

**Quantum
Scientific
Imaging, Inc.**



High-End CCD-Technologie



www.QSIimaging.com • www.intercon-spacetec.de/qsi/

Generalvertrieb Deutschland, Österreich und deutschsprachige Schweiz:

Intercon GmbH · Gablinger Weg 9 · D-86154 Augsburg
email@intercon-spacetec.de · Fax 0821-414 085 · Tel. 0821-414 081

INTERCON  **SPACETEC[®]**

The logo for Intercon Spacetec features the company name in a bold, outlined, sans-serif font. A stylized black triangle symbol is positioned between the words 'INTERCON' and 'SPACETEC'.

QSI CCD-Kameras der Serie 500



CCD-Kameras von Quantum Scientific Imaging (QSI) vereinen modernste Technik und intelligentes Design. Die 500er Serie besteht aus mittelgroßen, thermoelektrisch gekühlten CCD-Chips mit sehr hoher Dynamik und extrem niedrigem Rauschen.

Die gesamte Elektronik ist auf höchstmögliche Leistung getrimmt. So ist das Ausleserauschen gegenüber dem Chiprauschen vernachlässigbar klein. Damit bietet sich diese Serie zum Einsatz im wissenschaftlichen Umfeld und natürlich ganz besonders für die Deep Sky Fotografie an. Gleichzeitig sind die QSI-Kameras sehr kompakt und verbrauchen erstaunlich wenig Energie (max. 18W bei Vollast). Die Stromversorgung erfolgt durch eine einzige 12V Gleichspannungsquelle.

Die Modelle der 500er Serie gehen vom monochromen full frame bis zum single-shot color CCD-Chip mit vielfältigen Ausstattungsvarianten: Luft- und Flüssigkeitskühlung, internes Filterrad, Off-Axis-Guider vor dem Filterrad und unterschiedlichste Software. Zusätzlich sind verschiedene Anschlussvarianten erhältlich, sogar für Canon EOS und Nikon Bajonett.

Durch thermoelektrische Kühlung (Peltier Elemente, 12W) lässt sich die Chip-Temperatur um 38 Grad (bei 85% Leistungsaufnahme) gegenüber der Umgebung herunterkühlen (Chipkammer mit Argon gefüllt). Die Lüfter sind nach Bedarf steuerbar und müssen nicht immer in Vollast laufen. Für besondere Einsatzbedingungen gibt es eine optionale Wasserkühlung, die um 45° unter die Umgebung herunterkühlen kann.

In einer typischen Nacht wird man ca. -25°C Chiptemperatur erreichen, was bei KAI 04022 bedeutet, dass man nur rund 10 Dunkelstromelektronen bei 10 min Belichtungszeit einfängt. Damit der



Chip bei diesen kalten Temperaturen nicht beschlägt, sitzt er hinter einem vergüteten, optischen Glasfenster in einer Edelgasatmosphäre. Falls nach langjährigem Betrieb Feuchtigkeit eindringen sollte, lässt sich diese durch eine vom Kunden "wiederaufladbare" Trocknungspatrone entfernen.

Bei Interline Transfer Chips werden die Ladungen nach der Belichtungszeit unter eine abgedeckte Chipfläche geschoben und können dort ausgelesen werden. Das ermöglicht sehr kurze und präzise Belichtungszeiten (0.1ms bis 240min). Ein mechanischer Verschluss wie bei den Full Transfer-Chips wäre eigentlich nicht notwendig, vereinfacht aber das Anfertigen von Dark- und Bias-Bildern. Der Shutter ist für alle Varianten erhältlich. Er benötigt den "Medium Size Body" und wird mit "s" bezeichnet.

Maximale Flexibilität erreicht eine Kamera durch ein eingebautes Filterrad. Es besitzt 5 Positionen für 1.25"-Standardfilter. Dabei ist das Filterrad so dicht über dem Chip, dass es auch bei größeren Öffnungsverhältnissen als f/4.5 zu keiner signifikanten Vignettierung durch die Filter kommt. Der Austausch der Filter ist kinderleicht und nach Wunsch z.B. mit Astronomik-Filtern bestückbar. Das Filterrad benötigt den "Full Size Body". Im Kameranamen erkennen Sie das Filterrad am "w" (wheel).

Das exakte Nachführen der Fotooptik stellt ein hinlänglich bekanntes Problem dar. Dabei bieten sich grundsätzlich zwei verschiedene Lösungsansätze an: Leitrohr und Off-Axis-Nachführung. Die Off-Axis-Methode hat verschiedene Vorteile. Mechanische Verbiegungen der Befestigungen von Fotooptik und Leitrohr spielen keine Rolle mehr. Außerdem sind weniger Gewicht und Equipment notwendig, was nicht zuletzt die Montierung entlastet. Der Nachteil jedoch ist, dass man nur ein kleines Gesichtsfeld besitzt. Häufig fällt es schwer, einen passenden Leitstern zu finden. Wenn dann zusätzlich noch der Autoguider hinter einem engbandigen Filter liegt, wird die Leitsternsuche beschwerlich. Deshalb haben sich die Ingenieure von QSI folgende Lösung ausgedacht. Bei den "g"-Varianten (Guider) gibt es ein vor dem Filterrad liegendes Prisma, das einen kleinen Teil des Strahlengangs herauspiegelt. Dort lässt sich dann jeder Autoguider mit 12.5mm Backfocus und CS-Mount oder T2-Gewinde anschließen (Meade DSI Pro II, Fishcamp Starfish, Starlight Express Lodestar, Orion Starshoot Autoguider ...).

Ein montierter Fokusring erlaubt das präzise Einstellen des Fokus und gleichzeitig die Rotation des Autoguiders. Die "g"-Varianten benötigen den größten Kamerakorpus, den "OAG Body".



