Preprocessing

Ein wenig Theorie der astronomischen Bildvorverarbeitung.

„Es gibt nichts Praktischeres als eine gute Theorie.“

(D.Hilbert, I.Kant, K. Lewin)

kai@photonenfangen.de
www.photonenfangen.de

Preprocessing
Inhalt

1. Grundlagen:
   1. Median, arithmetischer Mittelwert
   2. Beschreibung des Digitalfotos.
2. Störungen im Bildsignal
   1. Übersicht
   2. Elektrische Störungen
   3. Störungen des optischen Pfades
   4. Umweltbedingte Störungen
3. Kalibrierung
   1. Beschreibung
   2. Erstellung der Korrekturdaten
   3. Durchführung
   4. Kalibrierung ohne Darks
4. Integration
   1. SNR
   2. Beispiel

Begriffsdefinition:

Bildvorverarbeitung (preprocessing): Alle Bearbeitungsschritte bis zur Erstellung des Summenbildes.

Integration: Berechnung des Summenbildes aus den Einzelbildern (frames).

Bildbearbeitung (processing): Alle Bearbeitungsschritte am Summenbild.

1. Grundlagen:
1.1 Mittelwert – Median

Mittelwert $\overline{x} = \frac{1}{n}\sum_i x_i$

Median:
Ein Wert *m* ist Median einer Stichprobe, wenn mindestens die Hälfte der Beobachtungen in der Stichprobe einen Wert ≤ *m* und mindestens die Hälfte einen Wert ≥ *m* hat.

Beispiel:
Messwerte $x_i = 1, 2, 4, 4, 4, 5, 15$
Der Median ist der Wert an der mittleren Stelle, also 4. Wenn im Beispiel durch einen Fehler eine 4 durch 46 ersetzt wurde, ändert sich der Median nicht:
1, 2, 4, 4, 5, 15, 46. Das arithmetische Mittel hingegen springt von 5 auf 11.

							Mittelwert	Median
1	2	4	4	4	5	15	5	4
1	2	4	4	46	5	15	11	4

1. Grundlagen:
1.2 Digitalfoto als Signal

Das Bildgebende Element einer digitalen Standbildkamera ist der sogenannte Chip. Zwei Grundtypen finden in der Astrofotografie hauptsächlich Verwendung:

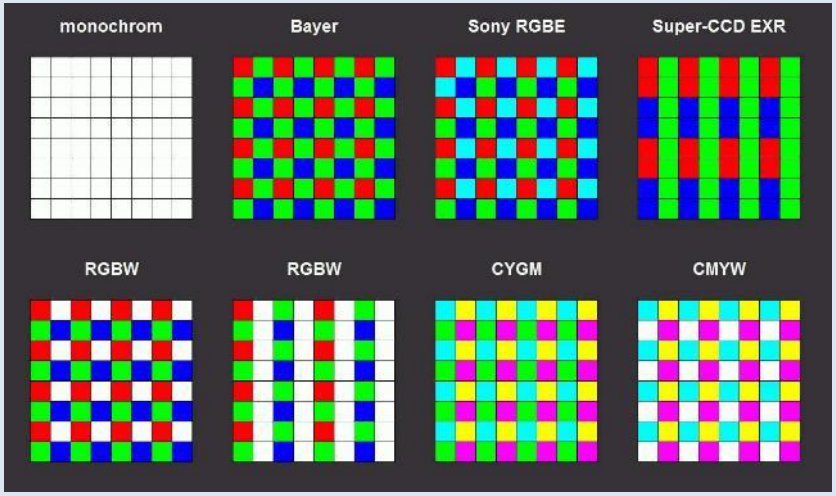
- Der CCD-Chip (Charge Coupled Device / ladungsgekoppeltes Bauelement). Seit der Frühzeit der Digitalfotografie Im Einsatz.
- Der bildgebende CMOS-Chip vor allem in den Consumergeräten erreicht u.U. vergleichbare Resultate auf Basis einer preiswerteren Technologie.

Die in der Vergangenheit gültige Aussage „CCD liefert bessere Ergebnisse als CMOS“ ist heute in dieser Allgemeinheit nicht mehr zutreffend.

Beispiele:

- KAF-8300 3362 x 2504 Pixel (5,4µm)
- 5D MkII 5616 x 3744 Pixel (6,4µm, Bayer-Matrix!)

Bayermatrix:
de.wikipedia.org/wiki/CCD-Sensor



1. Grundlagen:
1.2 Digitalfoto als Signal

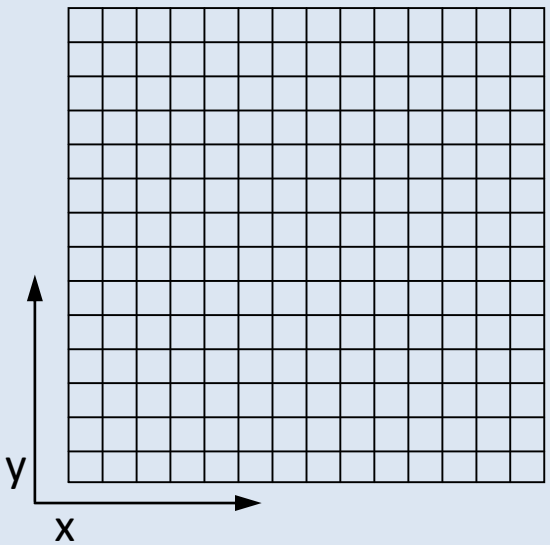
Idealvorstellung:
Trifft ein Photon auf eine Zelle, so führt dies zu einer Ladungsseparation im Halbleiter. Im Verlauf der Belichtung sammelt sich so Ladung in den Zellen. Diese wird nach dem Ende der Belichtung verstärkt und digitalisiert.

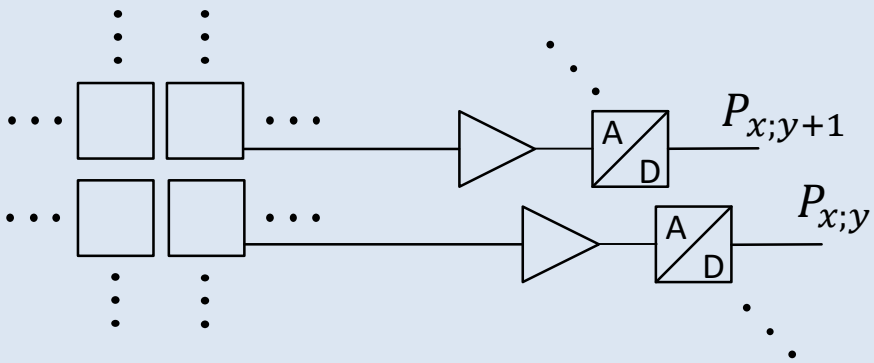
Bild ist zusammengesetzt aus Pixeln: P_{xy}

Ein Farbbild besteht aus drei Bildern. Je eines der Farbe rot, grün, blau:

$$R_{xy};\ G_{xy};\ B_{xy}$$

Zu jedem Pixel eines Farbbildes gibt es damit drei Farbwerte.





Nach dem Ausleseprozess liegt für jede Zelle ein dimensionsloser Zahlenwert vor (ADU = arbitrary digital units).

