

Selbstbau einer Spiegelreflexkamera-Kühlung

von Peter Köchling



Als langjähriger Astrofotograph frage ich mich immer wieder, wie man die Aufnahmetechnik weiter optimieren kann, um noch bessere Ergebnisse zu erreichen. An der Stelle muss man sich zunächst fragen, was überhaupt die Qualität eines guten Astrofotos ausmacht. Einer von vielen Qualitätsfaktoren ist die Fähigkeit, möglichst dunkle Details des Himmels zu detektieren. So versuchen viele Astrofotographen zum Beispiel eine dunkelbraune Dunkelwolke vom fast schwarzen Himmelshintergrund zu trennen. Die erste Hürde für dieses Ziel ist die Lichtverschmutzung, die diese Details trotz längerer Einzelbelichtungszeit verschluckt. Diese Einschränkung kann man durch einen dunklen Himmel fern der Städte, durch Farbfilter oder auch Addition vieler Einzelbilder gut in den Griff bekommen. Allerdings bleibt im dunklen Hintergrund weiterhin eine pixelige Grundhelligkeit, die von den thermischen Rauschen des Kamerachips herrührt. Betrachtet man das Histogramm des Dunkelbildes (Belichtung bei geschlossener Kamera) so findet am unteren (dunklen) Ende eine nahezu Normalverteilung von Helligkeitswerten, eben dieses thermische Rauschen (Bild 1). Im Folgenden möchte ich dieses Rauschen mit der mathematischen Kenngrößen der Standardabweichung, ein Maß für die Breite der Verteilung, quantitativ beschreiben. Diese Kenngröße eines Bildes ermittelte ich mit der Software „Pixinsight“. Da bei diesen kurzen Belichtungszeiten die Verteilung des Rauschen links abgeschnitten wird, erscheint die berechnete Standardabweichung etwas geringer, als sie tatsächlich ist. Längere Belichtungszeiten bei so hohen IOS Werten sind bei mir Dank lichtstarker Optiken unüblich. Alternativ zur Standardabweichung kann auch die Dateigröße eines Bildes als quantitatives Maß für die Rauschleistung herangezogen werden.

Schaut man sich ein verrauschtes Bild an, so fällt es bei den schwächsten Sternen schwer, zu sagen, ob da nun tatsächlich ein Stern ist oder nur ein paar Pixel, die zufällig gerade etwas heller rauschen. Durch Addition oder Vergleich vieler Einzelbilder desselben Objektes lassen sich diese schwachen Details am PC dann doch herausrechnen, was aber die Gesamtbelichtungszeit deutlich erhöht. So sind viele der aktuellen Astrofotos des Jahres nur mit vielen Stunden oder sogar Tagen an Gesamtbelichtungszeit entstanden. Bei dieser Methodik muss aber gesagt werden, dass sich durch Addition lediglich die Standardabweichung verkleinern lässt, nicht aber die mittlere Hintergrundhelligkeit. Die Verteilung wird schmaler, sodass schwache Details aus dem Rauschen heraustreten. Für qualitative Astrofotos muss es somit Ziel sein, sowohl die mittlere Hintergrundhelligkeit als auch die Standardabweichung zu verkleinern.

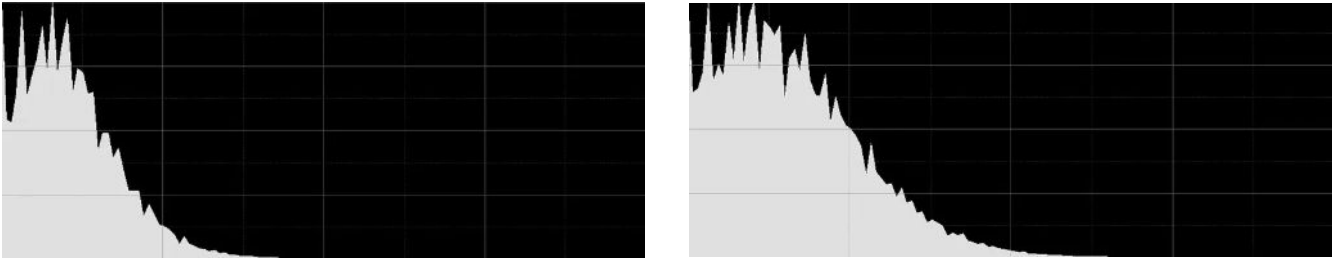


Bild 1: Links das Histogramm des roten Kanals von 0,00 bis 0,02 eines Dunkelbildes aufgenommen bei $-9,9^{\circ}\text{C}$. Rechts das Dunkelbild bei $21,1^{\circ}\text{C}$. Belichtungszeit 118 s bei ISO 6400 auf Canon Eos 60Da. Die Verteilung des thermischen Rauschens wird mit höheren Temperaturen breiter, die Standardabweichung nimmt also zu. Die Rauschleistung wird intensiver.