Die Kommunikation mit einem Rechner erfolgt über eine schnelle USB 2.0 Verbindung. Der begrenzende Faktor ist das Auslesen des Chips selbst. Je schneller ein CCD-Chip ausgelesen wird, desto größer wird das Rauschen. Da Rauschen aber genau das ist, was man in diesem Bereich der CCD-Fotografie vermeiden möchte, wird man die Auslese-rate gering halten. Der Download kompletter Bilder dauert demnach bis zu 20 Sekunden. Natürlich lassen sich die Download-Zeiten durch Subframes zum Teil erheblich verringern. Technisch bedingt geht das bei den Interline-Chips noch viel schneller als bei den Full-Frame-CCDs.

Neben dem USB2.0-Port besitzen alle QSI-Kameras einen Guider-Control-Port mit integrierter Relaisbox, die ein Kabel zur Montierung einspart.



Typischerweise wird man auf bekannte Software wie z.B. Maxim DL, CCD-Soft oder Astroart aufbauen, für die Treiber mitgeliefert werden. Wer für bestimmte Zwecke eigene Software schreiben will, kann unter Windows auf ein ASCOM-kompatibles API zurückgreifen und unter Linux auf eine C++-Bibliothek.

In der umfangreichen Zubehörliste findet der Anwender Anschlüsse für unterschiedlichste Aufgaben, darunter auch das Canon EOS-Bajonett. Damit wird es möglich, Fotoobjektive an die Kamera anzuschließen. Wer auf Flüssigkeitskühlung wegen der geringeren Chip-Temperaturen umrüsten will, findet auch hier das notwendige Equipment.



Die Kamerabezeichnungen der 500er Serie von QSI

Allein die Bezeichnung einer QSI-Kamera liefert schon einen sehr guten Aufschluss über die Ausstattung jeder einzelnen Kamera. Jede Bezeichnung besteht aus einer Nummer und einer Buchstabenkombination.

Die erste Ziffer bezeichnet natürlich die Serie, in diesem Fall also "5". Die beiden nächsten Ziffern liefern Aufschluss über die Anzahl der Pixel des jeweiligen CCD-Chips. Die 532er hat also einen CCD-Chip mit 3.2 Megapixel.

Die Buchstaben haben die folgende Bedeutung:

- i Interline Transfer Chip ohne Shutter (nur 520i und 540i)
- c Single Shot Farb-CCD mit Bayer-Muster (color)
- s Shutter, mechanischer Verschluß
- w Filterrad (wheel)
- g Off-Axis Guider, Kamera hat Prisma

Somit ist leicht zu "übersetzen", was eine 532wsg darstellt: Eine Kamera der Serie 500 mit 3.2 Megapixel-Chip, mit Filterrad, mechanischem Shutter und dem Off-Axis Guider Modul.

Gehäusegrößen

Die Gehäuseformen haben immer die gleiche Grundfläche, unterscheiden sich aber in der "Länge", je nach eingebautem Equipment. Die Gehäuseform beeinflusst also den Backfocus ganz entscheidend und ist somit in die Planung der Kamera mit einzubeziehen. Die Grundfläche der Kameras beträgt immer 113x113mm, die Länge variiert von 43mm bis 62mm. Nicht einberechnet sind hier die unterschiedlichen, verfügbaren Anschlüsse.

Slim Body

Er hat die kleinste Gehäuselänge und mithin den kleinsten Backfocus. Ab dem Gehäuse werden nur 9.9mm Lichtweg benötigt, beim häufig benutzten T2-Anschluss 15.5mm. Der Slim-Body wird dort eingesetzt, wo man auf den mechanischen Shutter verzichten kann. Zwangsläufig finden sich deshalb im Slim Body ausschließlich Interline Transfer Chips, die mit ihrem "elektronischen Verschluss" sehr präzise Belichtungszeiten bis hinunter zu 1/10.000s liefern können. Ohne mechanischen Shutter kann es dafür im Einzelfall umständlich werden, Dunkelstrombilder zu gewinnen, weil man die Kamera völlig lichtdicht bekommen muss. Die kleinste Gehäuseform spiegelt sich auch im Gewicht wieder. Ein Slim Body wiegt nur rund 740g

Medium Size Body

In dieser Gehäuseform findet ein mechanischer Verschluss Platz. Deshalb darf in diesen Gehäusen auch ein Full Transfer Chip sitzen. Aber auch Interline Transfer

Chips profitieren durch die bequemere Gewinnung von Dunkelstrombildern. Da ein mechanischer Verschluss viel langsamer ist als ein "elektronischer", sind die minimalen Belichtungszeiten auf 0.03s begrenzt. Der Medium Size Body wiegt 950g und benötigt bei T2-Anschluss 22.9mm Backfocus.

Full Size Body

Neben einem mechanischen Shutter findet im Full Size Body auch ein Filterrad für 5 Filter der Größe 1.25" Platz. QSI hat dabei das Filterrad extrem dicht über den Chip gesetzt, sodaß selbst bei sehr schnellem Öffnungsverhältnis die Filter die eingebauten Chips nicht vignettieren.

Diese knappe Bauweise macht sich dann auch im erstaunlich geringen Backfocus bemerkbar. Selbst mit Filterrad und mechanischem Shutter benötigt die Kamera ab dem T2-Gewinde nur 35.6mm. Das Gesamtgewicht (ohne Filter) schlägt mit 1120g zu Buche.

OAG Body

Zusätzlich zum Filterrad und dem mechanischen Shutter besitzt dieser Korpus noch ein relativ großes 1/2"-Prisma, um seitlich Licht für einen Off-Axis Guider zur Verfügung zu stellen.