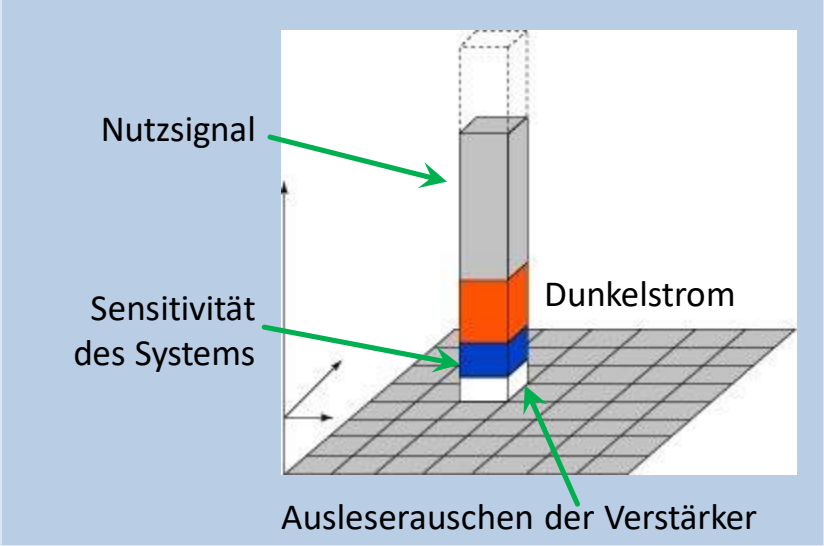
Typische Auflösungen (Dynamikbereiche) :
Webcam: 8bit ≈ 256 ADU
DSLR: 14bit ≈ 16384 ADU
Astrokamera: 16bit ≈ 65536 ADU

2. Störungen im Bildsignal
2.1 Übersicht

Das Bild veranschaulicht die Verhältnisse von Nutz- und Störsignalen im Messwert eines Pixels. Es handelt sich um eine beispielhafte Darstellung, die im Einzelfall sicher variiert und vom eingesetzten Gerät abhängt. Die Auswirkungen von Meteoren, Satelliten- und Flugzeugspuren sowie Cosmics sind nicht berücksichtigt.

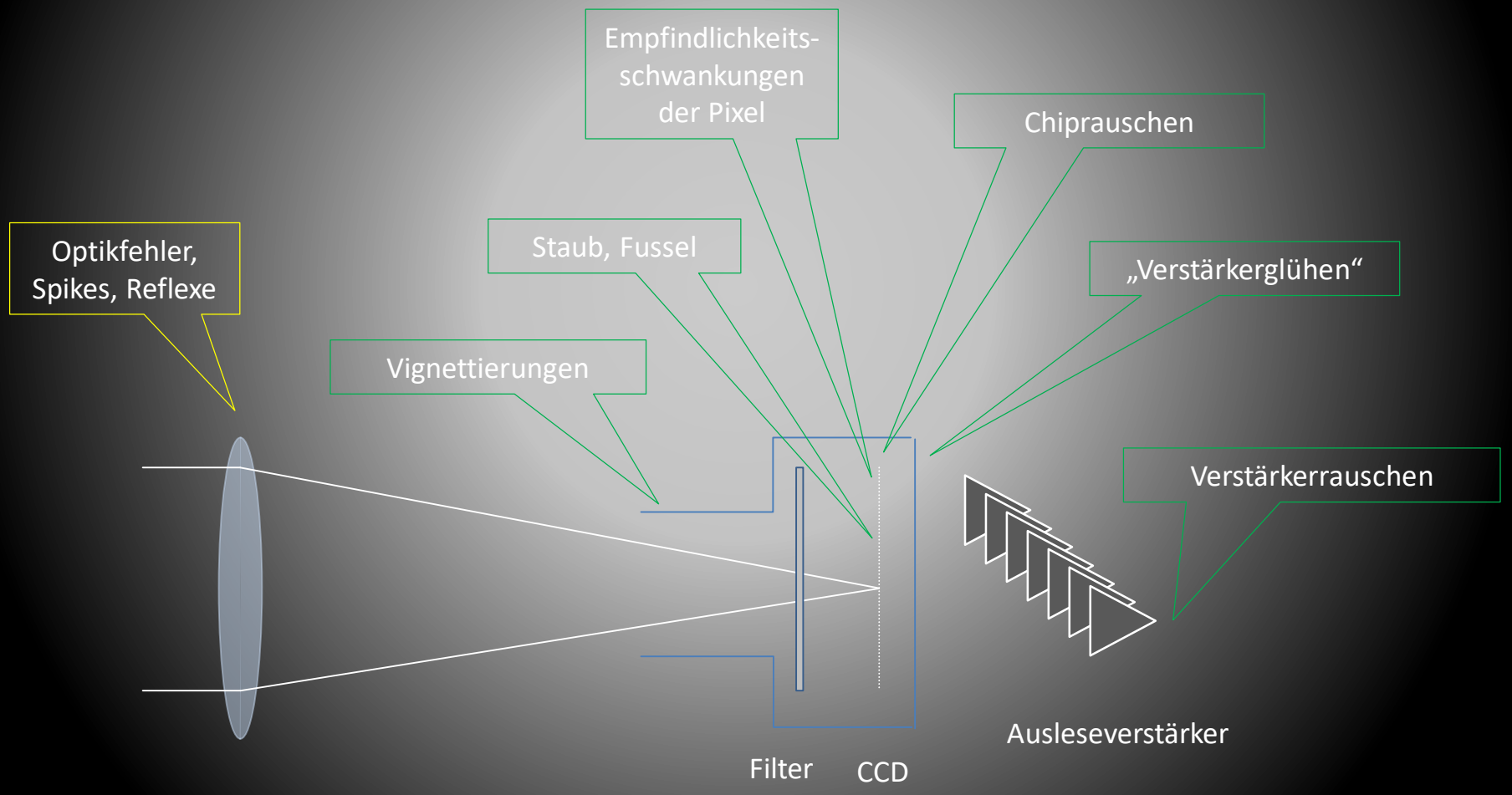
Diese Darstellung scheint die Realität recht gut wiederzugeben. Konsequenz: **Eine möglichst gute Korrektur der Störungen ist unbedingt anzustreben.**

Dunkelstrom und Ausleserauschen haben additiven Charakter. Die Sensitivität des Systems (blau) hat multiplikativen Charakter und unterliegt damit einem anderen Mechanismus.



Fehler im Auslesewert eines Pixels
(www.astro-siggi.de/tutorial-ccd-technik.html)

2. Störungen im Bildsignal
2.2 Instrumentelle Störungen



2.2 Elektrische Störungen

Der Begriff „elektronische Störquelle“ ist nur teilweise zutreffend, dennoch hier Verwendung. Es handelt sich in erster Linie thermisch induzierte Elektronenverschiebungen. Zu unterscheiden:

- Dunkelstrom oder Chiprauschen
- Verstärkerrauschen
- Hot Pixel, warm Pixel, cold Pixel
- Verstärkerglühen

Die hier auf gezählten Störungen lassen sich weitgehend kompensieren durch Verwendung von:

- Dunkelbild: D_{xy}
  (andere Bezeichnungen Dark, Darkframe)

- Offsetbild: O_{xy}
  (andere Bezeichnungen Bias, Biasframe)

- Dithering

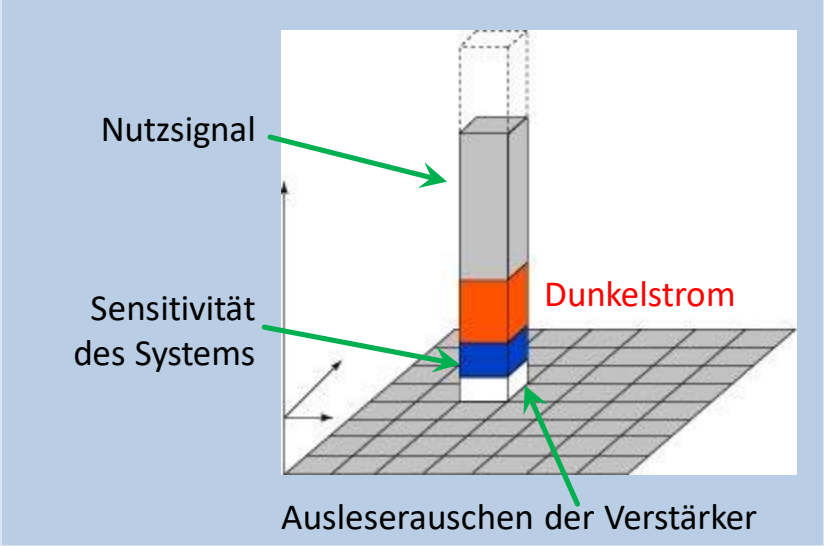
Nicht immer sind alle drei Maßnahmen erforderlich.

