

DSLR-Photometrie

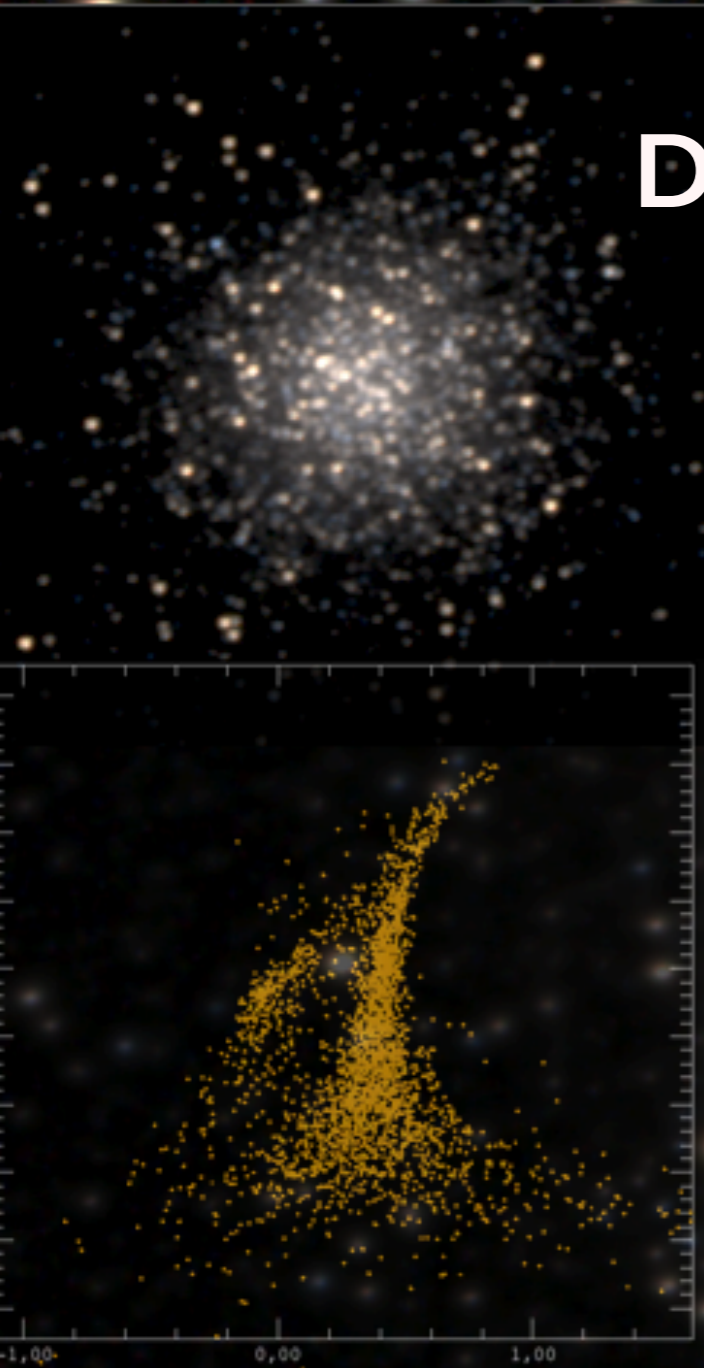
Der Helligkeit aufs Bit geschaut

Thilo Bauer

BAV Mitgliederversammlung

10.-12. Oktober 2014 in Nürnberg

info@astroinformatics.de



Inhalt

CCD vs. DSLR
Kenngrößen der DSLR
Optimale Einstellung
Diskussion

CCD vs. DSLR

Die Kontrahenten und ihre Vorteile:

CCDs sind extrem empfindlich

CCDs sind linear

CMOS Sensoren rauschen

CMOS Farbkameras haben reduzierte Empfindlichkeit

CCD vs. DSLR

Die Kontrahenten und ihre ~~Vorteile~~ Vorurteile:

CCDs sind extrem empfindlich

CCDs sind linear

CMOS Sensoren rauschen

CMOS Farbkameras haben reduzierte Empfindlichkeit

Kenngrößen der DSLR

Die Fakten:

Ein Review von CCD-Systemen in einem für Amateure erschwinglichen Preisgefüge ergibt eine bezahlbare Untergrenze für das Detektorrauschen von

$$\sigma_{\text{Bias}} > 10 e^-$$

(laut Herstellerangaben).

Die Kosten solcher Kameras liegen im Bereich 2.000 - 8.000 EUR.

Kenngrößen der DSLR

Frage:

Wie kann man die Detektor Eigenschaften eines CCD mit denen einer DSLR vergleichen?

Kenngrößen der DSLR

Frage:

Wie kann man die Detektor Eigenschaften eines CCD mit denen einer DSLR vergleichen?

Antwort:

Rauschgrößen und Empfindlichkeit müssen vermessen werden.