Dabei ist die knappe mechanische Bauweise wieder verantwortlich, dass es selbst bei schnellem Öffnungsverhältnis keinerlei Vignettierung auf dem Chip gibt. Der notwendige Backfocus steigt auf nur 48.3mm ab dem T2-Gewinde. Trotzdem sind mit dem OAG-Body keine Foto-Objektive mehr auf Unendlich zu fokussieren. Das Gewicht des OAG-Body bleibt mit 1300g erstaunlich gering.

| Body Size | Slim | Medium | Full | OAG |
|---------------------------------|--------------|------------|------------|------------|
| Verschluss | elektronisch | mechanisch | mechanisch | mechanisch |
| internes Filterrad | nein | nein | ja | ja |
| Gehäusegröße [mm] | 113x113x43 | 113x113x51 | 113x113x64 | 127x113x78 |
| Gewicht [g] | 740 | 950 | 1120 | 1350 |
| Backfocus ohne Anschluss [mm] | 9.9 | 17.3 | 30.0 | 42.7 |
| Backfocus mit T2-Anschluss [mm] | 15.5 | 22.9 | 35.6 | 48.3 |
| Backfocus für Foto-Objektive | ja | ja | perfekt | nein |

Die Features von QSI-Kameras im Einzelnen

Teleskopseitige Anschlüsse

Teleskopseitig gibt es eine Vielzahl verschiedener Anschlussvarianten. Als Adapterplatten stehen zur Verfügung:

- Adapterplatte T2 für alle Modelle
- Adapterplatte STL für OAG-Modelle
- C-Mount Typ I Adapter für Slim-Size-Body
- C-Mount Typ II Adapter für Medium Size Body
- Canon EOS SLR-Objektiv-Adapter für Full Size Body
- Nikon F SLR-Objektiv-Adapter für Full Size Body

Sowohl der Nikon als auch der Canon Objektiv-Adapter benötigen als Basis die T2-Adapterplatte. Grundsätzlich könnten die C-Mount- und Objektiv-Adapter an jeder Gehäusegröße angegeschlossen werden, nur wird dann der spezifizierte Fokusabstand nicht erreicht. C-Mount-Objektive z.B. sind für einen Backfokus von 17.5mm gerechnet, der nur in der Kombination Type I mit Slim Body oder Typ II mit Medium Size Body eingestellt wird.

Ähnliches gilt für die Objektiv-Adapter. Nur auf dem "ws" Full Size Body wird der korrekte Abstand erreicht, um das Objektiv im gewünschten Entfernungsbereich zu fokussiert.

Der OAG-Body (wsg-Cover, Filterrad, Shutter, Guider Port) hat im Gegensatz zu den anderen Gehäusegrößen das 1/2"-Prisma seitlich des Strahlengangs. Damit das Prisma vom Gewinde- oder Steckanschluss nicht abgeschattet wird, ist es empfehlenswert, den vom Hersteller ohne Aufpreis erhältlichen 2.156"-Adapter (STL-Gewinde) zu verwenden. Außerdem liefert der Hersteller hier einen speziellen 2"-Adapter auf 2.156", der das Prisma nicht vignettiert.

Filterrad

Das interne Filterrad der 500er Serie, erhältlich in Modellen mit der Erweiterung "ws" und "wsg", nimmt bis zu fünf austauschbare 1.25"-Filter auf. Das Filterrad macht die Kamera und den Backfokus nur ca. 1cm länger. In manchen Fällen mögen 5 Filter zu wenig sein. Deshalb hat QSI die Möglichkeit vorgesehen, das Filterrad komplett auszutauschen. Ersatz-Filterradscheiben kann man nachbestellen.

Anschlüsse an die Kamera

Die Anschlußbleiste ist in das Gehäuse eingelassen und die Stecker befinden sich seitlich an einer Kameraseite. Die Kabelführung im rechten Winkel zur optischen Achse vermeidet eine unnötige Knickbelastung. Zwei Bohrungen auf der Rückseite nehmen eine optionale Zugentlastung auf, die sowohl die elektrischen Anschlüsse als auch die Schläuche der (ebenfalls optionalen) Wasserkühlung vor Abriss schützt.

QSI-Kameras werden ausschließlich von einer 12V Gleichspannungsquelle versorgt und benutzen so die gleiche Stromversorgung wie die meisten Montierungen.



Luft- und Wasserkühlung

Durch die Argon Füllung in der Chip-Kammer ist die thermoelektrische Kühlung in der Lage, einen Temperaturunterschied von 38° zu erzielen (bei 85% der max. Stromaufnahme).

Wenn die Kamera aber statt bei nächtlichen, kühlen Temperaturen in einem geheizten Labor oder in einem geschlossenen Gehäuse benutzt werden soll, kann die erzielbare Chiptemperatur noch zu hoch für Langzeitbelichtungen sein. Deshalb ist es bei den QSI-Kameras möglich, durch einen nachrüstbaren Flüssigkeitswärmetauscher die Wärmeabgabe zu unterstützen und damit die Chiptemperatur weiter zu senken. Durch eine solche Flüssigkeitskühlung steigt die erzielbare Temperaturdifferenz auf ca. 45°. Sollte auch das noch nicht ausreichen, kann man die durchgepumpte Flüssigkeit vorkühlen.

Die Kühlrippen sind ein integraler Bestandteil des Kameragehäuses, die Lüfter sind in das Gehäuse eingelassen. Das ganze Kühlsystem sitzt innerhalb der Kamera und es gibt keine hervorstehenden Teile, an denen sich Kabel verfangen könnten. Die effiziente Wärmeabgabe sorgt auch für einen geringen Stromverbrauch. Wer weniger Kühlleistung benötigt, kann die steuerbaren Lüfter auch ganz abschalten.



Trocknung

Der CCD-Chip sitzt hinter einem vergüteten, optischen Fenster in einer Kammer mit trockener Edelgasatmosphäre. Das ist notwendig, weil sich bei der Abkühlung sonst Feuchtigkeit am Chip und am Schutzglas niederschlagen würde. Da eine CCD-Kammer nicht absolut abgedichtet werden kann, müsste die Kammer nach jahrelangem Betrieb mit neuem Edelgas geflutet werden. Deshalb sitzt von der Kammer über eine halbdurchlässige Membran getrennt eine vom Benutzer wiederaufladbare Trockenpatrone, die sämtliche Feuchtigkeit von der CCD-Kammer fernhält. Dadurch verlängern sich die Intervalle bei denen eine erneute Spülung der CCD-Kammer mit Edelgas notwendig ist, oder sie wird sogar völlig überflüssig.