2.2. Elektrische Störquellen
2.2.1 Dunkelstrom

Eine Ladungstrennung im CCD-Element erfolgt leider nicht nur wenn ein Photon das Element trifft.
Eine Ladungstrennung und somit ein von Null verschiedener Messwert entsteht auch durch die unvermeidbare thermische Bewegung im Halbleiter.

Der durch diesen Effekt verursachte Auslesewert hängt ab von:

a) Temperatur des Chips. 6-7°C Temperaturerhöhung bewirken bei sonst gleichen Parametern eine Verdopplung der Amplitude.
b) Dauer der „Belichtung“.
c) Der Erwärmung des Chips während der Belichtung.
d) Bei der DSLR: ISO-Wert

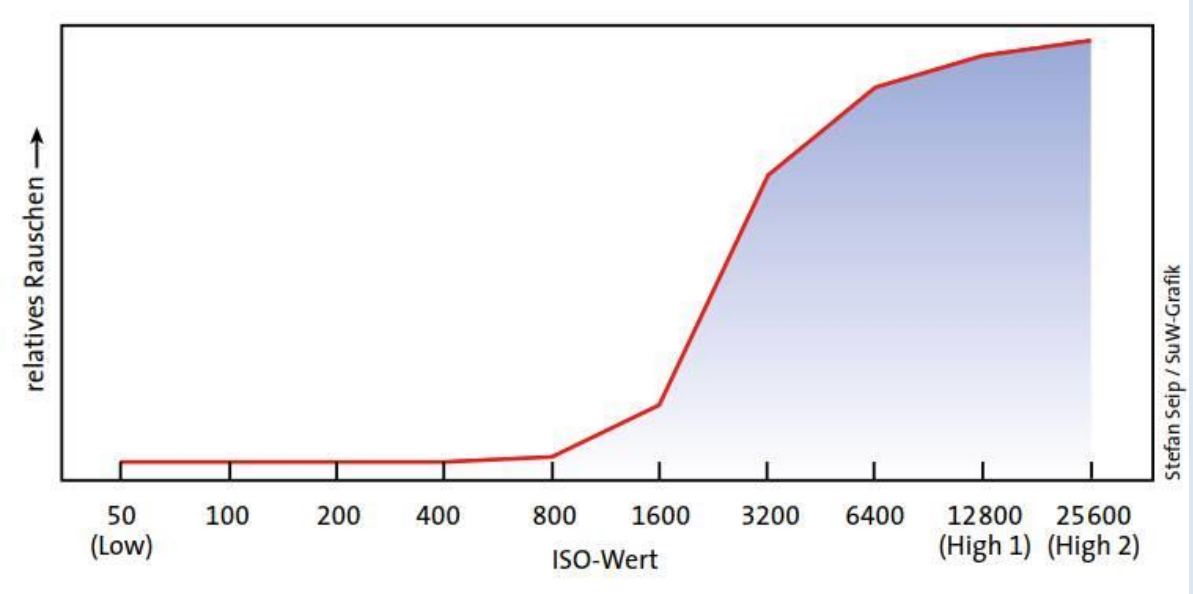


Fehler im Auslesewert eines Pixels
(www.astro-siggi.de/tutorial-ccd-technik.html)

Bemerkung:
Zur Minimierung des Dunkelstromes werden die Chips von Astrokameras für Langzeitbelichtungen meist gekühlt.

Beispiel: 42°C unter Umgebungstemperatur ergibt eine Rauschreduktion auf $^{1}/_{2^7} = {}^{1}/_{128}$!

2.2.1 Dunkelstrom
ISO-Wert der DSLR



Rauschverhalten EOS 5D MkII
Ab ISO 800 steigt das Rauschen deutlich an. Unterhalb dieses Werts ist das Rauschverhalten für astrofotografische Anwendungen unkritisch.

(SuW 09/2011, S.78 ff., Stefan Seip, Das beste Pferd im Stall.)

Bei einem Bildsensor ist die „Empfindlichkeit“ nicht einstellbar. Lediglich die nachgeschalteten Verstärkerstufen können in ihrer Verstärkung geregelt werden. Da das gesammelte Signal verstärkt wird, ist das im Bild beobachtete Rauschen bei höheren ISO-Werten stärker als bei niedrigen ISO-Werten.

Praxisregel ISO-Wert:
- so hoch wie nötig und so niedrig wie möglich
- längeres Belichten Vorzug vor höherem Wert
- EOS 5D MkII des Autors:
  - ISO 800 sehr gut
  - ISO 1600 kaum schlechter
  - ISO 3200 nur in Ausnahmefällen

2.2.1 Dunkelstrom Kühlung

Kameras ohne Kühlung
(typ.: DSLR)

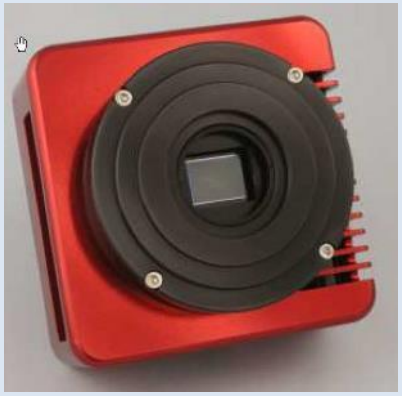
- In der Regel nur einsetzbar, wenn sie einen geringen Dunkelstrom aufweisen.
- Kalibration bleibt fast immer ein Kompromiss, weil Aufnahmetemperaturen von Light- und Darkframe selten übereinstimmen.
- Alternative: interne Rauschunterdrückung (s. Kap. 3.4.4)

Kameras mit ungeregelter Kühlung
(typ: aufwendigere Guiding- oder Planetenkamera)

- Sie erreichen geringe Dunkelströme.
- Kalibration nur mir verminderter Genauigkeit möglich, weil Aufnahmetemperaturen von Light- und Darkframe nicht genau übereinstimmen

Kameras mit geregelter Kühlung
(typ. Astrokamera)

