



Körnige Raumzeit?

Astronomische Beobachtungen sollten Einblicke in die Welt des Allerkleinsten liefern

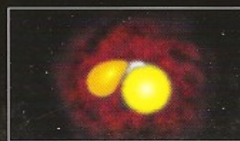


(D/A/L) 7,90 EUR · (CH) 14,80 CHF

D 5496


DUNKLE ENERGIE

Physik-Nobelpreis für eine erstaunliche Entdeckung


NOVA SCORPII 2008

Analyse einer seltsamen Sternexplosion


PLANETEN-FOTOGRAFIE

Was leisten die neuen Astrokameras von TIS?


ORTE DES WISSENS

Die lange Odyssee der Kepler-Handschriften





36

TITELTHEMA
KÖRNIGE RAUMZEIT?

Bestehen Raum und Zeit wie die Materie aus kleinsten diskreten Einheiten? Und gibt es Hinweise darauf aus den aktuellen astronomischen Beobachtungen?



ASTRONOMIE UND PRAXIS

*** BEOBACHTUNGEN**

72 Neue Astrokameras für die Planetenfotografie
Von Peter und Christian Wellmann

*** ORTE DES WISSENS**

82 Die Odyssee der Kepler-Manuskripte
Von Volker Witt

WUNDER DES WELTALLS

90 Energiereiche Entladungen

ASTROSZENE

96 Die Astromesse AME 2011
Von Bernd Weisheit

100 Westhavelland bald erster deutscher Sternenpark?
Von Jan Hattenbach

102 HTT: Teleskoptreffen mit Schönwettergarantie
Von Jan Hattenbach

104 TWAN: Der Himmel im Großformat – Weltpremiere in Linz
Von Johannes Stübler

106 Hundert Jahre AAVSO • Verein Kronacher Sternengucker aufgelöst • Sternwarte Gmunden wiederbelebt • Autoguider jetzt auch von Synta • Vielseitiges Sonnenteleskop von Lunt • TAL kündigt Sechs-Zoll-Apo an • CCD-Kamera für den kleinen Geldbeutel

LESERREISE

108 Namibia 2012 – auf zum Südhimmel!

www.astronomie-heute.de



72
MIT NEUEN ASTROKAMERAS ZU SCHÄRFEREN PLANETENBILDERN

Der Hersteller The Imaging Source bietet seine Videokameras der Serie 21 mit neuen CCD-Sensoren an, die mehr Infrarotlicht verarbeiten.



20
PHOBOS-GRUNT

Nach rund einem Vierteljahrhundert ohne Raumsonden meldet sich Russland wieder in der Planetenforschung zurück.



82
DIE ODYSSEE DER MANUSKRIPTE KEPLERS

Auf verschlungenen Wegen gelangten die Schriften aus der Hand des großen Astronomen nach Sankt Petersburg.

Neue **Astrokameras** für die Planetenfotografie

Planetenfotografen nutzen seit Jahren die Videokameras der Serie 21 des Herstellers The Imaging Source (TIS). Diese Kameras bietet TIS nun alternativ mit neuen CCD-Sensoren der Baureihe 618 von Sony an. Ihre erhöhte Lichtempfindlichkeit macht sich besonders im Infraroten bemerkbar, wo unruhige Luft Planetenaufnahmen weniger beeinträchtigt als im optischen Spektralbereich.

Von Peter Wellmann und Christian Wellmann

Bereits ein flüchtiger Blick durch ein Teleskop lässt das größte Problem bei der Planetenbeobachtung erahnen. Selbst bei einer Optik höchster Qualität behindert die unruhige Luft der Erdatmosphäre den Blick auf unsere kosmischen Nachbarn. So erscheint der Riesenplanet Jupiter mit seinen rotbraunen Wolkenbändern und ihren feinen Ausläufern dem Auge oft nur als verwaschenes Scheibchen, und auch die eigentlich kontraststarken dunklen Teilungen der Saturnringe werden durch eine hohe Luftunruhe geradezu »weggewischt«.

In Momenten ruhiger Luft offenbaren sich dem Auge jedoch feine Details. Besonders bei einer dichten Annäherung des roten Planeten Mars an die Erde, die nur alle fünfzehn Jahre eintritt, wird ein geduldiger Beobachter in solchen Augenblicken mit einzigartigen Ansichten der Polkappen und dunkler Bodenformationen belohnt. Möchte er nun den Planeten im Bild festhalten, so beginnt er nicht erst dann mit der Aufnahme, wenn sich die Luftunruhe kurzfristig gelegt hat. Stattdessen belichtet er mit einer digitalen Kamera am Teleskop eine Folge hunderter oder sogar mehrerer tausend Bilder, von denen er am

Computer die schärfsten auswählt und zu einem Gesamtbild verarbeitet, während er die übrigen Bilder, auf denen der Planet unscharf erscheint, verwirft.

Aus dem Wunsch, innerhalb kurzer Zeit einen möglichst hohen Anteil an scharfen Bildern zu gewinnen, ergeben sich bereits die wichtigsten Anforderungen an eine Planetenkamera: Sie muss kurze Belichtungen in rascher Folge ermöglichen und zudem mit einem sehr empfindlichen Bildsensor ausgestattet sein, der während jeder einzelnen Aufnahme möglichst viel von dem Licht registriert, das die Teleskopoptik gesammelt hat. Diesen Anforderungen kommt eine empfindliche digitale Videokamera am meisten entgegen.