Kompakt & leicht

Eine kompakte Größe und ein kurzer Backfocus werden um so wichtiger, je länger der optische Anbau am Okularauszug wird. Geringes Gewicht und schlankes Design der QSI-Kameras sorgen für eine deutlich geringere Belastung des Okularauszugs und letztlich der gesamten Mechanik, was wiederum der Stabilität zu Gute kommt.

Shutter

Der mechanische Shutter der 500er Serie (Modellzusatz "s") ist auf Langlebigkeit und Flexibilität getrimmt. Die MTBF (Mean Time between Failures) beträgt nominell 1. Mio. Zyklen. In einem Testaufbau hat der Hersteller die Verschlüsse bis 4 Mio. Zyklen ohne Ausfall getestet. Die Steuerelektronik für den Shutter (Verschlusszeiten von 30 ms bis 240 min) und das optionale Filterrad sitzen direkt auf der Trägerplatte was die Dicke des gesamten Aufbaus minimiert.

Integrierter Off-Axis-Guider

QSI Kameras können mit dem sogenannten Guider Port ausgerüstet werden. Es handelt sich dabei um ein vergrößertes, sprich längeres "Cover" mit einem Prisma im Strahlengang, das für Nachführzwecke (Autoguiding) einen kleinen, ungenutzten Teil des Lichtes nach außen spiegelt. Den Guider Port bekommt man entweder gleich in der Grundausstattung der Kamera oder man kann ihn jederzeit nachrüsten. Wichtig für Leute, die mit Foto-Objektiven arbeiten wollen: Das längere Cover mit Prisma benötigt mehr Lichtweg. Ein Foto-Objektiv lässt sich zusammen mit dem OAG-Gehäuse nicht mehr auf Unendlich scharfstellen.

Die Konstruktion mit dem Prisma bietet jedoch entscheidende Vorteile gegenüber anderen Autoguider-Lösungen. Zum einen sitzt das Prisma immer vor dem Filterrad. Der Lichtstrom auf den Autoguider wird nicht durch den Filter begrenzt. Andernfalls könnte die Leitsternsuche zur Qual werden, so wie das bei der Methode mit separaten Nachführchip passieren kann. Zum anderen kann der nach dem Prisma folgende Autoguider (fast) beliebig gewählt werden und gegen leistungsfähigere einer neuen Generation ausgetauscht werden (Kompatibilitätsliste siehe unten). Nicht zuletzt lässt sich das Cover bei Bedarf austauschen, was bei einer kritischen Fokussage notwendig sein könnte (Fotografie mit Foto-Objektiven).

Das 1/2" große Prisma ist so dimensioniert, daß es den Strahlengang nicht vignettiert, auch bei Teleskopen mit kurz-brennweitigem Öffnungsverhältnis nicht.

Dadurch, daß das Prisma bei QSI in die Kamera verlagert wurde, ist der Verlust an Lichtweg minimal und gleichzeitig kann es keine Probleme mit der Stabilität von zusätzlichen Anschlüssen geben.

Damit das Prisma selbst nicht beschattet wird, sollte der Anschluss ans Teleskop entweder über das 2.156" STL-Gewinde erfolgen oder den QSI-Adapter von 2.156" auf 2"-Steck. Trotzdem lässt sich an dieser Stelle mit kleinen Einschränkungen in der Ausleuchtung auch mit dem normalen T2-Gewinde operieren.

Der Autoguider darf er nicht mehr als 12.5mm Backfocus benötigen, um am Guider Port scharfgestellt werden zu können. Das klingt zunächst recht wenig, aber wenn der Autoguider für CS-Mount spezifiziert ist, dann passt die Fokussage automatisch. Übrigens ist das CS-Mount Gewinde absolut identisch mit C-Mount. Die beiden Spezifikationen unterscheiden sich nur im Auflagemaß (Backfocus). Für CS-Mount beträgt das Auflagemaß 12.5mm, für C-Mount 17.5mm. Wenn die potentielle Nachführkamera für C-Mount vorgesehen ist, dann sollte man prüfen, ob an der Kamera nicht ein 5mm Gewinding installiert ist, der sich entfernen lässt.





Optional kann man statt dem C-Mount-Gewinde auch T2 als Anschluss bekommen. Auch hier gilt, dass der Autoguider nicht mehr als 12.5mm Backfocus benötigen darf.

Der knappe Platz an dieser Stelle lässt verständlicherweise keine aufwendige Fokusmechanik für den Autoguider zu. Aber QSI hat eine robuste und stabile Adaption kreiert, die selbstverständlich auch die Rotation des Autoguiders zulässt, damit man ihn parallel zu den Koordinatenachsen ausrichten kann. Der Anschlussring mit C-Mount- und T2-Gewinde sitzt auf einer Ringschwalbe auf

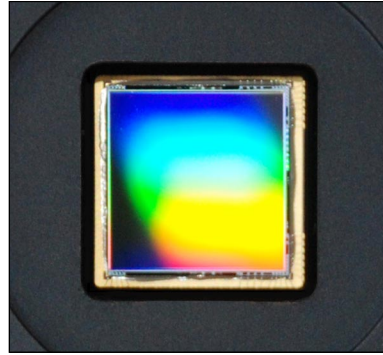
dem eigentlichen Fokusring. Die Ringschwalbe wird durch außenliegende Maden geklemmt. Der Fokusring selbst bietet einen Weg von 3mm für die Fokussierung. Geändert wird die Fokussierung, indem man den Anschlussring entfernt und die darunter liegenden Fokusschrauben bedient. Diese Vorgangsweise mag umständlich erscheinen, aber die Fokussierung muss schließlich nur ein einziges mal durchgeführt werden. Anschließend bleibt die Fokusslage konstant und muss nicht mehr verändert werden. Auch bei der Rotation des Autoguiders bleibt die Fokusslage erhalten.