Die Ursache des thermischen Rauschen des Kamerachips ist die Temperatur und ihre Infrarotstrahlung, die einzelne Pixel schwach anregt. Dieses Rauschen ist somit abhängig von der eingestellten ISO Empfindlichkeit (Diagramm 1) und der Chiptemperatur. Senkt man also die Temperatur, so verringert sich das Rauschen (Diagramme 2 und 3).

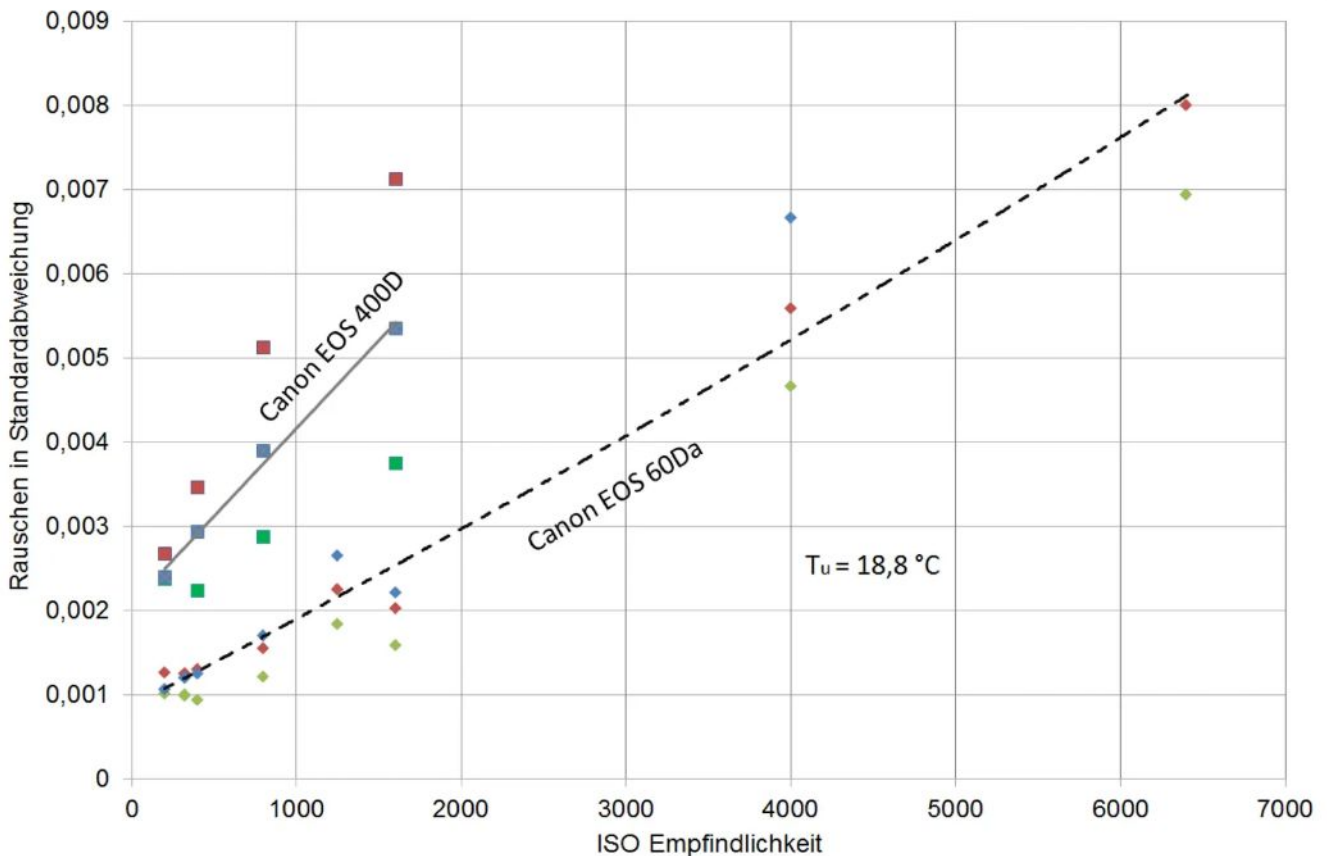


Diagramm 1: Das Rauschen des Kamerachips in Abhängigkeit von der ISO Empfindlichkeit einer Canon Eos 400D und 60Da mit 298 s Belichtungszeit.