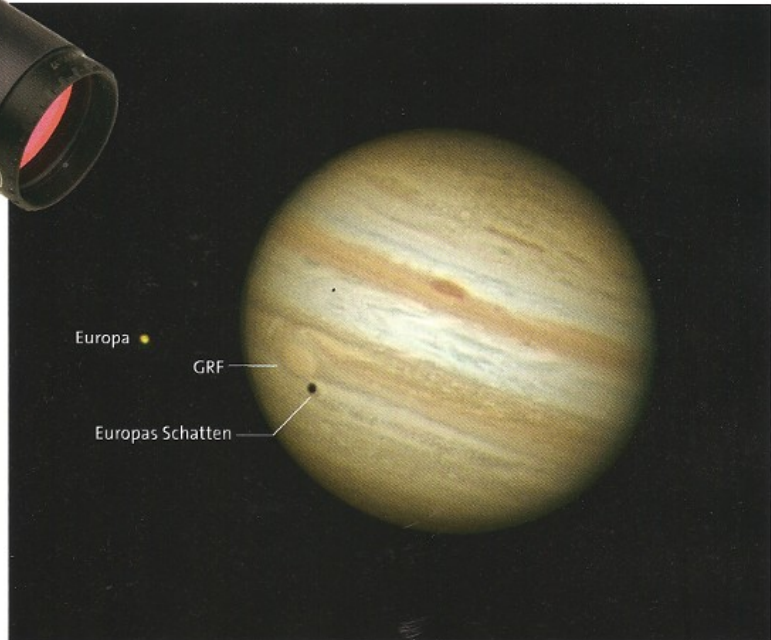
In dieser Hinsicht bewährten sich bei Planetenfotografen die Kameras DMK 21 und DBK 21 des Herstellers The Imaging Source, kurz TIS (siehe SuW 6/2008, S. 92). Die beiden Kameras gibt es jeweils in einer Ausführung für Farbaufnahmen sowie für monochrome Aufnahmen, denen dann Graustufenbilder entsprechen. Dank der voranschreitenden Entwicklung von CCD-Sensoren bietet TIS die Kameras nun alternativ auch mit verbesserten Sensoren



Dieses Foto des Planeten Mars entstand im Jahr 2007 unter sehr ruhiger Luft mit der damaligen Farbkamera DBK 21AF von TIS. Es stellte sich nun die Frage, inwieweit die neuen, bis auf die Elektronik baugleichen Versionen die alten Kameras übertreffen.



Trotz großer Luftunruhe gelang mit den neuen Kameras von TIS dieses detailreiche Komposit des Planeten Jupiter. Es besteht aus einem hochaufgelösten Infrarotbild, das mit der neuen Schwarz-Weiß-Kamera DMK 21AF618.AS aufgenommen wurde (oben). Dieses Bild wurde mit einer Aufnahme kombiniert, die im optischen Spektralbereich mit der neuen Farbkamera DBK 21AF618 entstand. Zur Aufnahme diente ein Schmidt-Cassegrain-Teleskop mit 30 Zentimeter Öffnung.



Alle Bilder, soweit nicht anders angegeben: Peter und Christian Wellmann

Überblick: Die Kameras der Serie DMK 21 von The Imaging Source

Die neuen Digitalkameras des Herstellers The Imaging Source gibt es in einer Schwarz-Weiß-Version mit der Bezeichnung DMK 21AF618.AS sowie in einer Farbversion mit der Bezeichnung DBK 21AF618.AS. Beide Kameras verfügen über die neuen empfindlichen CCD-Sensoren der Baureihe 618 von Sony.

Kurzbeurteilung:

- 👉 Hohe Lichtempfindlichkeit
- 👉 gute Bildqualität
- 👉 geringe Erwärmung
- 👉 gut nutzbare Kamerasoftware, einfache Installation
- 👉 Teleskopadapter im Lieferumfang
- 👉 relativ hoher Anschaffungspreis
- 👉 knappe Installationsanleitung

Preise:

Monochrome Version: 430 Euro (USB/Firewire), 580 Euro (GIGE)
Farbversion: 390 Euro (USB/Firewire), 540 Euro (GIGE)

Bezugsquellen: Die Kameras sind im Astronomie-Fachhandel erhältlich. Die im vorliegenden Beitrag beschriebenen Produkte wurden zur Verfügung gestellt von The Imaging Source Europe GmbH, Sommerstr. 36, D-28215 Bremen, info@theimagingsource.com, www.theimagingsource.biz

Typenbezeichnungen und technische Daten

Kamera	alt neu	DMK 21AF04.AS DMK 21AF618.AS	DBK 21AF04.AS DBK 21AF618.AS
CCD-Chip	alt neu	ICX 098 BL ICX 618 ALA	ICX 098 BQ ICX 618 AQA
CCD Typ		EXview HAD	
Ausleseverfahren		Interline Transfer	
Chipgröße		4,6 mm × 4,0 mm (1/4 Zoll)	
Bildformat		640 × 480 Pixel	
Pixelgröße		5,6 µm × 5,6 µm	
Belichtungszeit		1/10000 s – 60 min	
Bildrate		60 fps	60/30 fps
Bilddaten		Y800 monochrom	UYVY/BY8 color
Bildtiefe in Bit		8 / 10 intern	
Verstärkung		0 – 36 dB	
Stromverbrauch		200/500 mA für Firewire/USB	
Gewicht		265 g	
Abmessungen		50 mm × 50 mm × 56 mm	
Schnittstelle		Firewire (alternativ USB oder GIGE)	

Zwei Beispiele eines Bildvergleichs

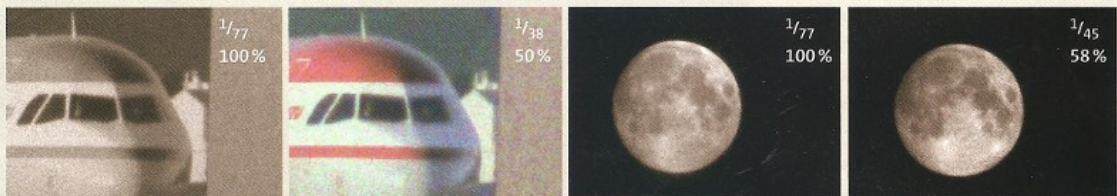
Als Referenzbilder für Vergleiche der Kameraempfindlichkeiten dienten zwei mit der neuen Schwarz-Weiß-Kamera aufgenommene Bilder mit absichtlich hohem Bildrauschen: ein am Tag belichtetes Bild (siehe »Referenzbild Tageslicht«) und ein bei Nacht belichtetes Bild des Mondes (siehe »Referenzbild Mond«).