Passende Autoguider für den Guider Port

| | | |
|----------------------------|---------|-------------------------------------|
| Meade DSI Pro I, II, III | T-mount | Benötigt speziellen Adapter |
| Starlight Express Lodestar | C-mount | |
| Orion Starshoot Autoguider | T-mount | |
| Orion Starshoot Imager II | T-mount | |
| The Imaging Source cameras | C-mount | Wird von MaxIm DL nicht unterstützt |

Die CCD-Chips in der 500er Serie von QSI

Der Preis eines CCD-Chips orientiert sich ganz wesentlich an seiner Fläche. In der 500er Serie kommen mittelgroße und damit noch einigermaßen "bezahlbare" CCD-Chips zum Einsatz. Kein Chip ist letztlich so groß, dass der Einsatz von 2"-Filtern notwendig wäre. Das ist auch dem Umstand geschuldet, dass QSI die Filterräder in den CCD-Kameras sehr dicht über den Chips sitzen hat. QSI verwendet in seiner 500er-Serie ausschließlich CCD-Chips vom namhaften Hersteller Kodak. Alle CCD-Chips besitzen eine sehr hohe Quantenausbeute und ein Empfindlichkeitsspektrum von 350nm bis 1000nm. Neben einem sehr geringen Dunkelstrom haben diese Chips außerdem eine sehr hohe Dynamik, was nicht zuletzt auch auf die erstklassige Elektronik um dem Chip herum zurückzuführen ist.



| QSI-Modell | ~Pixel | |
|------------|--------|-----------|
| 504 | 400K | 768x512 |
| 516 | 1.6M | 1536x1024 |
| 520 | 2.0M | 1600x1200 |
| 532 | 3.2M | 2184x1472 |
| 540 | 4.0M | 2048x2048 |
| 583 | 8.3M | 3326x2504 |

Die Bezeichnung jeder einzelnen Kamera gibt Aufschluss über die Anzahl der Pixel des eingebauten CCD-Chips. Die 504er-Serie z.B. beinhaltet einen 0.4 Megapixel-Chip, die 520er einen 2 Megapixel-Chip usw. Insgesamt gibt es sechs verschiedene Chip-Größen:

Jede der Chipgrößen könnte nun in verschiedenen Versionen vorliegen: Interline Transfer, Full Frame und sogar in Farbe oder SW. Aber nicht jede Kombination ist erhältlich. Letztendlich gibt es neun verschiedene Kodak-Chips, die in der 500er-Serie verbaut werden.

Die verwendeten Kodak CCD-Chips in der 500er-Serie

| QSI | Kodak Modell | Pixel | Chip Größe [mm] | Pixel Kapazität [µm] | Rauschen [e ⁻] | Anti-blooming |
|------------------------|--------------|-----------|-----------------|----------------------|----------------------------|---------------------|
| Full Frame, monochrome | | | | | | |
| 504 | KAF-0402ME | 768x512 | 6.91x4.6 | 9 | 100,000 | <15e ⁻ N |
| 516 | KAF-1603ME | 1536x1024 | 13.8x9.2 | 9 | 100,000 | <15e ⁻ N |
| 532 | KAF-3200ME | 2184x1472 | 14.85x10.26 | 6.8 | 55,000 | <8e ⁻ N |
| 583 | KAF-8300 | 3326x2504 | 17,96x13,52 | 5,4 | 25.500 | <8e ⁻ J* |
| (* auf Wunsch auch N) | | | | | | |
| Full Frame, RGB | | | | | | |
| 583c | KAF-8300 | 3326x2504 | 17,96x13,52 | 5,4 | 25.500 | <8e ⁻ J |
| Interline, monochrome | | | | | | |
| 520 | KAI-2020M | 1600x1200 | 11.84x8.88 | 7.4 | 45,000 | <8e ⁻ J |
| 540 | KAI-04022 | 2048x2048 | 15.15x15.15 | 7.4 | 45,000 | <8e ⁻ J |
| Interline, RGB | | | | | | |
| 520c | KAI-2020CM | 1600x1200 | 11.84x8.88 | 7.4 | 45,000 | <8e ⁻ J |
| 540c | KAI-04022C | 2048x2048 | 15.15x15.15 | 7.4 | 45,000 | <8e ⁻ J |

Grundsätzliches zum Thema CCD

Quantenausbeute

In der Astronomie und in vielen anderen wissenschaftlichen Bereichen wird verständlicherweise die Quantenausbeute oder Quanteneffizienz (QE) als eines der wichtigsten Kriterien eines CCD-Chips genannt. Dass die Hersteller seit einiger Zeit die QE freizügig bekannt geben, ist nicht selbstverständlich. Lange Zeit wurde sie wie "verbotene Ware" unter dem Ladentisch gehandelt. Viel häufiger fand man früher die sogenannte relative spektrale Empfindlichkeit dokumentiert, also eine Angabe die die Empfindlichkeit eines CCD-Chip über die verschiedenen Wellenlängen normiert auf "1" angab.

Bei Kodak zumindest gibt es inzwischen aber exakte Datenblätter auch mit Angaben zur Quanteneffizienz. Neben dem Maximum der Quanteneffizienz ist aber genauso deren spektraler Verlauf interessant und aussagekräftig. Eine hohe QE im Roten würde nichts bringen, wenn man RGB-Aufnahmen machen möchte und gleichzeitig eine sehr niedrige Empfindlichkeit des Chips im Blauen hätte.

Die eingesetzten Chips haben die maximale QE bei 450nm oder 750nm, näheres steht im Kodak-Datenblatt der einzelnen Modelle. Prinzipbedingt läuft

die QE jenseits von 1000nm gegen Null. Bei diesen Wellenlängen wird das Silizium der CCD-Chips durchsichtig.

Kürzere Wellenlängen als ca. 350nm werden von den meisten Gläsern absorbiert. Da der Astrofotograf mit seinem Chip praktisch immer hinter irgendeiner Linse sitzt und sei es nur der Komakorrektor für den Newton, spielen kürzere Wellenlängen als 350nm praktisch keine Rolle. Auch das Schutzglas vor dem Chip darf nicht ganz vernachlässigt werden, aber das reicht immerhin herunter bis ~300nm.