Astronomische Arbeitsgemeinschaft Geseke

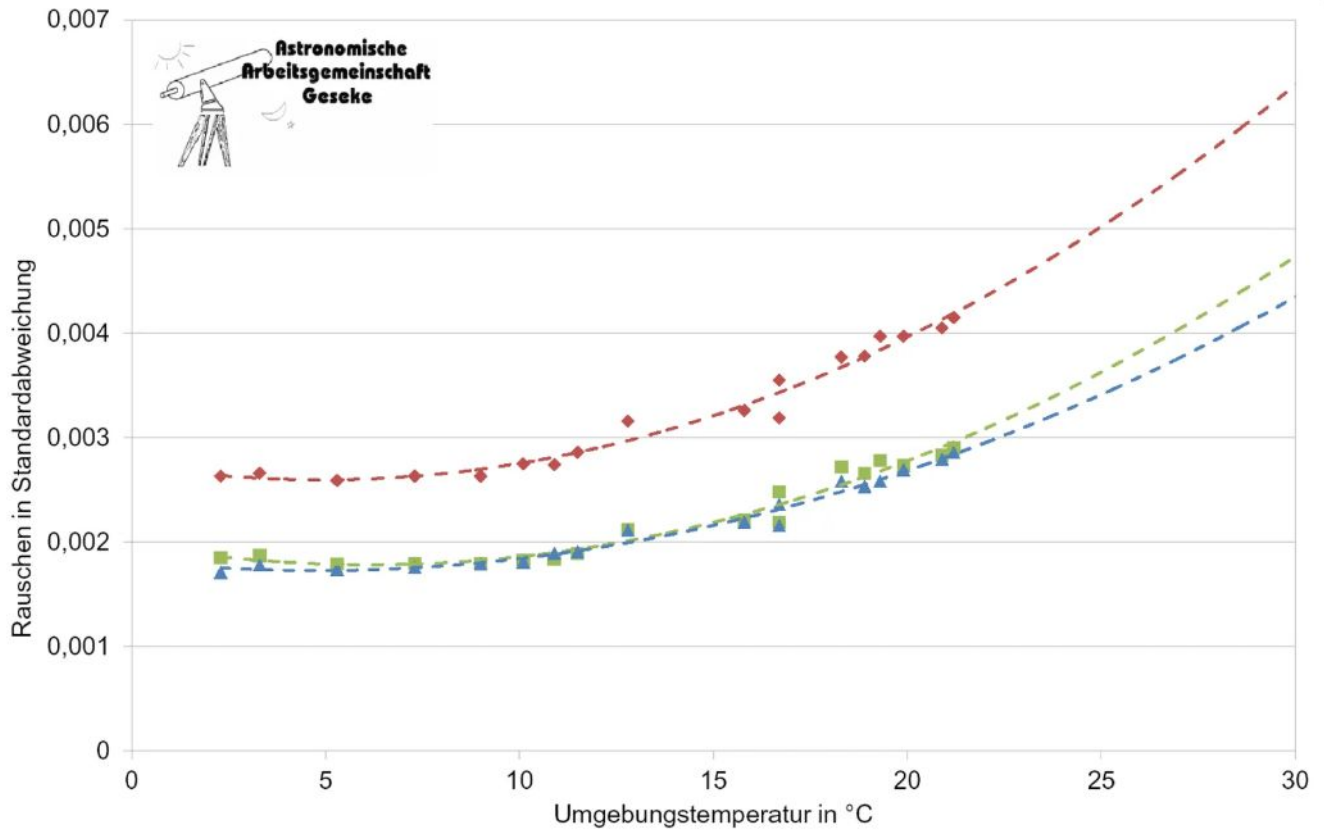


Diagramm 2: Hier sind die Standardabweichung des roten, grünen und blauen Kanals einer Belichtungsreihe von Dunkelbildern gezeigt. Mit zunehmender Umgebungstemperatur nimmt die Standardabweichung zu (Schwarz = 0, Weiß = 1). Jedes Einzelbild ist auf Canon Eos 60Da mit 118 s und ISO 6400 entstanden. Ein Weißabgleich wurde nicht durchgeführt, sodass der rote Kanal intensiver erscheint.