Im ersten Beispiel fragen wir nach der Empfindlichkeit der neuen Farbkamera im Vergleich zur neuen Schwarz-Weiß-Kamera. Dazu wurde mit der neuen Farbkamera, unter sonst gleichen Bedingungen wie beim Referenzbild, die Belichtungszeit so gewählt, dass die Qualität der erhaltenen Aufnahme derjenigen des »Referenzbilds Tageslicht« entspricht (siehe Bilder unten). Diese Qualität erforderte bei der Farbaufnahme $\frac{1}{38}$ Sekunde Belichtungszeit. Sie ist rund zweimal so lang wie beim $\frac{1}{77}$ Sekunde belichteten »Referenzbild Tageslicht«. Somit erreicht die

neue Farbkamera bei Tageslicht rund 50 Prozent der Empfindlichkeit der neuen Schwarz-Weiß-Kamera.

Analog dazu lässt sich im zweiten Beispiel anhand des »Referenzbilds Mond« und einer Mondaufnahme mit der alten Schwarz-Weiß-Kamera die neue mit der alten Kamera vergleichen: Mit einer Belichtungszeit von $\frac{1}{77}$ Sekunde beziehungsweise $\frac{1}{45}$ Sekunde ergeben sich Aufnahmen gleicher Qualität. Die herkömmliche Schwarz-Weiß-Kamera erreicht am Mond also 58 Prozent der Empfindlichkeit der neuen Schwarz-Weiß-Kamera.

Alle hier dargestellten Aufnahmen entstanden ohne Filter. Um das spektrale Verhalten der Kameras zu erkunden, wiederholen wir das Verfahren mit den Filtern Rot (R), Grün (G), Blau (B) sowie mit einem Infrarotpassfilter und einem Infrarotsperrfilter.



Referenzbild Tageslicht:

Neue S/W-Kamera ohne Filter

Neue Farbkamera ohne Filter

Referenzbild Mond:

Neue S/W-Kamera ohne Filter

Alte S/W-Kamera ohne Filter

an: Die neuen »EXview-HAD-Sensoren« erweitern den nutzbaren Spektralbereich vom Optischen bis in das nahe Infrarot und bieten eine höhere Lichtausbeute als die bisherigen Modelle. Den neuen Sensor gibt es als monochrome Version ICX 618 ALA und als Farbversion ICX 618 AQA.

Was bedeuten HAD und EXview?

Das Kürzel HAD steht für »Hole Accumulation Diode« und ist eine patentierte Technik der Firma Sony, die den Dunkelstrom eines CCD verringert. Er entsteht unter anderem dadurch, dass aufgrund der Temperatur des Chips unerwünschte Ladungsträger aus dem Halbleitermaterial der Pixel ausgelöst werden. Im neuen HAD-Sensor gibt es eine Halbleiterschicht, die wie eine Diode wirkt. Sie sammelt durch Störstellen im Material sowie durch Wärme ausgelöste positive Löcher. Als Löcher bezeichnet man Stellen im Halbleiter, an denen ein Elektron fehlt. Springt ein benachbartes Elektron in ein Loch, so wird dieses neutralisiert, und ein neues Loch bildet sich nebenan. Setzt sich dieser Vorgang unter Einwirkung elektrischer Felder gerichtet fort, so entsteht ein Stromfluss aus Löchern, der sich wie ein Elektronen-

strom verhält: die »Löcherleitung« in positiv leitendem Halbleitermaterial, kurz »p-Leitung«. Die von der Halbleiterschicht des HAD-Sensors gesammelten Löcher stehen für die p-Leitung nicht mehr zur Verfügung und können somit nicht mehr zum Dunkelstrom beitragen.

In weiteren Ausbaustufen der HAD-Technologie verringerten die Hersteller nicht nur den Dunkelstrom, sondern auch den Abstand der über den Pixeln angeordneten Mikrolinsen zur lichtempfindlichen Schicht und vergrößerten die lichtempfindliche Fläche. Zudem veränderten sie auch die Form der Linsen derart, dass auch bei der Fotografie mit lichtstarken Kameraobjektiven das unter einem großen Winkelbereich einfallende Licht möglichst voll erfasst wird.

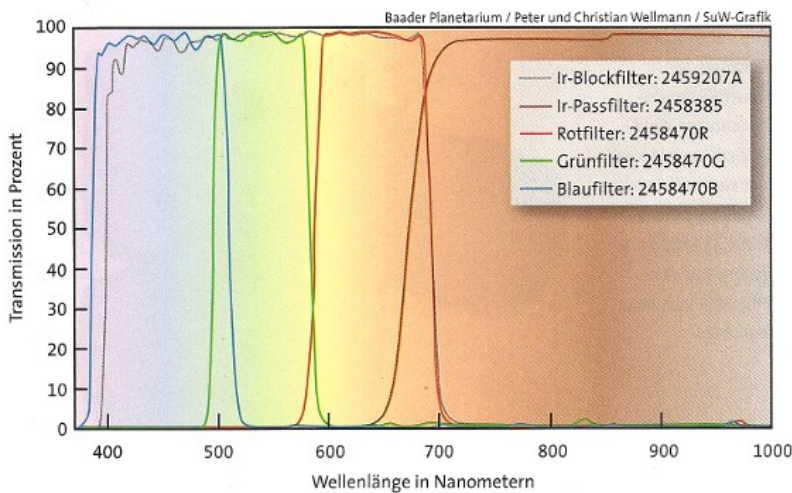
Der Sensor einer Farbkamera erzeugt das Farbbild mit Hilfe von Mikrofiltern. Vor jedem Pixel befinden sich mehrere solcher Filter für die jeweiligen Farben. Eine Matrix aus Gruppen von jeweils einem roten und blauen sowie zwei grünen Filtern (Bayer-Maske) liegt vor den Pixeln der Kamera, aus den entstehenden Grauwerten (RAW-Bild) wird das Farbbild berechnet. Bei den Farb-CCDs der neuen

TIS-Kameras hat der Hersteller die Pigmente in den Filtern der Bayer-Maske gegenüber der älteren Version optimiert.