Ideal wäre eine QE von nahe 100%, aber das ist momentan nur mit sehr aufwendiger Fertigungstechnik zu erzielen. Die maximale QE von über 80% beim KAF-3200ME ist enorm. Bei den CCD-Chips mit Bayer-Filter vor den Pixeln muss man prinzipbedingt kleinere QE in Kauf nehmen. Trotzdem wären auch hier die QE von 40-50% nicht erzielbar, wenn der Hersteller nicht mit Mikrolinsen die Photonenausbeute erhöhen würde.

Trotzdem sollte aber auch klar sein, dass eine gute QE allein nicht ausreicht. Das worauf es eigentlich ankommt, ist das sogenannte Signal-Rauschverhältnis (SNR). Es nützt also nichts, wenn zwar das Signal hoch ist, jedoch das Rauschen die Signalqualität zunichte macht.



QSI 540



QSI 583

Rauschquellen gibt es viele und einige davon sollen noch besprochen werden. Zumindest sei hier noch erwähnt, dass jeder Chip ein intrinsisches Elektronenrauschen besitzt, das man auch durch eine noch so perfekte Elektronik um den Chip herum nicht beeinflussen kann.

Blooming

Jeder Pixel kann nur eine begrenzte Anzahl von Elektronen aufnehmen, bevor der Potentialtopf sprichwörtlich überfließt. Im Fachjargon nennt sich das Maximum der Aufnahmefähigkeit die "Full Well Capacity" (FWC) und das Überfließen ist das "Blooming". Letzteres lässt sich durch ein geeignetes Chip-Design durch die sogenannten Anti-Blooming Gates zum großen Teil verhindern. Leider kosten diese Strukturen etwas lichtsammelnde Fläche auf dem Chip und die Empfindlichkeit des Chips wird kleiner. Außerdem bewirken die Anti-Blooming Gates, dass Signal- und Photonenstrom nahe der Sättigung nicht mehr linear sind. Im wissenschaftlichen Umfeld verzichtet man deshalb meist auf Anti-Blooming, im Consumer-Bereich ist es unerlässlich. Auch in der Astrofotografie verwendet man gerne Chips mit Anti-Blooming und verzichtet lieber auf den letzten Tick Empfindlichkeit. "Bloomende" Sterne ruinieren die Gesamtästhetik und nur durch erhöhten Nachbearbeitungsaufwand ist der Effekt einigermaßen zu korrigieren. Bei modernen Chips wird ohnehin ein Teil der durch die Anti-Blooming Gates verursachten Verluste durch eine Mikrolinsenarchitektur wettgemacht.

Grundsätzlich wäre auch bei der FWC "mehr = besser", aber wie immer hat auch das seine Grenzen. Die Fähigkeit Elektronen zu sammeln, ist im wesentlichen eine Frage der Größe. Kleine Potentialtöpfe können nur wenig Elektronen halten und umgekehrt. Je

mehr Elektronen so ein Pixel verträgt, umso größere Helligkeitsunterschiede könnte die Elektronik verarbeiten. In den meisten Fällen ist es den Astronomen jedoch wichtiger zu fragen, welche schwachen Signale noch registriert werden und nicht welche Helligkeitsunterschiede ohne Überlauf verarbeitet werden können. Der technische Begriff hierfür ist das Signal-Rausch-Verhältnis oder kurz SNR.

Signal-Rausch-Verhältnis

Bildgebende Sensoren unterliegen naturgemäß Beschränkungen in ihrer Leistung. Um das zu verstehen und auch um solche Sensoren miteinander vergleichen zu können muss man die elementaren Begriffe Signal und Rauschen verstanden haben. Als Signal kann man bei einem CCD-Chip einfach den Photonenstrom der Lichtquelle bezeichnen und als Rauschen physikalisch und technisch bedingte, hoffentlich statistisch verteilte Störungen des Signals.

Interessante Aussagen über die Qualität eines Bildes oder auch der CCD-Kamera liefert nun der Vergleich zwischen dem Signal und dem Rauschen, das sogenannte Signal-Rausch-Verhältnis (SNR im Englischen). Damit man überhaupt von einem Signal sprechen kann und nicht einer statistischen Schwankung zum Narren fällt, sollte das SNR mindestens 3 betragen. Das wären im unserem Fall die schwächsten Sterne, die gerade noch nachweisbar in einem Bild wären. Bei einem SNR von 10 sieht ein Bild schon halbwegs vernünftig aus und bei einem SNR von 100 wird es glatt.

Es gibt drei wesentliche Quellen des Rauschens in einem CCD-Chip:

- Photonenrauschen
- Thermisches Rauschen / Dunkelstrom
- Ausleserauschen

Das Photonenrauschen liegt in der Natur der Sache und ist unabänderlich. Es bleibt also noch das thermische Rauschen und das Ausleserauschen an dem die Hersteller wesentlichen Einfluss nehmen können. Durch eine geeignete und präzise Kühlung lässt sich das thermische Rauschen vergleichsweise einfach in den Griff bekommen.

Beim Ausleserauschen wird es etwas komplizierter. Das setzt sich aus dem Rauschen des eigentlichen CCD-Chips und vielen anderen Rauschquellen interner, elektronischer Natur (z.B. AD-Wandler) zusammen. Am CCD-Chip selbst kann nur der Produzent (bei QSI ist das Kodak) etwas ändern und für die interne Elektronik ist QSI verantwortlich. Neben der Problematik, die Rauschanteile der Elektronik möglichst gering zu halten, sollte dieser Anteil möglichst statistisch verteilt sein. Denn nur ein statistisch verteiltes Rauschen mittelt sich bei der Addition von Aufnahmen. Andernfalls gibt es Strukturen im Bild, die schwache Details überdecken können. Das Ausleserauschen ist also wohl der wichtigste Unterscheidungspunkt zwischen verschiedenen Herstellern, wenn es um die Detektierung schwacher Signale geht.