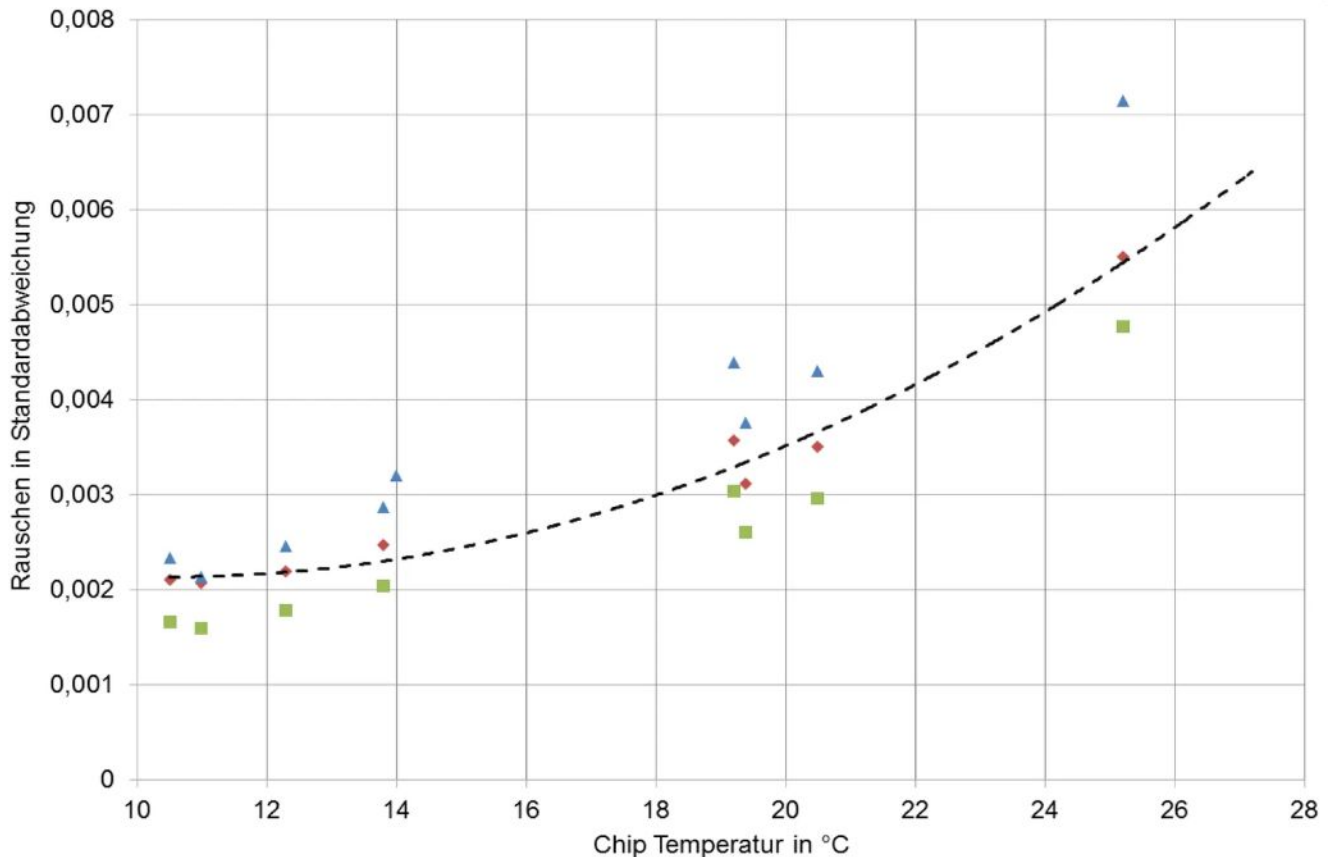


Diagramm 3: Hier sind die Standardabweichung des roten, grünen und blauen Kanals einer Belichtungsreihe von Dunkelbildern gezeigt, aufgetragen gegen die Temperatur des Kamerachips gemessen mit einem Infrarotthermometer kurz vor der Belichtung. Jedes Einzelbild ist auf Canon Eos 60Da mit 298 s und ISO 3200 entstanden.

Üblicherweise startet man in der Deep Sky Astrofotografie eine Belichtungsreihe vieler Einzelbilder in schneller Abfolge. Um nun den Einfluss einer solchen Belichtungsreihe auf das Rauschen zu ermitteln, startete ich Dunkelbilder mit 298s Einzelbelichtung und je 2 Sekunden Pause, zum Auslesen jedes Einzelbildes (Diagramm 4). Innerhalb von einer Stunde nahm das Rauschen kontinuierlich zu und verdoppelte sich schließlich. Am Ende hatte der Chip eine Temperatur von fast 24°C bei einer Umgebungstemperatur von 15,5°C. Ich unterbrach die Belichtung für eine 30 Minuten und ließ die Kamera wieder etwas abkühlen. Die 30 Minuten reichten mit abgewinkeltem Bildschirm der Canon Eos 60Da nicht aus, um die Kamera wieder auf Ausgangstemperatur auskühlen zu lassen. Ich wiederholte dieselbe Belichtungsreihe diesmal mit zugeklappten Bildschirm. Die Temperatur und das Rauschen stieg mit jedem Einzelbild noch stärker an. Offensichtlich verschlechterte der zugeklappte Bildschirm die Wärmeabfuhr. Anschließend wiederholte ich die Belichtungsreihe bei einer Umgebungstemperatur von 7,5°C, wobei die Kamera nicht ganz ausgekühlt war. Von dem ersten auf dem zweiten Bild nahm das Rauschen durch die kühlende Wirkung der Umgebung noch ab. Ab dem dritten Bild nach 10 Minuten Gesamtbelichtungszeit nahm die Temperatur des Chips und somit das Rauschen aber zu. Die Zunahme lag bei 7,5°C um Faktor 10

Astronomische Arbeitsgemeinschaft Geseke

geringer als bei 15,5°C Umgebungstemperatur. In einem späteren Test mit kürzeren Belichtungszeiten konnte ich nachweisen, dass das kontinuierliche Aufwärmen des Chips in erster Linie durch die Belichtungszeit getrieben wird und weniger durch das reine Auslesen. Bei diesen Versuchsreihen wurde die Kamera mit einem externen Netzteil versorgt, um eine Erwärmung der Kamera durch den Akku auszuschließen.