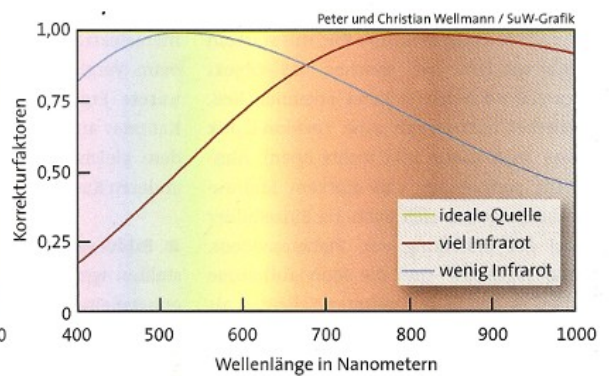
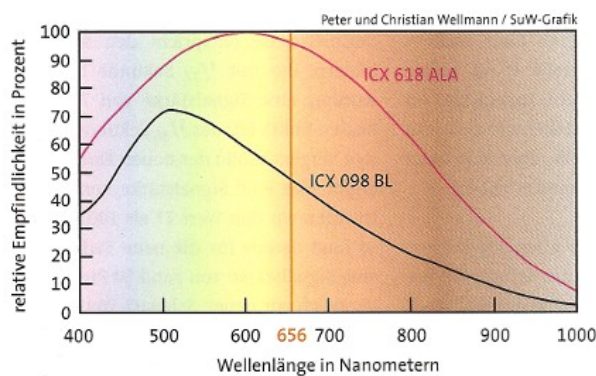
»EXview« ist eine Technik, die den Spektralbereich des vom CCD-Sensor erfassten Lichts in das Nahinfrarote erweitert. Infrarotes Licht löst bei normalen Sensoren die Fotoelektronen in tieferen Schichten des CCD-Sensors aus, aus denen sie mit herkömmlicher Technik nur schlecht gesammelt werden können. EXview löst dieses Problem und sorgt daher für eine enorme Steigerung der Lichtempfindlichkeit im Nahinfraroten. Die Fertigung dieser Sensoren ist jedoch nicht ganz unproblematisch und führt auf dem momentanen Stand der Technik trotz HAD-Technologie zu einem beträchtlichen Dunkelstrom und erheblich mehr Pixelfehlern. Betrachten wir nun die Kameras in der Praxis.

Praktische Erprobung

Da das Licht bei der Planetenfotografie eine kostbare Mangelware ist, stellt sich sofort die Frage nach der Empfindlichkeit der neuen Sensoren in den für Planetenaufnahmen erforderlichen Wellenlängenbereichen. Um diese Frage zu klären,



Die Transmissionskurven der genutzten Baader-Filter veranschaulichen, in welchem Wellenlängenbereich der jeweilige Filter Licht durchlässt. Beispielsweise ergibt sich für den Grünfilter der mittlere Bereich von 495 bis 585 Nanometern. Berechnet man für ein solches Intervall die Flächen unter den Empfindlichkeitskurven des alten und des neuen CCD-Chips (unten links), so ergibt das daraus gebildete Verhältnis die relative Empfindlichkeit der Schwarz-Weiß-Kameras für den gewählten Filter.



Die neue Schwarz-Weiß-Kamera mit dem CCD-Chip ICX 618 ALA ist im gesamten Wellenlängenbereich von 400 bis 1000 Nanometer empfindlicher als das Vorgängermodell mit dem Chip ICX 098 BL. Bei 656 Nanometer ergibt sich ein Verhältnis von 2,05. Den Kurven liegen Daten des Herstellers Sony zugrunde.

Ideale Lichtquellen liefern eine von der Wellenlänge unabhängige Intensität (grüne Linie), bei realen Quellen hängt die Intensität von der Wellenlänge ab (rote und blaue Linie). Die sich daraus ergebenden Korrekturfaktoren müssen für eine reale Lichtquelle in die Kurven links hinein multipliziert werden.

jeweils mehrere Bilderserien – sowohl mit Tageslicht als auch am Mond. Bevor wir uns den Ergebnissen unserer Messungen widmen, betrachten wir, welche Faktoren die ermittelten Kameraempfindlichkeiten beeinflussen. Darauf aufbauend versuchen wir, die relativen Empfindlichkeiten der alten und der neuen Schwarz-Weiß-Kamera rechnerisch abzuschätzen und miteinander zu vergleichen.

Einflüsse auf die ermittelten Kameraempfindlichkeiten

Die Angaben aus den Datenblättern der von Sony hergestellten CCD-Sensoren ermöglichten es uns, Kurven für die Empfindlichkeit der alten und der neuen Schwarz-Weiß-Kamera in Abhängigkeit von der Wellenlänge zu zeichnen (siehe Bild oben links). Vergleichsbilder, die wir durch einen schmalbandigen Interferenzfilter aufnahmen, ergaben für die relative

Empfindlichkeit der beiden Kameras bei der Wellenlänge der H-alpha-Linie von 656 Nanometern einen Faktor 2,05. Damit ließen sich die Kurven zuverlässig gegeneinander kalibrieren.

Mit der im Internet frei verfügbaren Software ImageJ maßen wir nun innerhalb des Durchlassbereichs eines jeden Baader-Filters die Flächen unter den beiden Kurven. Die Durchlassbereiche hatten wir zuvor aus den Transmissionskurven der Filter ermittelt (siehe Bild ganz oben). Das Verhältnis der innerhalb eines Durchlassbereichs berechneten Flächen entspricht dem Empfindlichkeitsverhältnis der Schwarz-Weiß-Kameras für den betrachteten Filter. Für den Infrarotsperrfilter, den Infrarotpassfilter sowie für die Filter R, G und B erhielten wir die Faktoren 1,5, 2,8, 2,0, 1,3 beziehungsweise 1,4. Ohne Filter ergab sich der auf eine Dezimale gerundete Faktor 1,8.