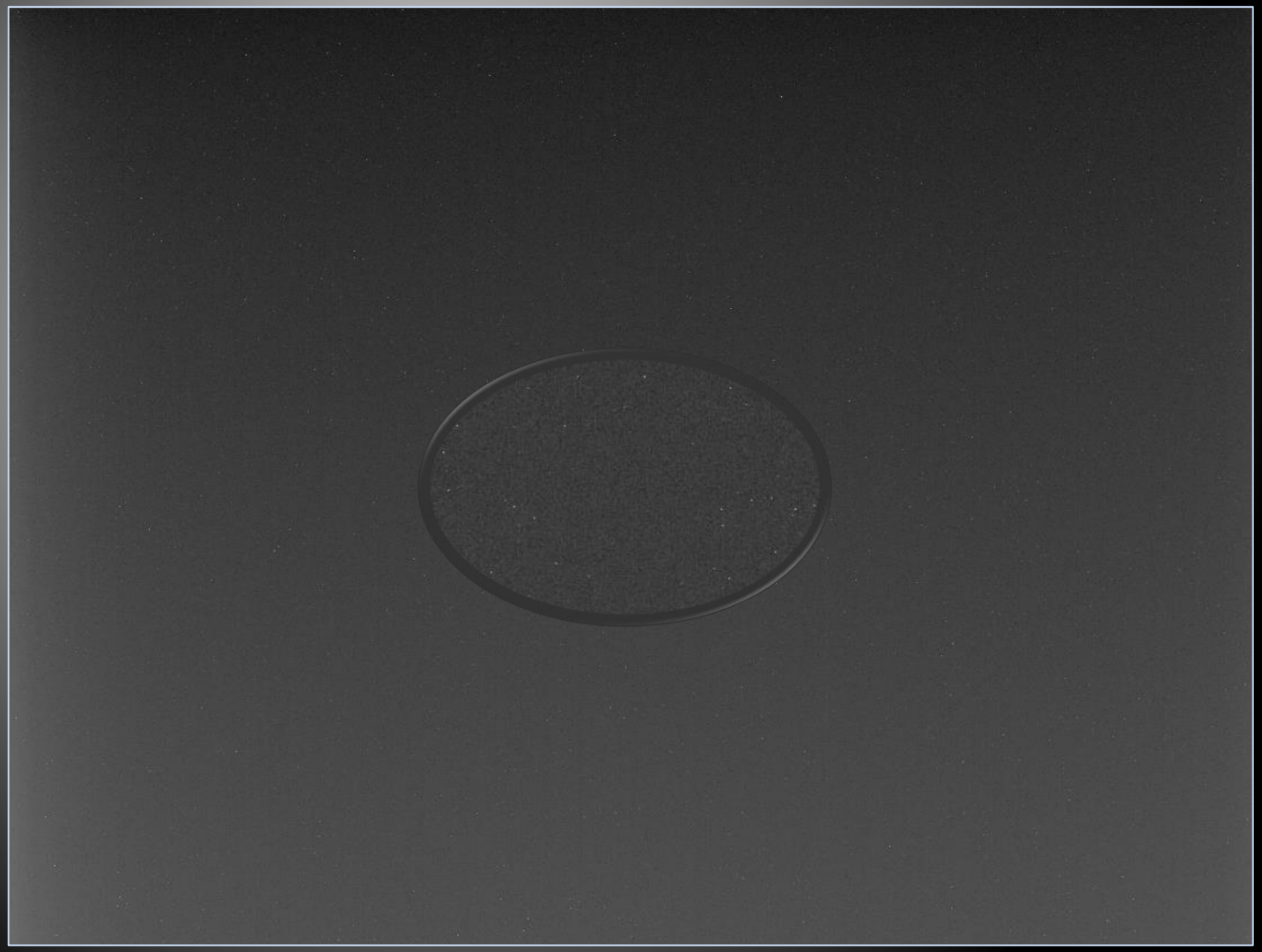
- Dunkelstrom gering wegen tiefer Chiptemperatur.
- Dunkelstrom reproduzierbar, weil Solltemperatur genau genug eingehalten werden kann.
- Kalibration mit guter Genauigkeit möglich.
- Verwendung einer Dark-Bibliothek möglich.



2.2 Elektrische Störquellen
2.2.1 Dunkelstrom

Beispiel
Dark-Aufnahme

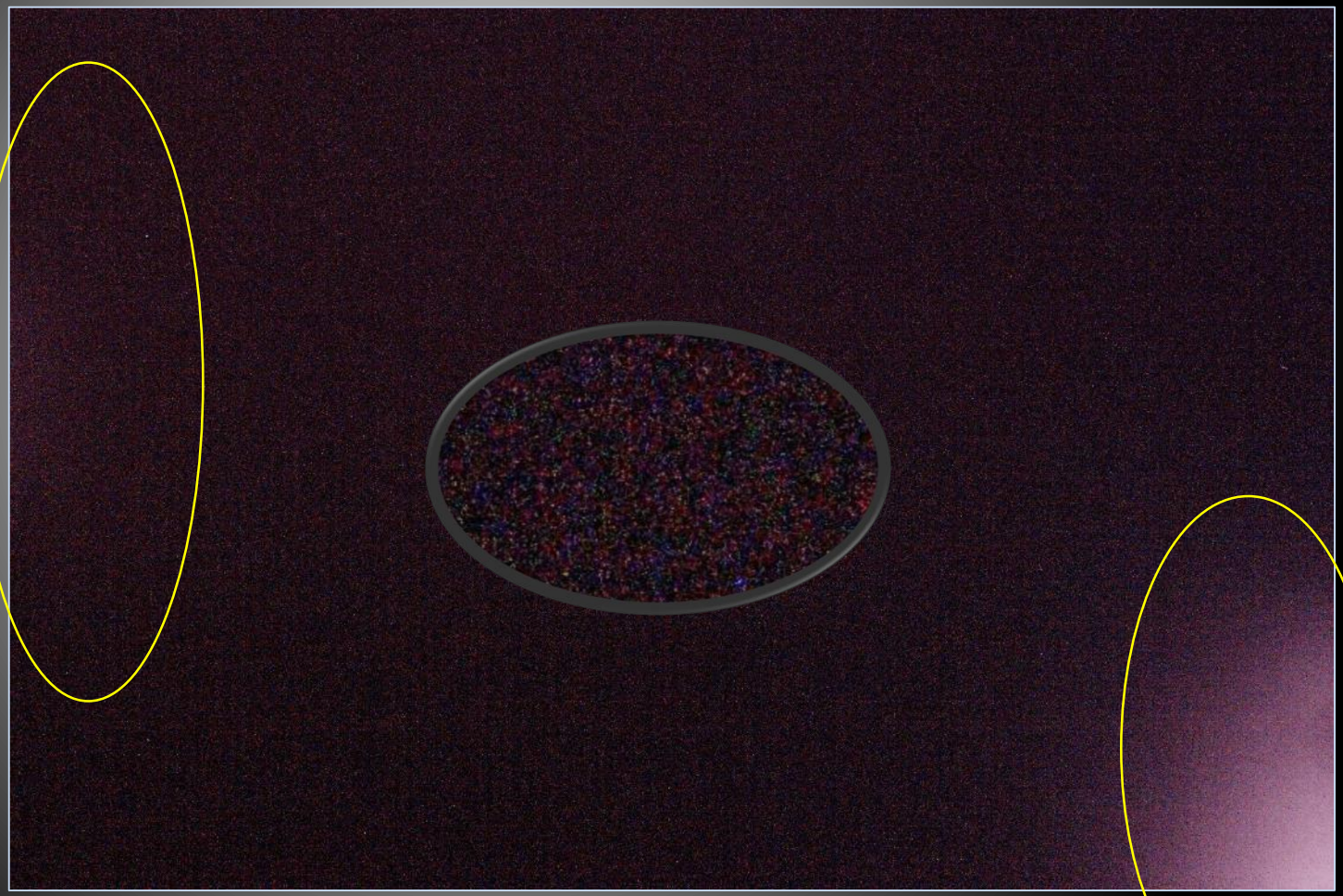
Atik 383+
KAF-8300 (2008)
240 s
29.01.2013
-20°C