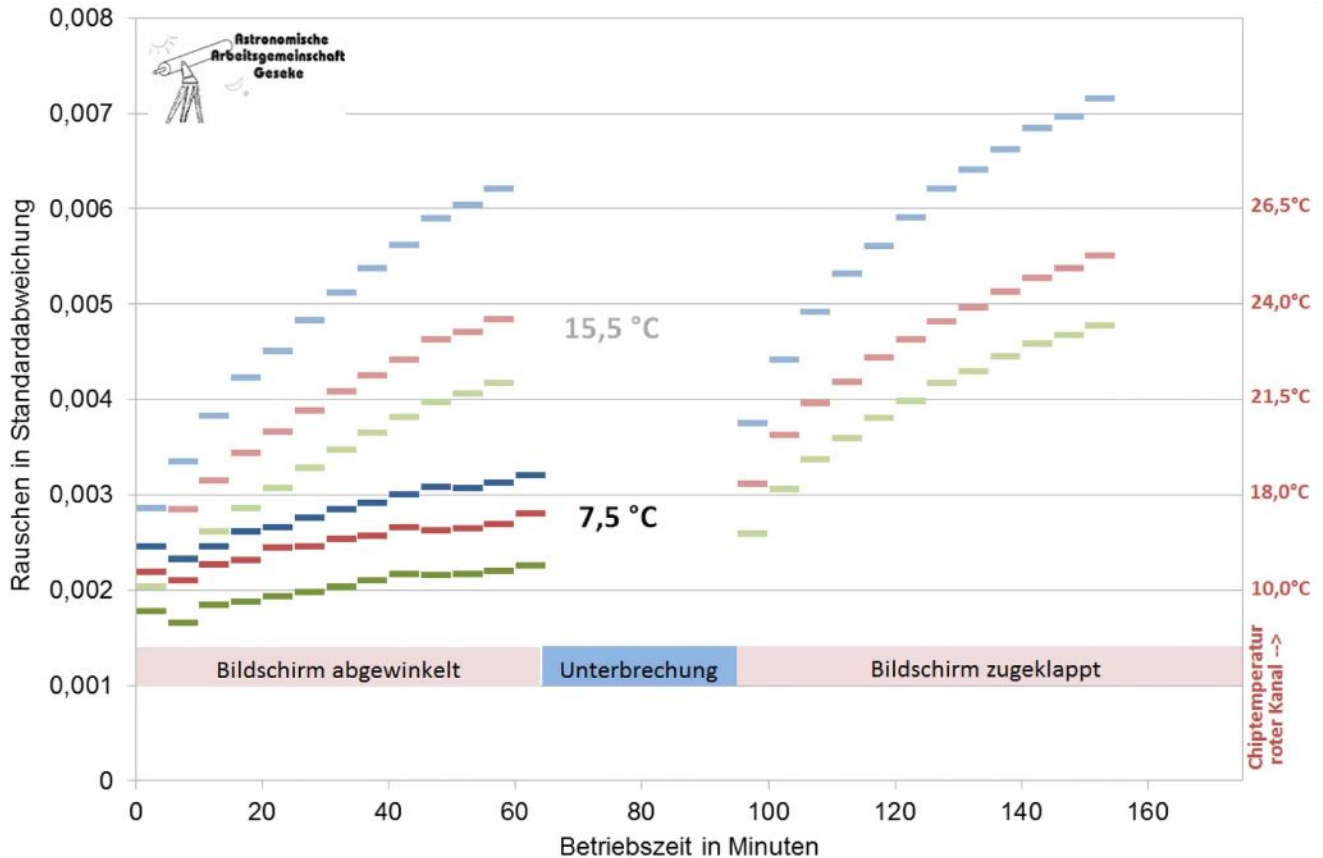


Diagramm 4: Das Rauschen einer Canon Eos 60Da bei einer Belichtungsreihe mit 298s Einzelbelichtungszeit mit ISO 3200 ohne aktive Kühlung. Abhängig von der Umgebungstemperatur nimmt das Rauschen mit zunehmender Erwärmung des Kamerachips zu. Auch die Position des Bildschirms hat Einfluss.

Astronomische Arbeitsgemeinschaft Geseke

Bei sehr langen Belichtungsreihen oder bei Umgebungstemperaturen von über 10°C müssen der Kamera also Pausen zur Kühlung eingeräumt werden. Bereits bei 15°C sollte man auf jedes zweite Bild verzichten. Auch wenn man für die spätere Bildaddition so nur halb so viele Bilder zur Verfügung hat, ist das Rauschen wesentlich geringer, als man durch nachträgliche Bildaddition je erreichen könnte.