■ **Einfluss der Lichtquelle:** Die von uns ermittelten Kurven der relativen Empfindlichkeit in Abhängigkeit von der Wellenlänge gelten für eine Lichtquelle mit wellenlängenunabhängiger Intensität, doch hiervon ist man in der Praxis fast immer weit entfernt. Somit stellt sich die Frage, inwieweit die berechneten Faktoren für eine reale Lichtquelle gelten. In der Praxis weist das Licht der Sonne, des Mondes und der Planeten bei einer bestimmten Wellenlänge ein Intensitätsmaximum auf. Die Intensität des Lichts nimmt dann um so mehr ab, je weiter die betrachtete Wellenlänge vom Ort des Maximums entfernt ist. Setzt man den Maximalwert der wellenlängenabhängigen Intensität einer Lichtquelle gleich eins, so ergeben sich Kurven für die spektrale Intensitätsverteilung einer realen Lichtquelle, aus denen sich Korrekturfaktoren ablesen lassen (siehe Bild oben).

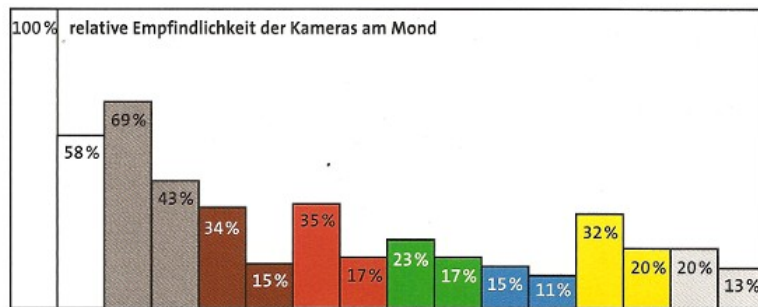
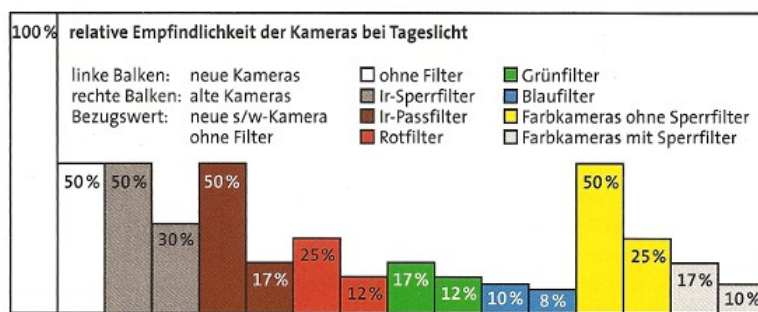
Die Balken stellen paarweise die mit den neuen Kameras gemessenen relativen Signalstärken dar. Ihre in Prozent ausgedrückten Werte beziehen sich auf die mit der neuen Schwarz-Weiß-Kamera ohne Filter gemessene Signalstärke, die gleich 100 Prozent gesetzt wurde. Die neuen Kameras weisen im Vergleich zu den Vorgängermodellen durchweg höhere Signalstärken auf, sowohl bei Tageslicht (Grafik oben) als auch bei Aufnahmen des Mondes (Grafik unten).

Die relativen Empfindlichkeiten konnten wir aus den entsprechenden Kurven herleiten (Bild ganz links). Um die relativen Signalstärken der Kameras für eine betrachtete reale Lichtquelle zu erhalten, müssten wir alle Kurvenwerte mit den für die betrachtete Lichtquelle geltenden Korrekturfaktoren multiplizieren (Bild links). Dieses Verfahren konnten wir jedoch nicht anwenden, da uns die erforderlichen Intensitätsverteilungen für Mond und Planeten sowie für mit Tageslicht beleuchtete Objekte nicht vorlagen.

Beim Vergleich der Signalstärke zweier Kameras innerhalb eines engen Wellenlängenbereichs, wie er zum Beispiel bei den RGB-Filtern gegeben ist, spielt die Unkenntnis der genauen Intensitätsverteilung keine Rolle, da innerhalb solcher schmalen Bereiche der Korrekturfaktor annähernd konstant ist, so dass er sich bei der Bestimmung der relativen Empfindlichkeit zweier Kameras (Verhältnissbildung) herauskürzt. Untersucht man jedoch einen breiteren Frequenzbereich, wie beispielsweise im Fall des Infrarotpassfilters oder beim Betrieb ohne Filter, so können sich Abweichungen ergeben, weil der Korrekturfaktor nun nicht mehr als konstant angenommen werden darf. Somit konnten wir bei dem uns interessierenden Vergleich der in der Praxis tatsächlich zu erwartenden Signalstärken der alten und der neuen Kamera auf die nachfolgend beschriebenen praktischen Messungen nicht verzichten.

Praktische Messungen

Bei unseren Messungen erwarten wir für die drei engen Wellenlängenbereiche R, G und B weitgehend die bereits berechneten Faktoren von 2,0, 1,3 beziehungsweise 1,4. Bei Messungen mit dem Infrarotpassfilter und dem Infrarotsperrfilter sind jedoch wegen der breiteren Wellenlängenbereiche



Abweichungen möglich. Wir betrachten nun die bei Tageslicht und bei Mondlicht mit den alten und neuen Kameras gemessenen Signalstärken und bewerten auf dieser Grundlage den Gewinn für die neuen Kameras, bezogen auf die alten Versionen. Anschließend widmen wir uns den wellenlängenabhängigen Eigenschaften der einzelnen Kameras.