2.2 Elektrische Störquellen
2.2.1 Dunkelstrom

Beispiel
Dark-Aufnahme

EOS 350Da (2005)
240 s
ISO 800
25.03.2012
ca. 8°C

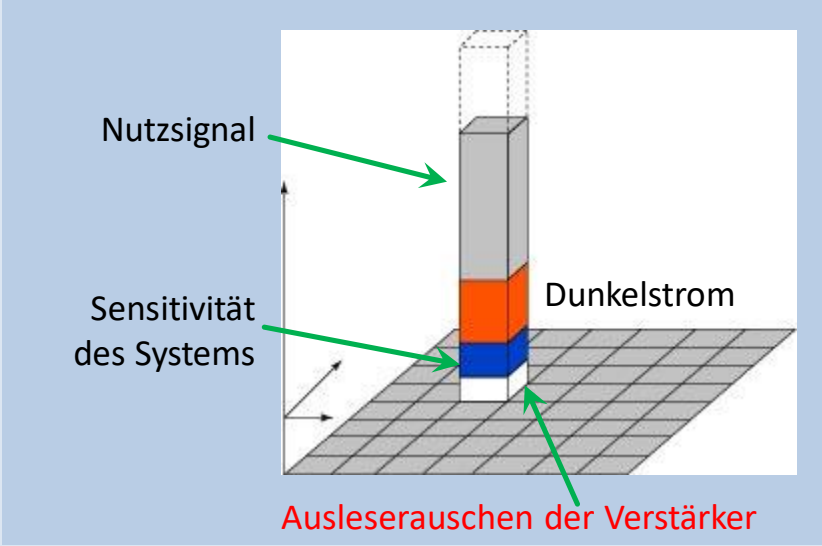


Gelb markiert: „Verstärkerglühen“. Dieser aus der Röhrentechnik stammende Begriff findet hier fälschlicherweise Verwendung. Es handelt sich vermutlich um Regionen des Chips, die aufgrund von elektronischen Komponenten in der unmittelbaren Nähe aufgeheizt werden, also lokal erhöhtes Dunkelrauschen.

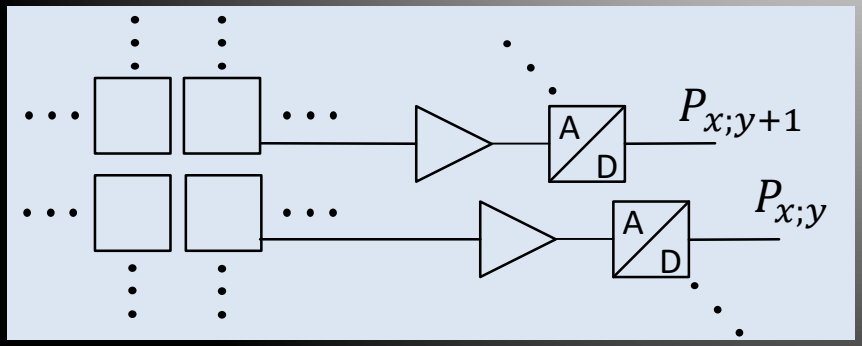
2.2 Elektrische Störquellen
2.2.2 Ausleserauschen der Verstärker

Die Ladungen der einzelnen Zellen müssen einer Verarbeitung zugeführt werden. Dazu werden sie mit einem geeigneten Ausleseverfahren ausgelesen. Bestandteil aller Ausleseverfahren ist eine Verstärkung mit nachfolgender Analog zu Digital Umsetzung.

Während dieses Prozesses wird dem Nutzsignal eine weitere Rauschkomponente (Ausleserauschen) hinzugefügt.



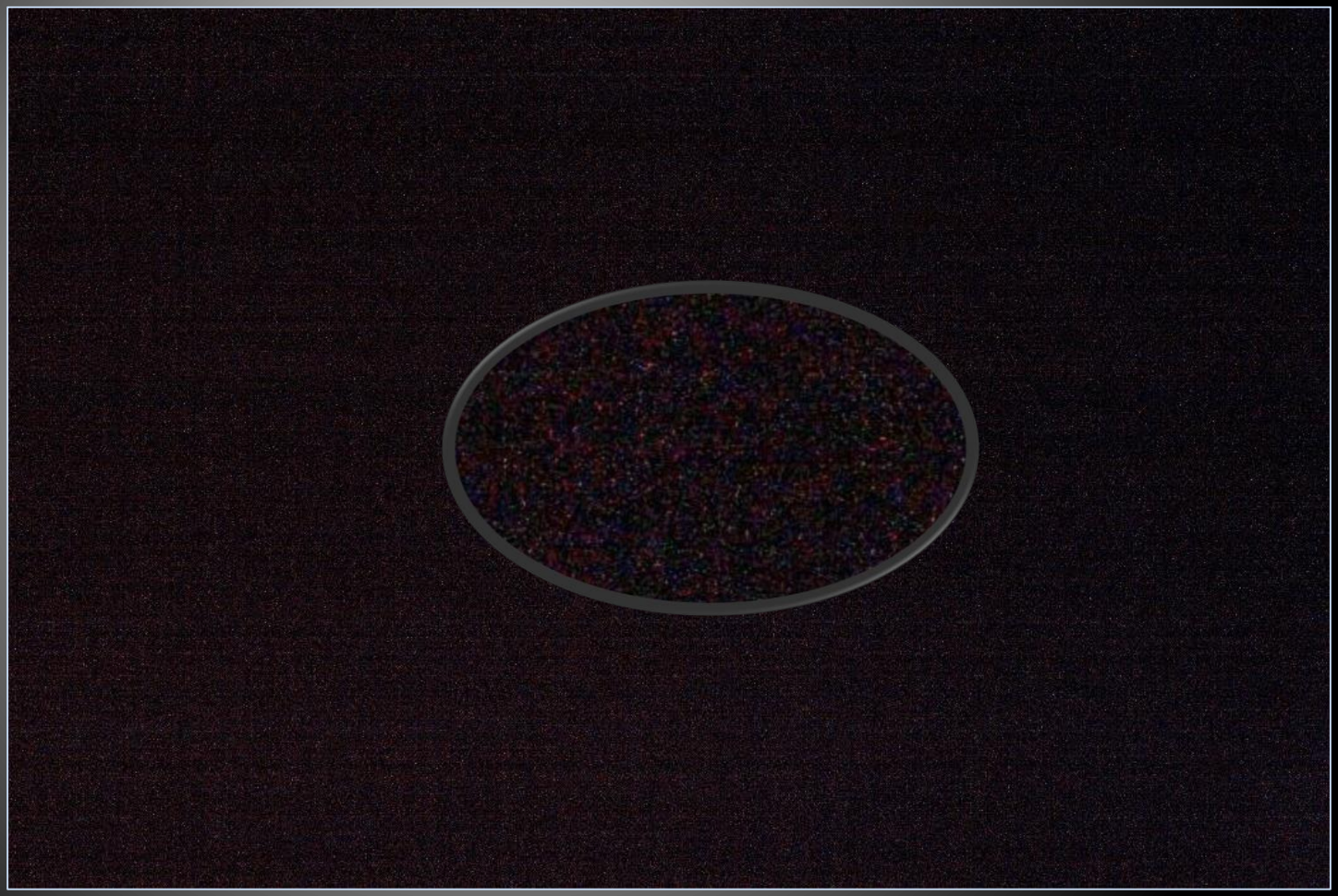
Fehler im Auslesewert eines Pixels
(www.astro-siggi.de/tutorial-ccd-technik.html)