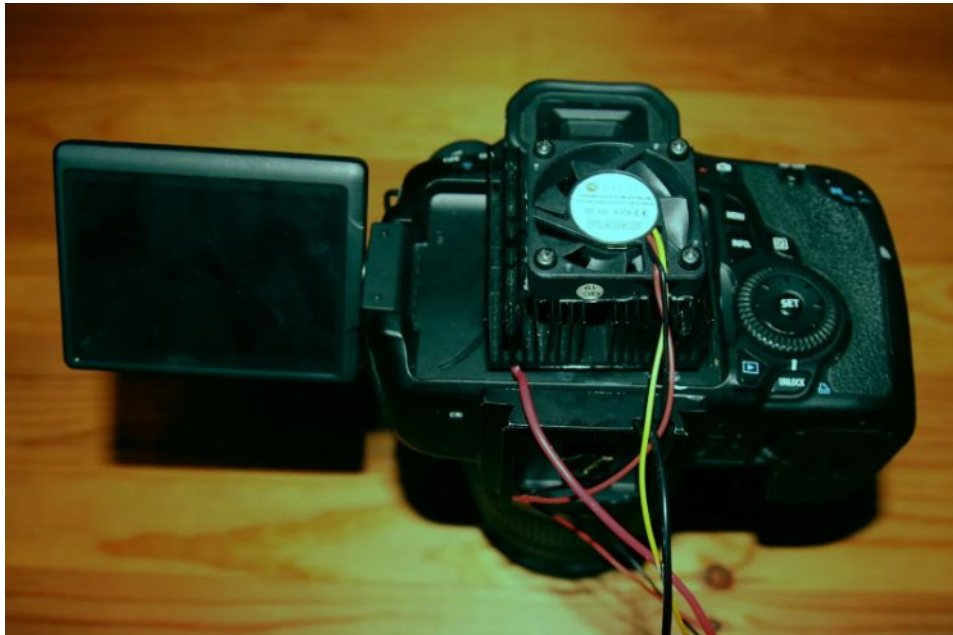


Bild 2: Der Testaufbau: Die Canon Eos 60Da mit Peltierelement, Kühlkörper und Lüfter. Die Kühlung ist mit speziellem Wärmeleitklebeband festgeklebt und lässt sich leicht wieder entfernen.

Einen 53mmx53mmx20mm Kühlkörper und einen kleinen Lüfter hatte ich seit vielen Jahren zu Hause, ohne zu wissen, wofür ich diese irgendwann mal brauchen würde. Hinzu bestellte ich mir noch ein TEC1-12710 Peltier Element für ca. 4 Euro. Diese Peltier Element ist eine kleine flache quadratische Keramik, die auf der einen Seite kalt und auf der anderen Seite warm wird, wenn man sie mit Gleichstrom versorgt. So klappte ich bei meiner Canon Eos 60Da den Bildschirm zur Seite und setzte dieses Peltier Element mit Wärmeleitkleber auf die Rückseite des Kameragehäuses, wo in etwa der Chip liegt. Auf das Peltierelemente kam ein Wärmeleitklebestreifen, Kühlkörper und Lüfter, deren Funktion es sind, die Wärme der heißen Seite des Peltierelements möglichst schnell abzuführen. Die Spannung des Peltier Elementes regelte ich auf 5 Volt mit ca. 1,5 Ampere, da bei dieser Spannung der Kühlkörper kaum warm war, also nicht überfordert war. Bei größeren Spannungen kann es zu einem Wärmestau kommen, sodass das selbst die kalte Seite des Peltierelementes warm wird.

Ich startete erneut eine Belichtungsreihe wie zuvor mit nur kurzen Pausen von 2 Sekunden. Gleich mit Start setzte ich die aktive Kühlung (kalte Seite Peltierelement ca. 2°C) hinten auf die Kamera, die etwas oberhalb der Umgebungstemperatur von 17,8°C vorgewärmt war. Das Ergebnis war eindeutig. Das Rauschen nahm im Vollbetrieb innerhalb von 60 Minuten um

Astronomische Arbeitsgemeinschaft Geseke

gerade mal 10% zu bei ca. 20°C Chiptemperatur (Diagramm 6). Als ich jedoch die Kühlung entfernte nahm das Rauschen rasch zu und die Chiptemperatur lag nach 60 Minuten ohne Kühlung bei ca. 28°C. Abschließend pausierte ich die Kamera und kühlte diese für 30 Minuten. Das Rauschen konnte nochmals gesenkt werden und der Chip nahm eine Temperatur von ca. 15°C an. Auch visuell tritt eine merkliche Verbesserung des Rauschens ein (Bild 3).