■ **Messungen bei Tageslicht:** Die neue Schwarz-Weiß-Kamera liefert bei Tageslicht ohne Filter eine doppelt so hohe Signalstärke wie die alte Version (siehe Bild ganz oben). Mit eingeschaltetem Infrarotsperrfilter ergibt sich der Faktor 1,7, für den Infrarotpassfilter 2,9, und für die Filter R, G und B ergeben sich die ebenfalls auf eine Dezimale gerundeten Faktoren 2,1, 1,4 und 1,3. Deutliche Abweichungen von den zuvor theoretisch ermittelten Werten ergeben sich bei Tageslicht nur für den Bereich des Infrarotsperrfilters und für Belichtungen ohne Filter. Für die Farbkameras mit Infrarotsperrfilter ergibt der Vergleich der grauen Balken links und rechts im Diagramm eine um den Faktor drei geringere Signalstärke als bei den Schwarz-Weiß-Kameras. Das passt sehr gut, weil jeder der kamerainternen R-, G- und B-Farbfiler nur rund ein Drittel des sichtbaren Spektralbereichs durchlässt. Ohne Sperrfilter erhalten die Kameras noch einen beträchtlichen Infrarotanteil, was zu einem relativ flauen Farbbild führt und einen Weißabgleich etwas problema-

tisch macht. Die neue Kamera ist dann aber um einen Faktor 2 im Vorteil (siehe Bild ganz oben).

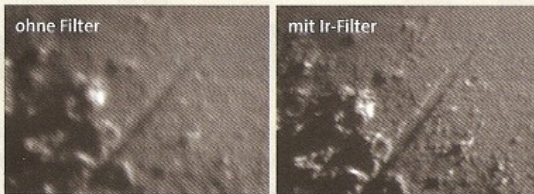
■ **Messungen am Mond:** Wiederholen wir unsere Messungen am Mond, so ergibt sich ohne Filter der auf eine Dezimale gerundete Faktor 100 Prozent/58 Prozent = 1,7 (siehe Bild oben). Für den Infrarotsperrfilter ergibt sich 1,6 und für die Filter Ir, R, G und B ergeben sich die Faktoren 2,3, 2,0, 1,4 beziehungsweise 1,4. Diese Werte stimmen erstaunlich gut mit den zuvor aus den Kurven berechneten Werten überein. Lediglich der Faktor für den Infrarotpassfilter weicht erwartungsgemäß deutlich ab, da der Infrarotanteil des Mondlichts geringer ist als bei unserem mit Tageslicht beleuchteten Objekt, was sich an den grafisch dargestellten Prozentzahlen sehr gut erkennen lässt.

■ **Wellenlängenabhängigkeit einer Kamera:** Will man Aussagen über die für LRGB-Aufnahmen wichtige relative Signalstärke ein und derselben Schwarz-Weiß-Kamera für verschiedene Spektralbereiche gewinnen, so hat natürlich die zuvor erläuterte wellenlängenabhängige Intensität der Lichtquelle zwangsläufig einen erheblichen Einfluss auf das Ergebnis, und eine Herleitung aus den Kurven der relativen Empfindlichkeiten gemäß dem Diagramm ist nicht möglich. Somit sind wir gänzlich auf unsere Messungen angewiesen.

Was bedeuten RGB, LRGB und IrRGB?

Ein Farbkomposit lässt sich aus drei Graustufenbildern erzeugen, die durch Filter im roten (R), grünen (G), und blauen Spektralbereich (B) aufgenommen wurden und die später im Computer zu einem Farbbild verarbeitet werden. Das Herstellen eines solchen RGB-Komposits funktioniert wie beim Fernsehen, wo die Bildpunkte ebenfalls aus diesen drei Farben zusammengesetzt werden. Will man nicht alle dieser drei Farbauszüge in voller Detailschärfe aufnehmen und dennoch ein scharfes Komposit gewinnen, so nutzt man die Tatsache, dass das Auge die Schärfe eines Bildes nicht nach der Farbe (Chrominanz), sondern nach der Hell-Dunkel-Information (Luminanz) bewertet. Der Beobachter belichtet also ein scharfes Graustufenbild, und kombiniert diese Luminanzaufnahme (L) mit der Farbe aus einem unscharfen RGB-Farbbild. Auf diese Weise entsteht ein scharfes LRGB-Komposit.

Ein Vorteil der LRGB-Technik liegt darin, dass sich die Luminanz aus einem Graustufenbild gewinnen lässt, das durch ein Farbfilter aufgenommen wurde, das unter den jeweiligen atmosphärischen Bedingungen die optimale Schärfe liefert. Bei ruhiger Luft könnte dies ein Grünfilter sein, bei sehr unruhiger Luft empfiehlt sich stattdessen ein Infrarotfilter (Ir). In diesem Bereich stört die Luftunruhe das Bild während der Belichtung weniger als bei den kürzeren optischen Wellenlängen. Die Kombination der optischen Aufnahmen mit dem Infrarotbild ermöglicht dann ein brauchbares IrRGB-Komposit. Die Farbinformation bei einem LRGB- oder IrRGB-Komposit kann auch von einer Farbkamera stammen. In diesem Fall sind nur zwei Videos aufzunehmen, was das Verfahren stark vereinfacht. Auf diese Weise entstanden die farbigen Ansichten von Jupiter und Saturn (siehe Bilder ganz unten).



Ein Beispiel für den Schärfegewinn bei großer Luftunruhe zeigen die Aufnahmen des Alpentals auf dem Mond. Die unten wiedergegebenen drei Jupiterbilder belegen, dass eine Farbaufnahme, die unter miserablen atmosphärischen Bedingungen entstand, durch die Kombination mit einem Infrarotbild noch ein brauchbares Farbbild ermöglicht.



Mit den herkömmlichen Kameras von TIS gelangen diese detailreichen Planetenbilder. Das Farbkomposit von Jupiter und seinen Monden besteht aus einem mit der Farbkamera DBK 21AF.AS belichteten Bild und aus einem Graustufenbild, das mit der Schwarz-Weiß-Kamera DMK 21AF.AS im Infraroten belichtet wurde. Das Saturnfoto wurde unter sehr ruhiger Luft allein mit der Farbkamera und einem Infrarotsperfilter aufgenommen.

Wer seine Farbbilder als RGB oder IrRGB erzeugt, konnte unter Tageslicht bei der alten Kamera noch mit einer relativ ausgeglichenen Empfindlichkeit im Verhältnis Ir:R:G:B = 17:12:12:8 rechnen, bei der neuen Schwarz-Weiß-Kamera unterscheiden sich die Werte deutlicher. Das Verhältnis beträgt hier Ir:R:G:B = 50:25:17:10 (siehe Bild auf S. 77 ganz oben). Die Werte liegen alle besser als bei der alten Version, sie zeigen jedoch eine stärkere Tendenz zu ansteigender Empfindlichkeit vom blauen zum infraroten Spektralbereich.