2.2 Elektrische Störquellen
2.2.2 Ausleserauschen der Verstärker

Beispiel
Bias-Aufnahme

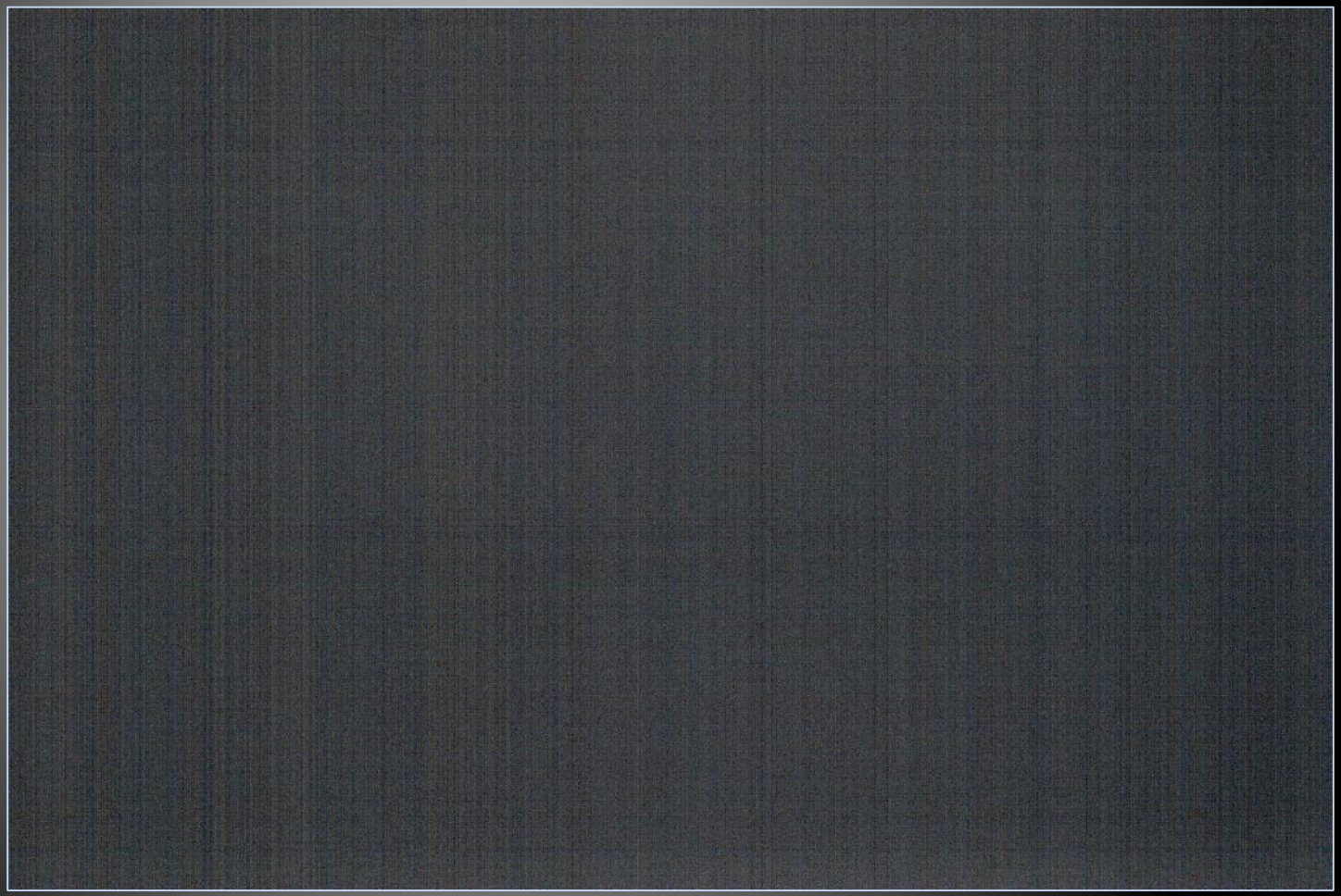
EOS 350Da (2005)
1/4000 s
ISO 800
25.03.2012
ca. 8°C



2.2 Elektrische Störquellen
2.2.2 Ausleserauschen der Verstärker

Beispiel
Bias-Summenbild

EOS 5Da MkII (2011)
12x1/8000 s
ISO 800
30.06.2016
ca. 14°C



2.3 Störungen des optischen Pfades

- Vignettierungen
- Verunreinigungen im optischen Weg
- Staub oder Fussel auf Chip
- Schwankungen der Pixelempfindlichkeit

Obwohl hier wenige Störungen aufgezählt sind, haben diese Störungen jedoch in der Regel deutlich sichtbare Auswirkungen im resultierenden Astrofoto. Daher ist die Anfertigung und Berücksichtigung von Flatframes in der Regel bei jedem Astrofoto empfehlenswert.

Die hier auf gezählten Störungen lassen sich weitgehend kompensieren durch Verwendung von:

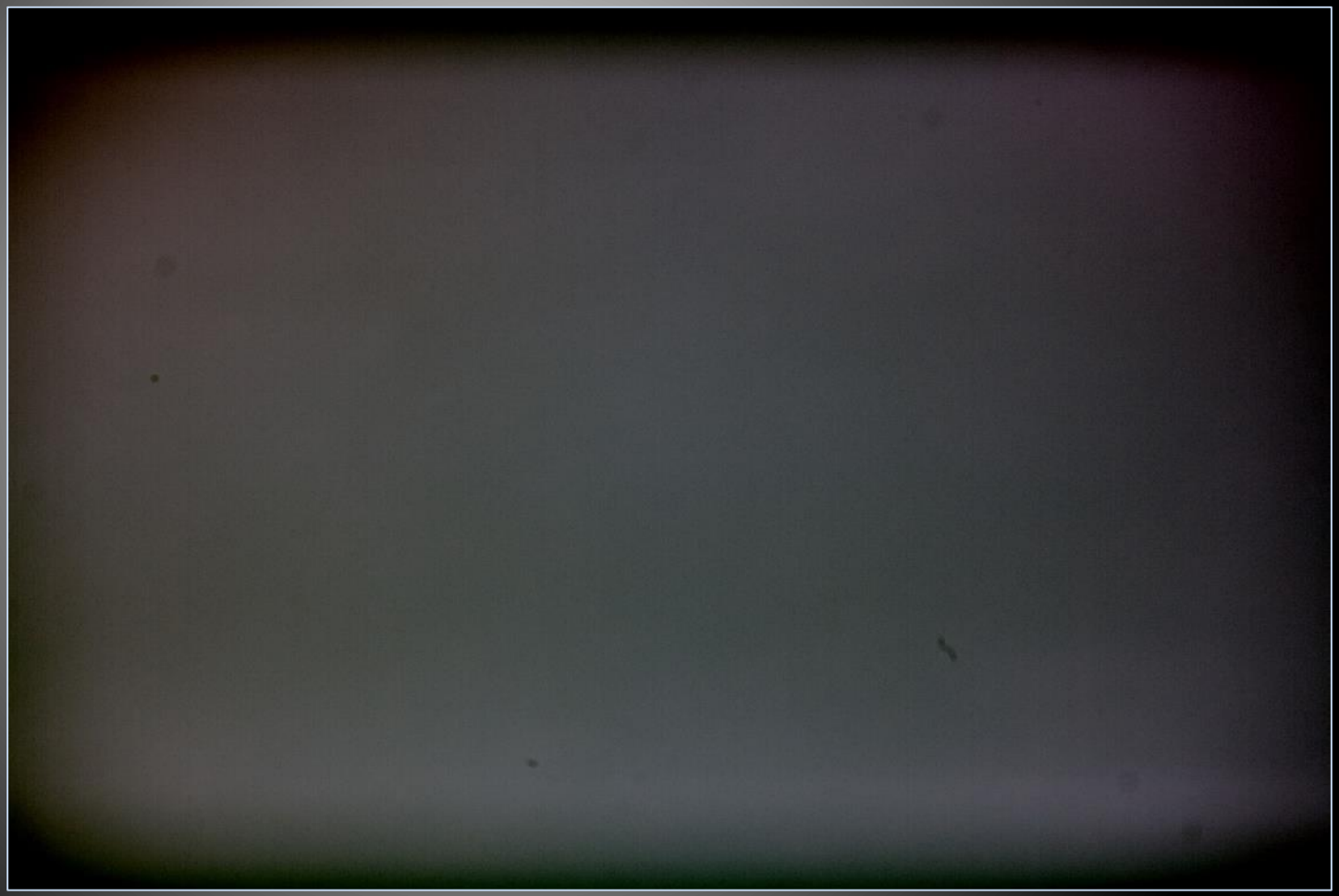
Hellbild: F_{xy}
(andere Bezeichnungen Flat, Flatframe)