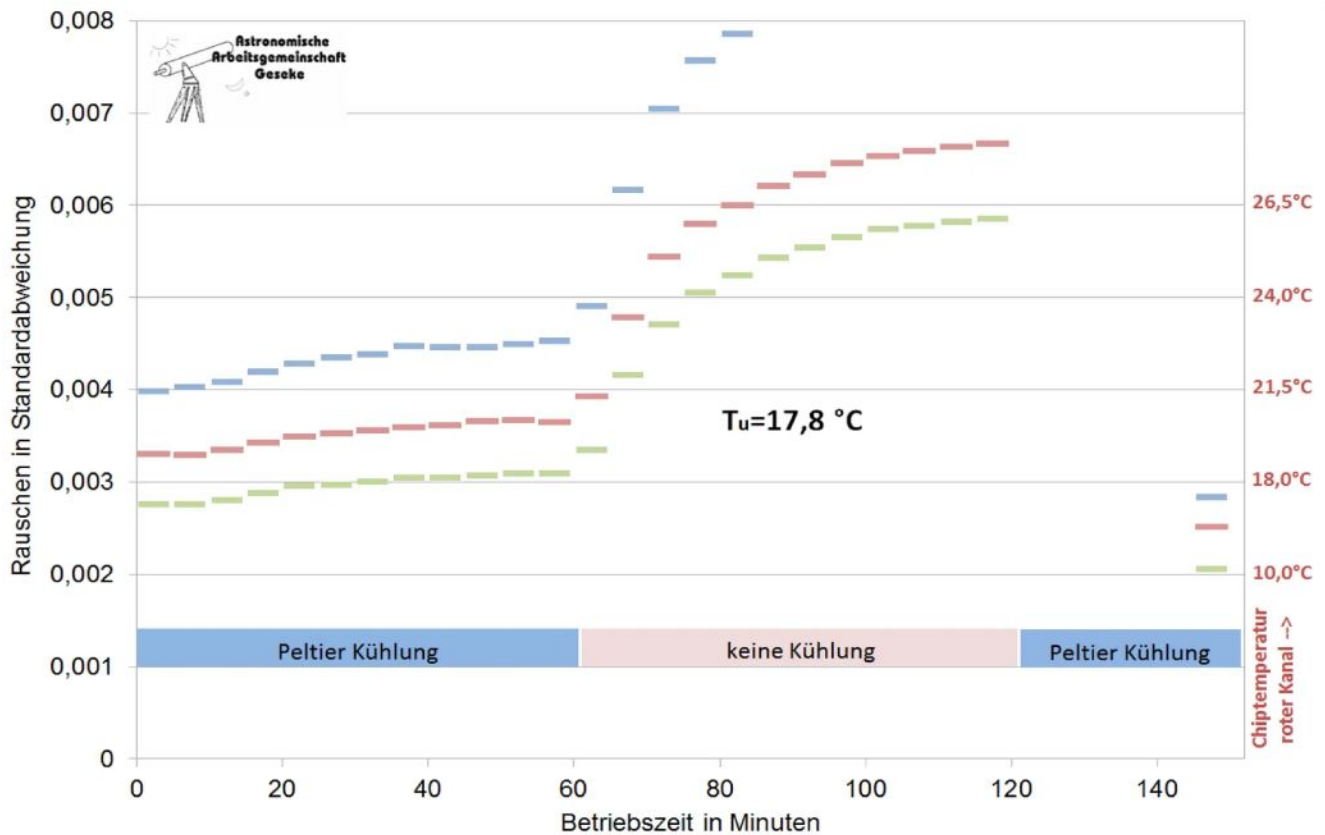


Diagramm 6: Jeder Balken zeigt die Belichtungszeit und die Rauschleistung im roten, blauen und grünen Kanal, bei 298s mit ISO 3200. Die Zunahme des Rauschens nach 60 Minuten mit Peltier Kühlung der Canon Eos 60Da im vollen Betrieb beschränkt sich auf ca. 10%. Ohne Peltier Kühlung verdoppelt sich das Rauschen innerhalb einer Stunde, durch die Erwärmung des Kamerachips. Durch anschließendes Vorkühlen für eine halbe Stunde kann die Chiptemperatur sogar unter die Umgebungstemperatur gesenkt werden.