Messungen am Mond zeigen erwartungsgemäß deutlich den Einfluss des geringeren Infrarotanteils im Mondlicht (siehe Bild auf S. 77 oben): Die Verhältnisse lauten für die alte Kamera Ir:R:G:B = 15:17:17:11 und für die neue Kamera 34:35:23:15. Die Transmission der jeweiligen Optik spielt übrigens eine Rolle, die sich unserem Zugriff entzieht. Schon eine nicht neutral vergütete Schmidt-Cassegrain-Optik kann Abweichungen verursachen. Das genaue Verhalten muss also jeder Anwender für seine Optik und das ausgewählte Motiv selbst präzisieren.

Praktische Planetenfotografie

Am eindrucksvollsten kommen Planeten auf farbigen Bildern zur Geltung. Solche Farbaufnahmen gelingen auch mit einer Schwarz-Weiß-Kamera. Dazu nehmen Amateurastronomen einen Planeten nacheinander mit den Filtern R, G und B auf. Hinzu kommt beim LRGB-Verfahren eine so genannte Luminanzaufnahme (L), die nur die Hell-Dunkel-Informationen des Objekts enthält. Im Computer lässt

sich aus diesen Bildern ein Farbkomposit erzeugen (siehe Kasten links). Die neue Schwarz-Weiß-Kamera von TIS eignet sich besonders, so genannte IrRGB-Komposite von Planeten zu erzeugen, bei denen als Luminanzbild eine Aufnahme im infraroten Licht (Ir) verwendet wird. In diesem Spektralbereich stört die Luftunruhe weniger als im optischen, zudem ist die neue Kamera im Infraroten nahezu dreimal so empfindlich wie die alte Version – ein enormer Vorteil.

Wegen der verbesserten Lichtempfindlichkeit, auch bei der Farbkamera, bietet es sich an, die drei RGB-Videos der Schwarz-Weiß-Kamera durch ein einziges Video der Farbkamera zu ersetzen, was die Bildverarbeitung enorm vereinfacht. Wir bauten einen Kameraanschluss für das Teleskop, der einen sekundenschnellen Wechsel von der Schwarz-Weiß-Kamera zur Farbkamera ermöglicht, ohne dass sich die Bilder der Kameras gegeneinander verdrehen oder defokussieren (siehe Bild oben). Später wird dann das mit der Schwarz-Weiß-Kamera aufgenommene Infrarotbild in Photoshop mit der Farbinformation des erzeugten Farbbilds versehen. So entsteht aus einem durch Luftunruhe unscharfen Farbbild und einem scharfen Infrarotbild ein recht ansehnliches Ergebnis, wie es das Beispiel unserer Aufnahme des Planeten Jupiter belegt (siehe Bild auf S. 73 oben).

Bei sehr ruhiger Luft lässt sich auch ein Farbvideo alleine zur Bilderzeugung nutzen. Da der Sensor der Farbkamera jedoch mit einer Bayermaske arbeitet, verringert sich bei dieser Methode die Bildschärfe



Dieser selbst gefertigte Kamerahalter ermöglicht einen sekundenschnellen Wechsel zwischen der Schwarz-Weiß- und der Farbkamera. Zur Anpassung des Verlängerungsfaktors ist im Inneren eine verschiebbare Barlowlinse angebracht.

im Vergleich zur Schwarz-Weiß-Kamera etwa um einen Faktor 1,3 und hinsichtlich der Belichtungszeit, je nach Motiv, bis zu einem Faktor 3. Bereits im Jahr 2007, als wir den Planeten Mars noch mit den Vorgängermodellen der neuen TIS-Kameras ablichteten, belegten wir, dass diese Vorgehensweise ohne die geringste Mühe bei der Bildverarbeitung ein durchaus akzeptables Ergebnis liefert (siehe Bild auf S. 72).

Leider treten solche guten atmosphärischen Bedingungen nur selten ein, und sind sie einmal gegeben, so versucht der Beobachter oft das Maximum an Bildschärfe zu erreichen. Dies lässt sich gewöhnlich nur mit einem LRGB-Komposit erreichen, bei dem das Luminanzbild (L) dann wegen der im langwelligen Infra-

Anzeige

IN DIE UNENDLICHEN WEITEN DES UNIVERSUMS

MIT DEN NEUEN **DOKU-HIGHLIGHTS** VON POLYBAND!

MYSTERIEN DES WELTALLS - Mit Morgan Freeman (Staffel 1)*

STEPHEN HAWKING - GEHEIMNISSE DES UNIVERSUMS*

DAS UNIVERSUM - Eine Reise durch Raum und Zeit*

UNSER UNIVERSUM 3D - Die 7 Wunder des Sonnensystems*

UFO HUNTERS - Die komplette erste Staffel

© 2011 Polyband Medien GmbH

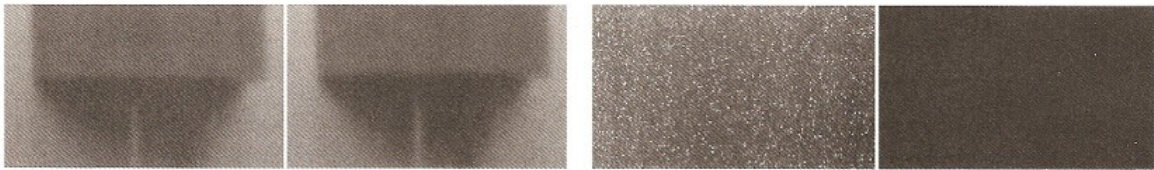
polyband

www.polyband.de

Jetzt bei

www.facebook.com/polyband

Überall erhältlich, wo es gute DVDs und Blu-rays gibt.



Die Einstellung des Gain-Reglers entscheidet nicht primär über die Bildqualität. Die Bilder oben wurden gleich lang belichtet, mit Gain 300 beziehungsweise 900. Nach der Bildbearbeitung ist kein nennenswerter Unterschied sichtbar.