Bemerkung:
Die Korrektur von Abbildungsfehlern jeder Art, einschließlich Verkippungen ist auch mit einem Flat nicht möglich.

2.3 Störungen des optischen Pfades

Beispiel
Flat-Summenbild

EOS 5Da MkII
ISO 800
01.07.2016

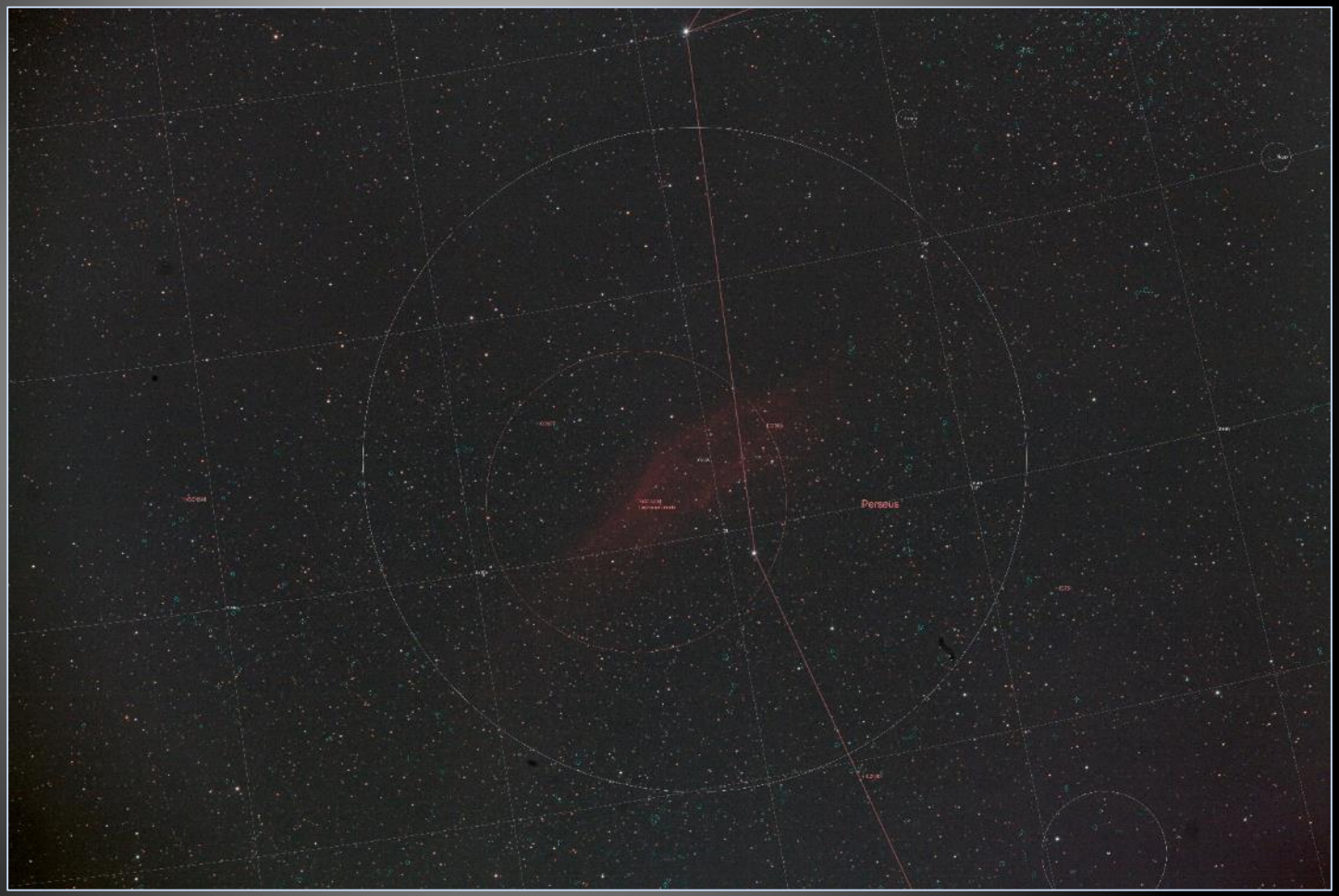


2.3 Störungen des optischen Pfades
Aufnahme ohne Flat

Beispiel

Californianebel
(unkalibriert)