Ein einfaches Beispiel: Wir haben zwei CCD-Kameras mit dem exakt gleichen Chip. Die eine Kamera produziert ein Ausleserauschen von $8e^-$, die andere ein Ausleserauschen von $12e^-$. Um das gleiche Signal-Rausch-Verhältnis zu produzieren, muss man mit der zweiten Kamera 1.5mal so lange belichten wie bei ersterer. Neben der längeren Belichtungszeit gibt es aber noch andere Nachteile, die damit zusammenhängen. Zunächst indirekt über die Zunahme von Fehlerquellen (Montierung, Seeing ...), sodann aber auch direkt in einer Abnahme der Dynamik im Bild.

In einem ausführlichen Artikel in der Zeitschrift "Astronomy, Technology

Today" vom Februar 2008 hat Richard Berry, ein bekannter CCD-Guru, eine QSI 532ws in dieser Hinsicht ausführlich unter die Lupe genommen. Die Analyse zeigte, dass die QSI-Elektronik keinen nachweisbaren Rausch-Term zum eigentlichen Chip-Rauschen hinzufügt. Die Kameraelektronik rauscht also wesentlich geringer als der Chip selbst. Mindestens genauso wichtig ist die Erkenntnis, dass damit das Rauschen einer QSI-Kamera absolut statistisch erfolgt (Gauss-Verteilung). Die Möglichkeit das Signal-Rausch-Verhältnis durch Bildaddition zu verbessern ist also nicht durch die Kameraelektronik begrenzt.

Dunkelstrom

Eine der wichtigsten Rauschquellen ist der sogenannte Dunkelstrom. Glücklicherweise kann man diese Art von Rauschen vergleichsweise einfach in den Griff bekommen.

Der Dunkelstrom ist ein Effekt, der prinzipbedingt in jedem lichtempfindlichen Halbleiter auftritt. Dabei werden im Halbleitermaterial hauptsächlich durch Wärmebewegung freie Elektronen erzeugt, die in den Potentialtöpfen der Pixel eingefangen werden. Es ist nicht möglich zwischen den Elektronen zu unterscheiden, die durch Photonen erzeugt wurden und Elektronen, die aus dem Material in den Potentialtopf gewandert sind. Durch geeignete Dotierung kann man den Dunkelstrom in einem Chip reduzieren, aber nicht komplett beseitigen. Da die Wärmebewegung eine wesentliche Quelle für die Dunkelstromelektronen ist, kann man durch Kühlung den Dunkelstrom stark begrenzen.

Eine wesentliche Eigenschaft des Dunkelstroms ist, dass dessen Größe exponentiell von der Temperatur abhängt. Im Schnitt verdoppelt sich der Dunkelstrom alle 6 bis 7 Grad.

Umgekehrt argumentiert kann man den Dunkelstrom durch Kühlung sehr effektiv begrenzen. Typische 2-stufige Peltierelemente wie man sie in vielen CCD-Kameras findet, schaffen eine Temperaturdifferenz von etwa 30 Grad. Wenn man weiterhin annimmt, dass sich der Dunkelstrom pro 6 Grad halbiert, hat man bei 30 Grad Temperaturdifferenz nur noch rund 1/30 des normal anfallenden Dunkelstroms. QSI-Kameras schaffen sogar 38 Grad Temperaturdifferenz, solange sie jedenfalls noch mit Edelgas gefüllt sind. Damit sinkt der Dunkelstrom auf 1/80 des Normalwertes und ist in vielen Fällen vernachlässigbar. Bei Bedarf kann man QSI-Kameras sogar flüssigkeitsunterstützt kühlen, was die Kühlleistung auf 45 Grad unter die Umgebungstemperatur bringt und somit den Dunkelstrom nochmal halbiert.

All diese einfachen Kühlmethoden wären praktisch sinnlos, wenn die CCD-Chips von Haus aus so hohe Dunkelströme besitzen würden, dass nur noch die Kühlung mit flüssigem Stickstoff Abhilfe verspräche. Dieser Aufwand ist in den meisten Fällen einfach zu groß. Deshalb versuchen die Hersteller Sorge zu tragen, dass der Dunkelstrom auch bei einem ungekühlten CCD-Chip in

beherrschbarem Rahmen bleibt. Die in den QSI-Kameras eingebauten Kodak-Chips profitieren jedenfalls von modernen Fertigungsmethoden, die den Dunkelstrom auf einem sehr niedrigen Level halten. Als Beispiel mag der Kodak KAF-3200 dienen, der bei -25° Celsius im Schnitt weniger als 0.02 Dunkelstromelektronen pro Sekunde produziert.

Der Vorteil eines so geringen Dunkelstroms ist natürlich, dass die Dynamik des Bildes nicht durch diesen Rauschanteil "aufgefressen" wird. Es lässt sich länger belichten und praktisch keine Aufnahme hier unter mitteleuropäischen Verhältnissen wird durch den Dunkelstrom begrenzt, sondern einzig durch die Himmelsaufhellung.

Grundsätzlich lässt sich der Dunkelstrom als Konstante für jedes Pixel betrachten, solange die Temperatur während der Belichtungszeit ebenfalls konstant bleibt. Die Temperaturregelung der Kamera muss also exakt funktionieren, damit die Ergebnisse reproduzierbar bleiben. In den QSI-Kameras finden wir deshalb eine äußerst exakte Temperatursteuerung, deren Regelschwankungen von +/- 0.1° völlig vernachlässigbar sind. Selbst über Wochen und Monate hinweg sind die Ergebnisse reproduzierbar.

Lieferumfang

Alle 500er QSI CCD-Kameras kommen mit einer umfassenden Ausstattung:

Geschraubter Metalldeckel für die Kamera, robuster, wasser- u. staubdichter Peli Koffer mit Schaumstoffeinlage, Werkzeug, Netzteil 100-240 V auf 12V, USB-Kabel, Guider-Kabel (ST4-kompatibel), CD mit Treibern und Software.