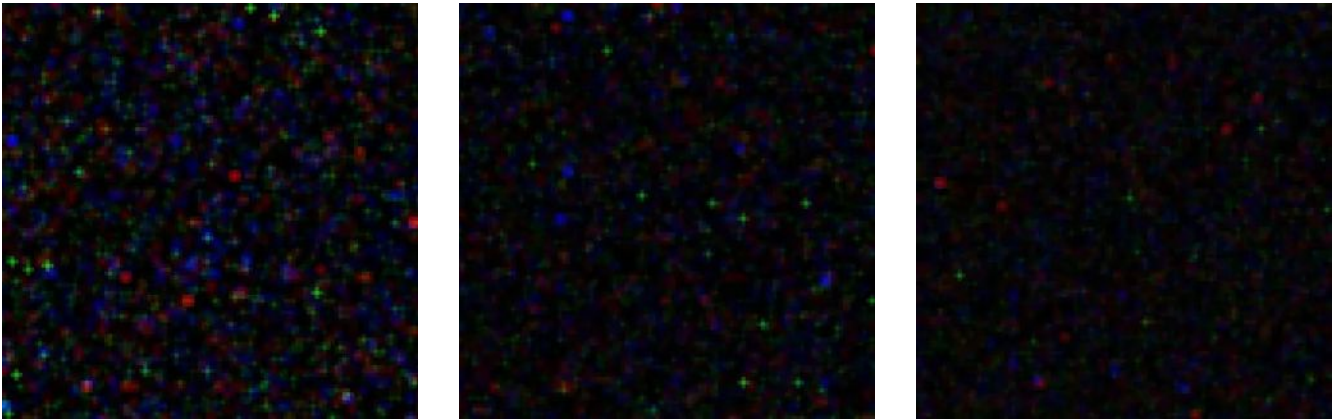


Bild 3: Dunkelbilder (Ausschnittvergrößerung, Histogramm gestreckt) der Canon Eos 60Da mit Einzelbelichtungszeit 298s bei ISO 3200 und Umgebungstemperatur 17,8 °C. Links ohne Peltier Kühlung nach 60 Minuten im Dauerbetrieb, Mitte mit Peltier Kühlung nach 60 Minuten im Dauerbetrieb, rechts nach 30 Minuten mit Peltier Kühlung zur Vorkühlung. Die lästigen Hotpixel gehen dank Kühlung deutlich zurück.

Auch wenn der Nutzen einer Kühlung bereits offensichtlich ist, wollen wir die Ergebnisse nochmals genauer theoretisch verstehen. Entgegen der kontinuierlichen Erwärmung des Kamerachips wirkt das Kameragehäuse selbst als Kühlkörper. Um so wärmer der Chip bereits ist, umso mehr Wärme gibt er an das Gehäuse ab. Analog gibt das Gehäuse die Wärme an die kältere Umgebung ab. Etwa 10°C oberhalb der Umgebungstemperatur erreicht der Kamerachip seine Gleichgewichtstemperatur, bei der er genauso viel Wärme im Dauerbetrieb produziert, wie an die Umgebung über das Gehäuse abgegeben wird.

Mit aktiver Kühlung wird nun die Wärme noch schneller abgeführt, sodass die Gleichgewichtstemperatur zwar niedriger liegt aber mit diesem Aufbau im Dauerbetrieb noch oberhalb der Umgebungstemperatur. Möchte man den Chip auch in Dauerbetrieb unter Umgebungstemperatur senken, steht uns das Kameragehäuse ein wenig im Weg. Wenn man nun zunächst das Gehäuse herunterkühlt, nimmt dieses ab einer gewissen Temperatur wieder Wärme aus der Umgebung auf. Man muss das Gehäuse dann isolieren, oder gleich die ganze Kamera in eine Kühlbox sperren. Von der Möglichkeit, die Spiegelreflexkamera auf der Rückseite zu öffnen und die aktive Kühlung noch näher an den Chip heranzubringen, wollen wir hier einmal absehen. Bei Umgebungstemperaturen deutlich unter 10°C ist der Nutzen der Kühlung dieses Aufbaus somit fraglich. Die Eigenwärme, die das Peltierelement im Betrieb entwickelt, ist hier wahrscheinlich unverhältnismäßig höher als die Wärmedifferenz, die aufgebaut werden soll. Letztlich ist hier die ausreichend große Auslegung des Kühlkörpers und seines Lüfters entscheidend. Eine Gefahr der Betauung des Kamerachips besteht meiner Meinung nach nur, wenn die Kühlung längere Zeit betrieben wird, ohne dass die Kamera selbst in Betrieb ist. Nach ein paar Sekunden wird der Kamerachip wieder so warm sein, dass eine Betauung ausgeschlossen ist.

Bereits dieser einfache Aufbau zeigt eine deutliche Reduzierung des Rauschens. Ich werde den Kühlkörper und den Lüfter noch etwas vergrößern. Das eigentlich Bemerkenswerte an dieser kostengünstigen wie effektiven Lösung zur Verbesserung der Astrofotos ist eigentlich,

Astronomische Arbeitsgemeinschaft Geseke

dass sich diese Idee noch nicht früher herumgesprochen und durchgesetzt hat. Ich denke, schon bald werden viele Spiegelreflexkameras in der Astrofotografie mit passiven oder aktiven Kühlsystemen ausgestattet sein. Zu Beginn werden die meisten aufgrund des erheblichen Preisunterschiedes wahrscheinlich Selbstbau-Lösungen sein. Und dieses Tüfteln, macht meiner Meinung unser Hobby zu einem großen Teil auch aus. Viel Spaß beim Basteln!