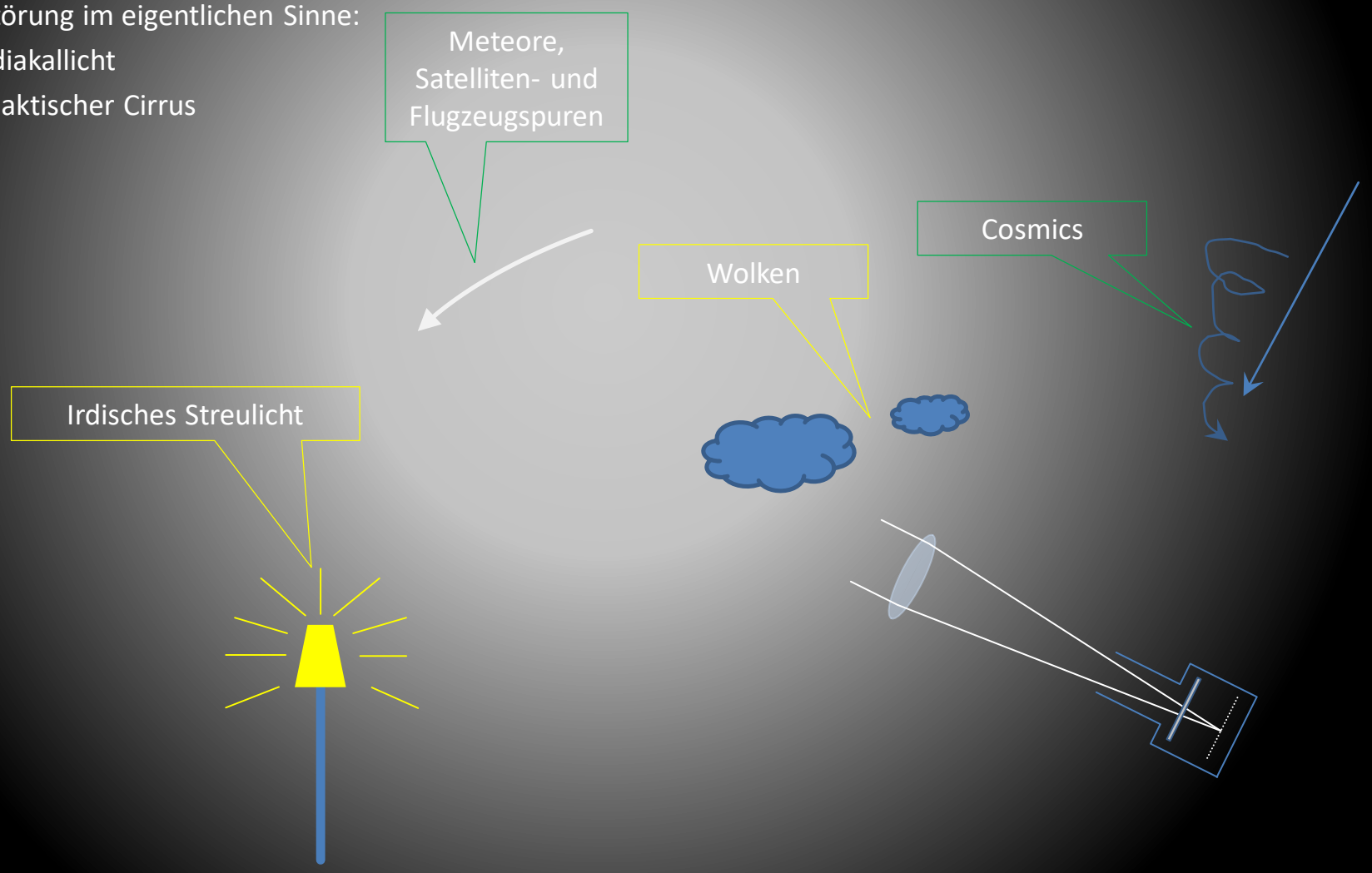
EOS 5Da MkII
16.03.2016
StarAdventurer
240 sec
EF-L 200m bei f/5.6
ISO 400
Mond k=0.6



2. Störungen im Bildsignal
2.4 Umweltbedingte Störungen

Keine Störung im eigentlichen Sinne:

- Zodiakallicht
- Galaktischer Cirrus



2.4 Umweltbedingte Störungen

„Störungen“ die zwar einen sichtbaren physikalischen Prozess als Ursache haben, der aber im Bild nicht erwünscht ist:

- Cosmics
- Meteorspuren
- Satellitenspuren
- Flugzeugspuren

Die hier auf gezählten Störungen / Ausreißer lassen sich aufgrund ihrer statistischen Eigenschaften weitgehend kompensieren durch die Verwendung von geeigneten Mittelungsverfahren.

Bemerkung:

- Einfachster Fall: Mittelwert, dieser unterdrückt die hier betrachteten Ausreißer meist unzureichend.
- Meist deutlich wirksamer: Median-Filterung.
- Vielzahl weiterer Verfahren verfügbar.

2.4 Umweltbedingte Störungen

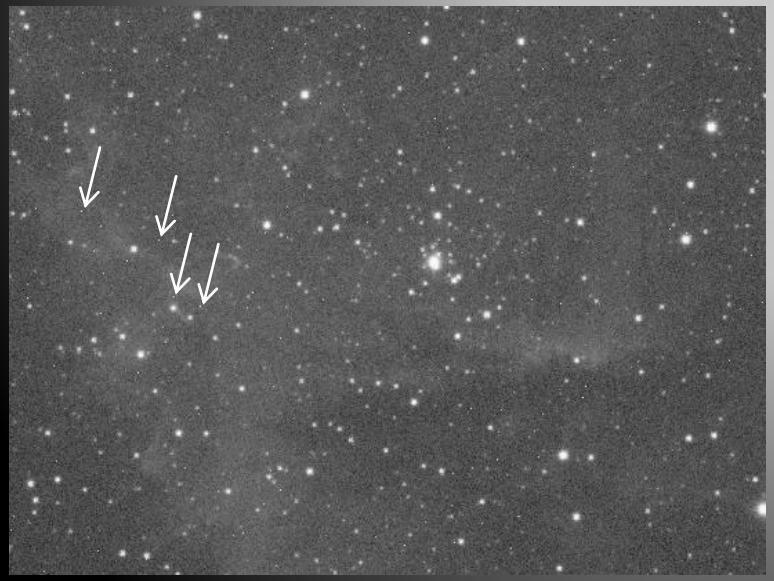
Video zur Demonstration von:

- Cosmics
- Meteorspur

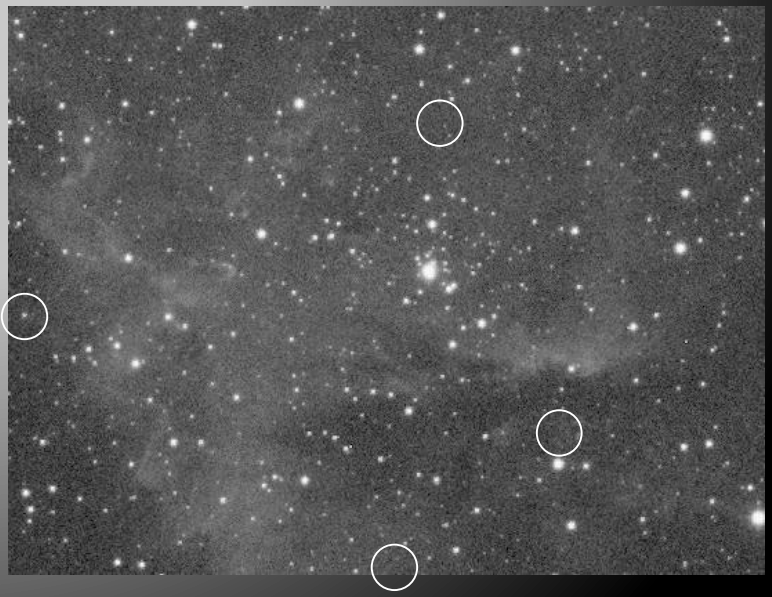
Beispiel NGC281:

- 13 x 20min SII
- 100mm f/4.1
- Atik 383+

unkalibrierte Lightframes, dithered



zusätzlich kalibriert und registriert



Ende des 1. Teils

1. Grundlagen:
   1. Median, arithmetischer Mittelwert
   2. Beschreibung des Digitalfotos.
2. Störungen im Bildsignal
   1. Übersicht
   2. Elektrische Störungen
   3. Störungen des optischen Pfades
   4. Umweltbedingte Störungen
3. Kalibrierung
   1. Beschreibung
   2. Erstellung der Korrekturdaten
   3. Durchführung
   4. Kalibrierung ohne Darks
4. Integration
   1. SNR
   2. Beispiel

kai-wicker@nord-com.net

Ende des 1. Teils

1. Grundlagen:
    1. Median, arithmetischer Mittelwert
    2. Beschreibung des Digitalfotos.
2. Störungen im Bildsignal
    1. Übersicht
    2. Elektrische Störungen
    3. Störungen des optischen Pfades
    4. Umweltbedingte Störungen
3. Kalibrierung
    1. Beschreibung
    2. Erstellung der Korrekturdaten
    3. Durchführung
    4. Kalibrierung ohne Darks
4. Integration
    1. SNR
    2. Beispiel

kai-wicker@nord-com.net