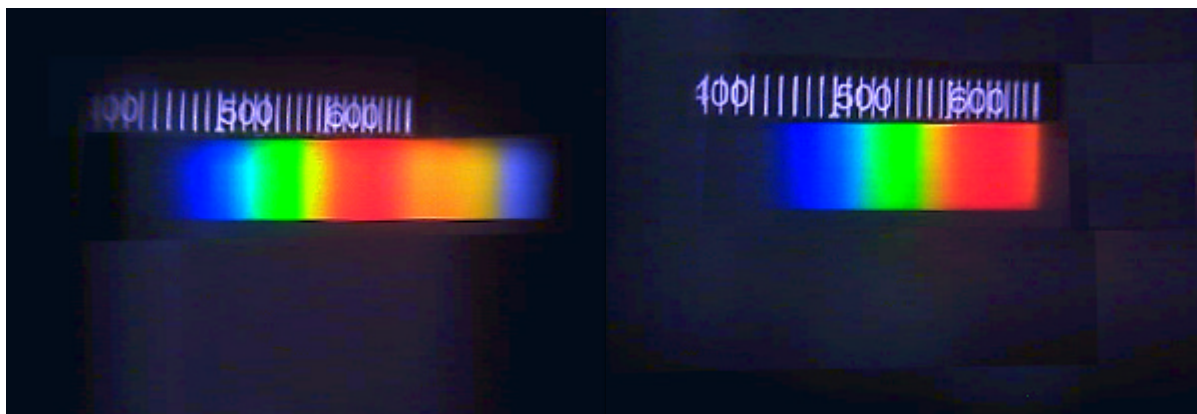


Bild 17: Spektrum ohne Filter

Bild 18: Spektrum mit Infrarot-Sperrfilter

Bild 18 wurde mit IR-Sperrfilter gemacht, Bild 17 ohne Filter: die Empfindlichkeit der Kamera bis weit ins Infrarot ist deutlich zu erkennen. Die Skala des Spektroskops endet bei 700 nm, doch ist bei dem verwendeten Glühlampenlicht noch eine Empfindlichkeit bis knapp 900 nm zu erkennen. Interessanterweise wechselt jenseits der 700 nm die Farbe erst zu Orange und dann sogar zu Blau. Das bedeutet, dass tatsächlich alle drei Farbkanäle vom Infrarotlicht angesprochen werden. Der blaue Farbstich jenseits von 800 nm entsteht durch den Weißabgleich auf Halogenlicht. Eine noch genauere aber auch erheblich aufwändigere Methode der Empfindlichkeitsermittlung ist die Verwendung eines Monochromators oder von Bandpassfiltern. Mit einem Bandpassfilter konnte für die Toucam noch eine geringfügige Empfindlichkeit bis zur theoretischen Empfindlichkeitsgrenze von 1090 nm für Silizium nachgewiesen werden.

## Planetenaufnahmen mit der Toucam im Infrarotlicht



Bild 17: Jupiter im Infrarotlicht

Bild 18: Jupiter im Weißlicht



## Empirische Testverfahren von Digitalkameras für den Amateurastronomen

Diese beiden Jupiteraufnahmen wurden am 1.4.2004 bei mäßigem Seeing im Primärfokus des 40cm-Cassegrain des Deutschen Museums aufgenommen. Bei der rechten Aufnahme wurde ein IR-Sperrfilter verwendet, bei der linken Aufnahme ein IR-Passfilter RG 695; beide Bilder wurden in gleicher Weise digital nachbearbeitet: Das IR-Bild zeigt bei gleicher Auflösung deutlich mehr Wolkenstrukturen in der Jupiteratmosphäre.

### Fazit

Mit relativ einfachen Mitteln und mit geringem Kostenaufwand kann der Amateur die wichtigsten fotografischen Eigenschaften digitaler Kameras selbst ermitteln. Die absolute Empfindlichkeit, die Auflösung und die spektrale Empfindlichkeit lassen sich mit Testtafeln und anderen Hilfsmitteln ermitteln, die sich im Fotofachhandel beziehen oder selbst anfertigen lassen. Für eine vergleichsweise billige Webcam, für eine Videokamera oder für einfachere digitale Fotokameras ist die Exaktheit der Messergebnisse weniger interessant als die Frage der grundsätzlichen Eignung der Kamera für bestimmte Aufnahmezwecke.

Bei Aufnahmen im H $\alpha$ -Licht bzw. mit anderen schmalbandigen Filtern im Rot- oder Blaubereich arbeitet die Toucam wegen der Bayer-Maske lediglich mit der halben Auflösung. Für Planetenaufnahmen ist insbesondere die hohe Infrarotempfindlichkeit der Phillips Toucam interessant. So zeigen Jupiter und Mars im Infraroten Details, die im Weißlicht verborgen bleiben. Bei Jupiter sind es die Methan-Wolkenstrukturen, die im Infraroten besonders hervortreten, bei Mars ermöglicht die Infrarotaufnahme eine bessere Durchsicht durch die Atmosphäre auf die Marstopographie. Dies bietet sich beispielsweise für die Marsopposition im Oktober 2005 an. Interessant sind auch Vergleichsaufnahmen im Infrarot und im Weißlicht.

Weitere Planetenaufnahmen und weitere Testaufnahmen mit der Toucam sowie Test- und Referenzbilder zum Download finden sich auch auf meiner Website: [www.lrz-muenchen.de/~slansky](http://www.lrz-muenchen.de/~slansky).

Peter C. Slansky

9.9.2005

Dieser Artikel erschien auch in **Sterne und Weltraum 6/2006**

**Quellen:**

- [1]: Möllering, Detlef, und Slansky, Peter C.: „Handbuch der professionellen Videoaufnahme“; edition filmwerkstatt, Essen, 1993
- [2]: Bloss, Hans: „Die digitale Netzhaut – Bildsensoren für eine digitale Filmkamera“ in : „Digitaler Film – digitales Kino“; Hg.: Peter C. Slansky, UVK-Verlag, Konstanz, 2004
- [3]: Technische Pflichtenhefte Nr. 8/1.1 1.25 und 1.3.2; Mai 1972
- [4]: Martin, Axel, und Klemman-Böker, Karolin: „CCD Astronomie“; Oculum Verlag, Erlangen, 2004
- [5]: [www.sony.co.jp/~semicon/english/90203.html](http://www.sony.co.jp/~semicon/english/90203.html) (4.4.2005)
- [6]: [www.astromedia-verlag.de](http://www.astromedia-verlag.de) (4.4.2005)
- [7]: [www.lrz-muenchen.de/~slansky/bereiche/astronomie/aufnahmetechniken/berichte.html](http://www.lrz-muenchen.de/~slansky/bereiche/astronomie/aufnahmetechniken/berichte.html)