Der teleskopseitige Anschluß erfolgt über T2-Gewinde (M42x0,75) oder den Adapter 2" Steck auf T2.

Bei den Guider-Modellen erhalten Sie auf Wunsch stattdessen ein STL-kompatibles Gewinde (2 5/32" x 24 TPI) (ca.

54,769 mm x 1,058 mm) mit einem Adapter von 2" Steck auf STL-Gewinde, der 46 mm freien Durchlaß bietet.

Der Guider-Anschluß erfolgt über C-Mount (M25,5x0,5) oder auf Wunsch T2.



Ausleserauschen

Eine genauere Analyse des Ausleserauschens von QSI-Kameras zeigt deren herausragendes Elektronikdesign. Dazu unterzieht man Bias-Bilder einer (2D-) Fourier-Transformation und kann damit jedes noch so kleine, periodisch auftretende Muster im Bild identifizieren. Solche periodischen Muster werden z.B. durch Störstrahlung einer nicht optimal abgeschirmten Elektronik verursacht.

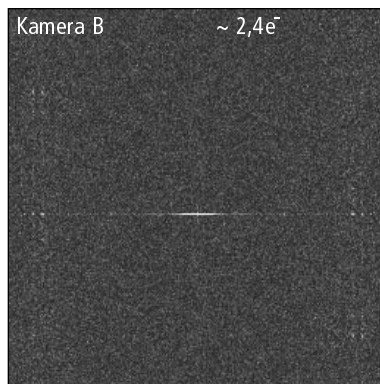
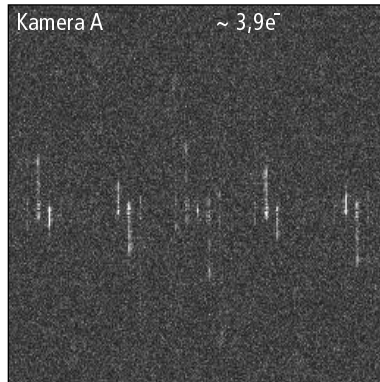
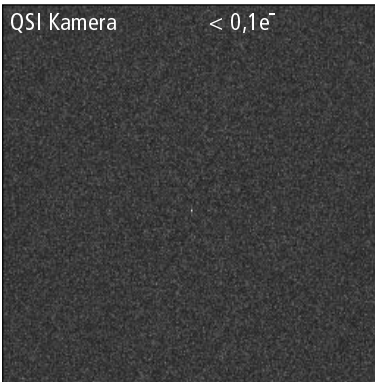
Letztendlich verschlechtern alle Störungen das Signal-Rausch-Verhältnis im Bild, was dazu führt, dass man länger belichten muss, um die gewünschte Bildqualität zu bekommen.

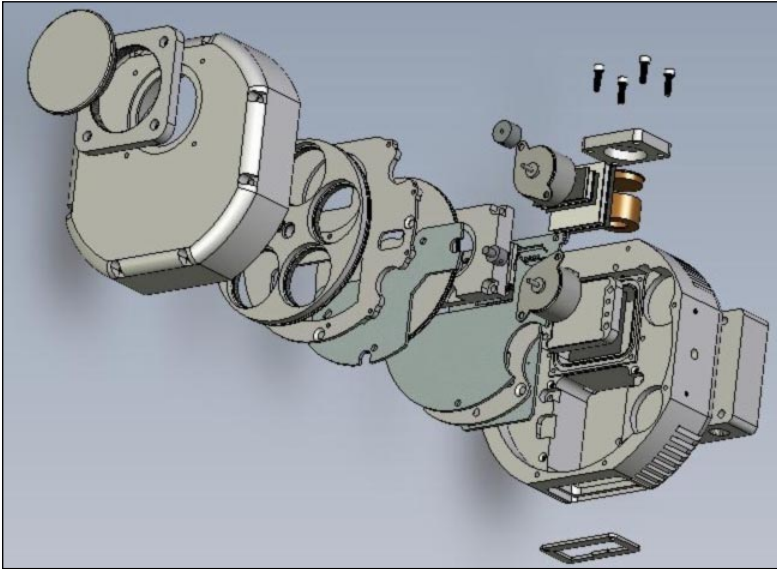
Die Fourier-Analyse eines Bias-Bildes einer QSI-Kamera zeigt neben dem cha-

rakteristischen und aus der Transformation stammenden hellen Bildpunkt exakt in der Mitte nur statistisches Rauschen. Im Bild finden sich keinerlei wiederkehrende Muster.

Das von der Elektronik zusätzlich zum Chip-Rauschen induzierte Ausleserauschen ist kleiner als $0,1e^-$.

Im Vergleich dazu zeigt die Analyse zweier anderen CCD-Kameras deutliche Signale im Fourier-transformierten Bild. Bei letzteren beiden Kameras gibt es Muster, die sich periodisch wiederholen und die sich nicht bei der Addition von Bildern herausmitteln. Das von den Kameras induzierte Ausleserauschen ist um Faktoren größer.





High-End CCD-Technologie mit großem Chip QSI 583

Mit seinem großen Gesichtsfeld und seinem hohen Quantenwirkungsgrad empfiehlt sich der KAF-8300-Chip von Kodak für eine breite Palette von Anwendungen in Astronomie, Medizin, Wissenschaft und Industrie.

- Kodak KAF-8300
- 8.3 Megapixel 3326x2504
- Extrem geringes Rauschen
 - Hohe Dynamik
- Bis zu 38° Temperaturdifferenz durch thermoelektrische Kühlung und 45° durch Wärmetauscher
- Robuster mechanischer Shutter
 - Kompaktes Design
- geringes Gewicht
- Sehr kurzer Backfocus
- Betrieb durch 12V
- Optional 1.25-Zoll Filterrad
- Optionaler Off Axis Guider
- Umfangreiche Softwareunterstützung
- Treiber für MaxIm, CCDSoft u. Astroart
- ASCOM-kompatible COM API
- Linux-Treiber und API