Für die Planetenfotografie eignet sich die neue DMK 21 sehr gut, für die Deep-Sky-Fotografie kommt sie jedoch wegen ihres hohen Dunkelstroms kaum in Betracht. Die mit der neuen Kamera (links) und der alten Kamera (rechts) zehn Sekunden mit 15 fps belichteten Dunkelbilder entstanden bei 22 Grad Celsius.

Verbesserung der Signalstärken bei den neuen Kameras

Gewinn	ohne	Sperr	Ir	R	G	B	ohne	Sperr	Ir:R:G:B	Ir:R:G:B
Rechnung	1,8	1,5	2,8	2,0	1,3	1,4	Farbkameras		DMK21 alt	DMK21 neu
Tageslicht	2,0	1,7	2,9	2,1	1,4	1,3	2,0	1,7	17:12:12:8	50:25:17:10
Mond	1,7	1,6	2,3	2,0	1,4	1,4	1,6	1,5	15:17:17:11	34:35:23:15

roten schlechteren Auflösung der Optik vorzugsweise aus der G- oder R-Aufnahme gewonnen wird.

Bei der Videofotografie von Planeten sollten einige wichtige Dinge nicht vergessen werden. Entgegen anders lautenden Meinungen müssen Planetenaufnahmen für beste Qualität mit einem Öffnungsverhältnis von etwa 3,6 x aufgenommen werden, wobei x die Pixelgröße der Kamera in Mikrometern ist. Für die TIS-Kameras mit $x = 5,6$ ergibt sich ein Öffnungsverhältnis von mindestens 20. Nur unter schlechten Bedingungen und mit einer weniger guten Optik darf das Öffnungsverhältnis bis auf 12 reduziert werden. Praktisch alle renommierten Planetenfotografen halten sich an diese Regel und arbeiten gelegentlich sogar mit Öffnungsverhältnissen von mehr als 3,6 x.

Während der Aufnahme ist es wichtig, kein Licht zu verschenken. Das bedeutet, dass die Rate der Einzelbelichtungen (englisch: *frames per second*, fps) und die Belichtungszeit zueinander passen müssen. Beispielsweise ergibt sich für 15 fps eine Belichtungszeit von $1/15$ Sekunde, bei 30 fps ergibt sich $1/30$ Sekunde. Würden wir bei 30 fps mit $1/60$ Sekunde arbeiten, so wäre die Hälfte des kostbaren Lichts verschenkt! Keinesfalls darf man mit unnötig hoher Framerate arbeiten, denn jedes Auslesen des CCD-Sensors erzeugt Störsignale.

Die Rolle des Gain-Faktors in der Aufnahmesoftware sollte der Beobachter nicht falsch interpretieren: Wichtig für die Bildqualität ist primär die Lichtmenge auf dem CCD und nicht die Stellung des

Gain-Reglers. Ein Reduzieren des Gain-Faktors vermindert zusammen mit dem Nutzsignal auch das Störsignal und führt lediglich zu einem dunkleren Bild am PC-Bildschirm, nicht aber zwangsläufig zu einer reduzierten Bildqualität nach der Bildverarbeitung (siehe Bilder oben links).

Die hohe Empfindlichkeit der Kameras legt es nahe, auch Deep-Sky-Objekte damit zu fotografieren. Leider wird man dabei keine große Freude haben, denn im Gegensatz zu den alten Versionen erzeugen die neuen Sensoren einen beträchtlichen Dunkelstrom und viele Pixelfehler (siehe Bilder oben rechts). Ebenso könnte die hohe Empfindlichkeit im Infraroten dazu verleiten, ohne Filter zu arbeiten. Dies wird aber nur bei Spiegeloptiken möglich sein, weil diese auch ohne Infrarotsperrfilter oft noch scharfe Bilder liefern.

Ein Sprung nach vorne

Bei der Fotografie ohne Sperrfilter ist die neue Schwarz-Weiß-Kamera gegenüber der alten Version bei Tageslicht um einen Faktor 2, bei Mondlicht um 1,7 im Vorteil. Mit einer gegebenen Belichtungszeit erhält der Beobachter im günstigsten Fall Bilder mit einem um den Faktor 1,4 verringerten Rauschen, oder er kann – bei herkömmlicher Bildqualität – die Aufnahmedauer halbieren. Nutzt er ausschließlich den infraroten Bereich, so gewinnt er bei Tageslicht einen Faktor 2,9 und am Mond einen Faktor 2,3 – ein Zuwachs, der ihm das Erstellen von IrRGB-Kompositen erleichtert.

Auch die Empfindlichkeit der Farbkamera hat sich nachweislich verbessert (siehe die roten Werte in der Tabelle oben). Bei Jupiter ergaben sich relative Signalstärken ähnlich wie im Blockdiagramm für den Mond, allerdings mit einem erkennbar reduzierten Infrarotanteil.

Beispielsweise waren für eine ausreichende Bildqualität bei einem Öffnungsverhältnis von 20 die folgenden Mindestbelichtungszeiten erforderlich: Ohne Filter fünf Millisekunden, mit Infrarotpassfilter 17 Millisekunden, bei der Farbkamera mit Infrarotsperrfilter waren es 20 Millisekunden. Insgesamt zeigt sich, dass dem Hersteller mit den neuen Kameras zweifellos ein sehr erfreulicher Sprung nach vorne gelungen ist.



PETER WELLMANN studierte Physik in München und betreibt Astronomie als Hobby. Im Alter von zwölf

Jahren schliff er seine ersten Spiegel mit Originalmaterial des Optikkonstruktors Bernhard Schmidt, das an der Hamburger Sternwarte noch vorhanden war.



CHRISTIAN WELLMANN promoviert im Fach Molekularbiologie an der TU München. Er betrieb das Hobby Astronomie bereits in

sehr jungen Jahren und trat im Oktober 1997 erstmals in Sterne und Weltraum mit einem Bericht über Videoastronomie in Erscheinung.