Kenngrößen der DSLR

Um die Empfindlichkeit einer DSLR zu bestimmen geht man genau so vor, wie man es bei einem CCD tut:

- 2× Bias Frames
- 2× Flat Field Frames
- 2× Dark Frames

Bias Frame: Aufnahme bei möglichst kurzer Belichtungszeit.
Beispielsweise Dark Frame zum Flat Field Frame.

Kenngrößen der DSLR

Rauschen der
Einzelaufnahmen

Bias Frame, 1/100 sec

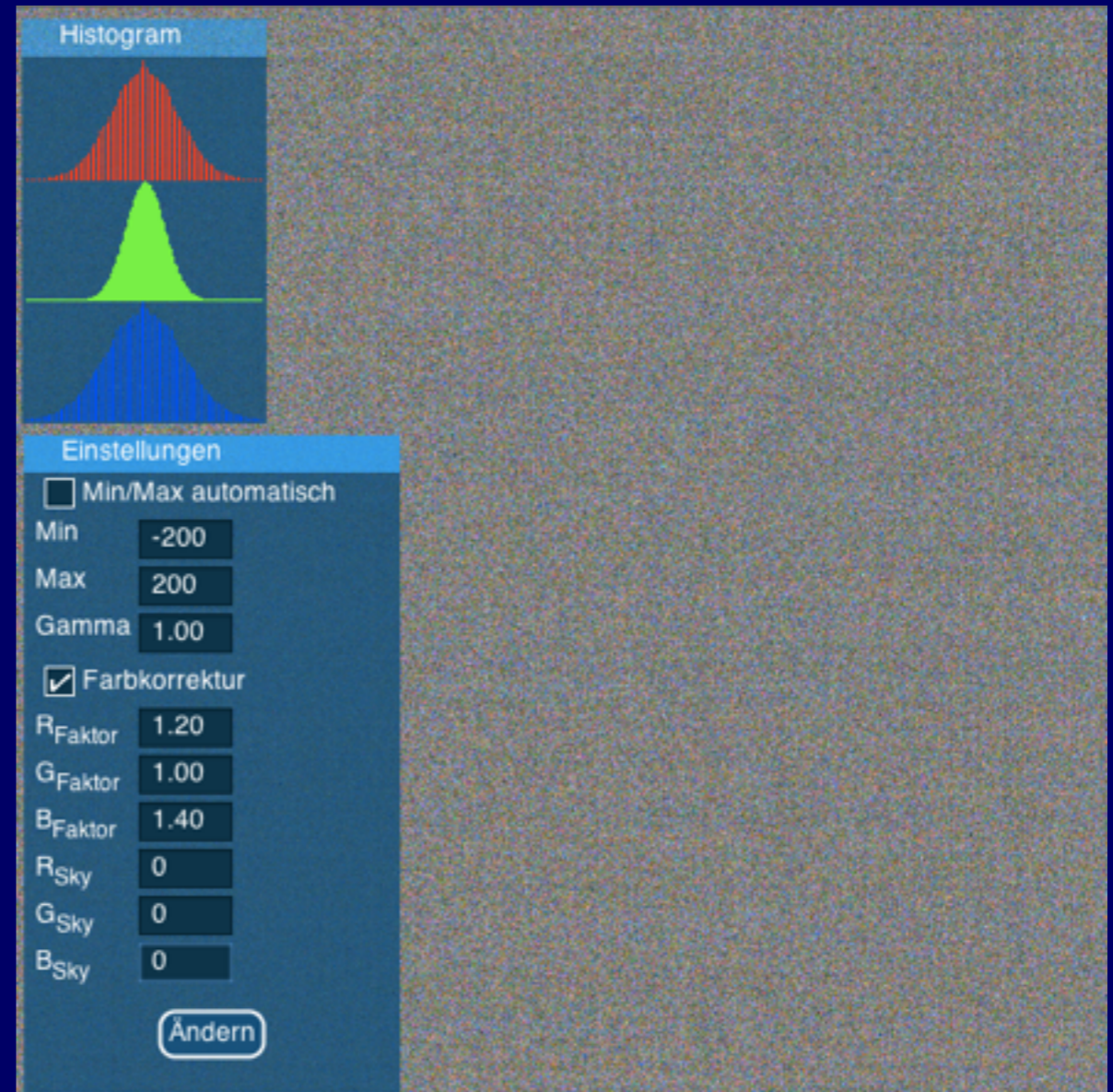
$M_{\text{Bias}} = 8192.84 \text{ ADU}$

$\sigma_{\text{Bias}} = 23.72 \text{ ADU}$

Dark Frame, 30 sec

$M_{\text{Dark}} = 8193.96 \text{ ADU}$

$\sigma_{\text{Dark}} = 25.04 \text{ ADU}$



Kenngrößen der DSLR

Korrektur auf originale
14 Bit Kamerawerte:

Bias Frame, 1/100 sec

$M_{\text{Bias}} = 2048.21 \text{ ADU}$

$\sigma_{\text{Bias}} = \mathbf{5.93 \text{ ADU}}$

Dark Frame, 30 sec

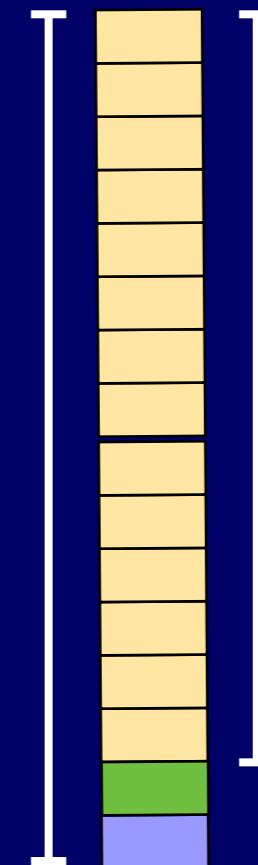
$M_{\text{Dark}} = 2048.49 \text{ ADU}$

$\sigma_{\text{Dark}} = \mathbf{6.26 \text{ ADU}}$

Canon EOS 60D

Camera RAW
= TIFF, 16 Bit

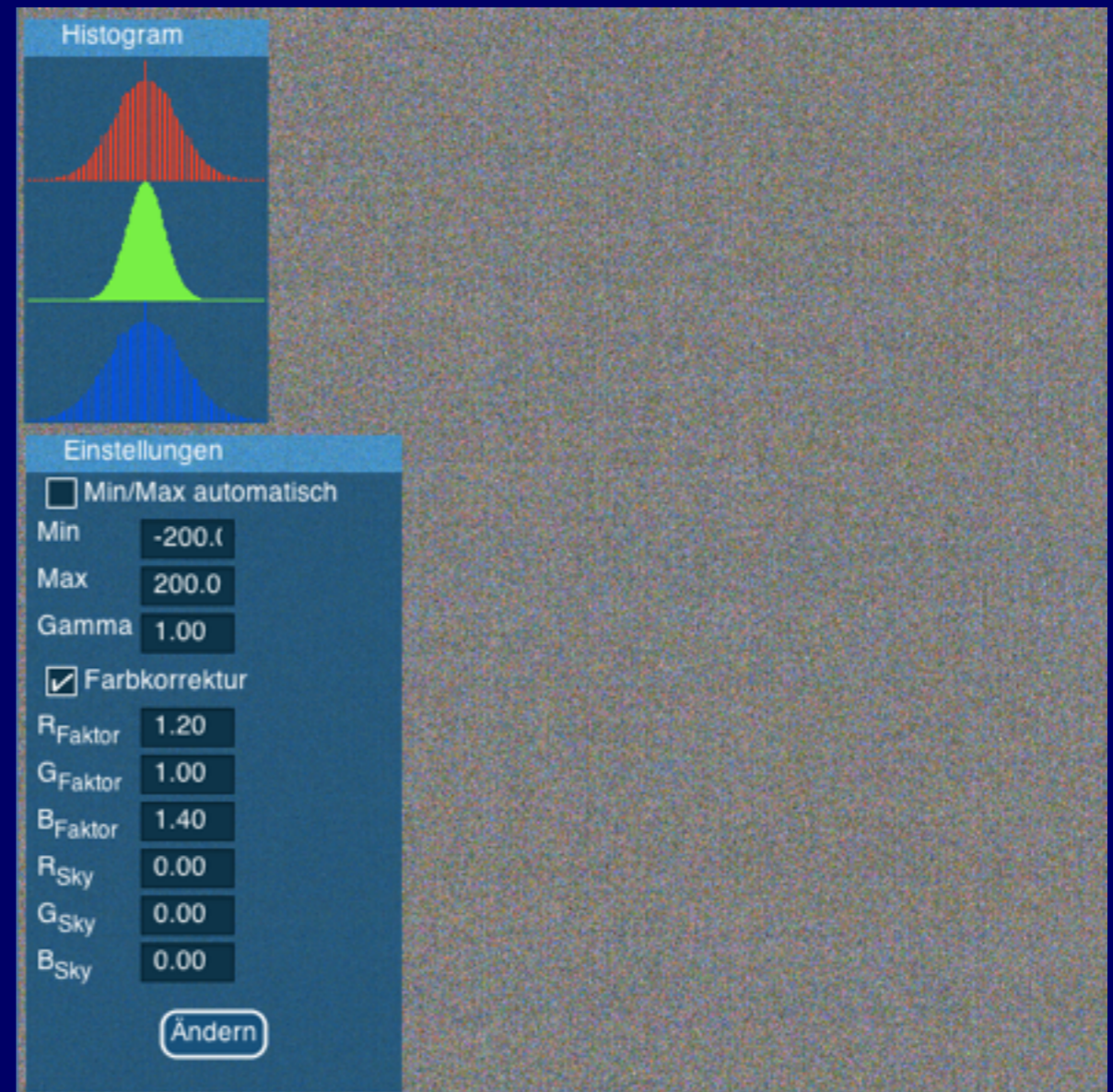
ADC:
14 Bit



Kenngrößen der DSLR

Rauschen aus Differenz
der beiden Bias Frames
(1/100 Sek).

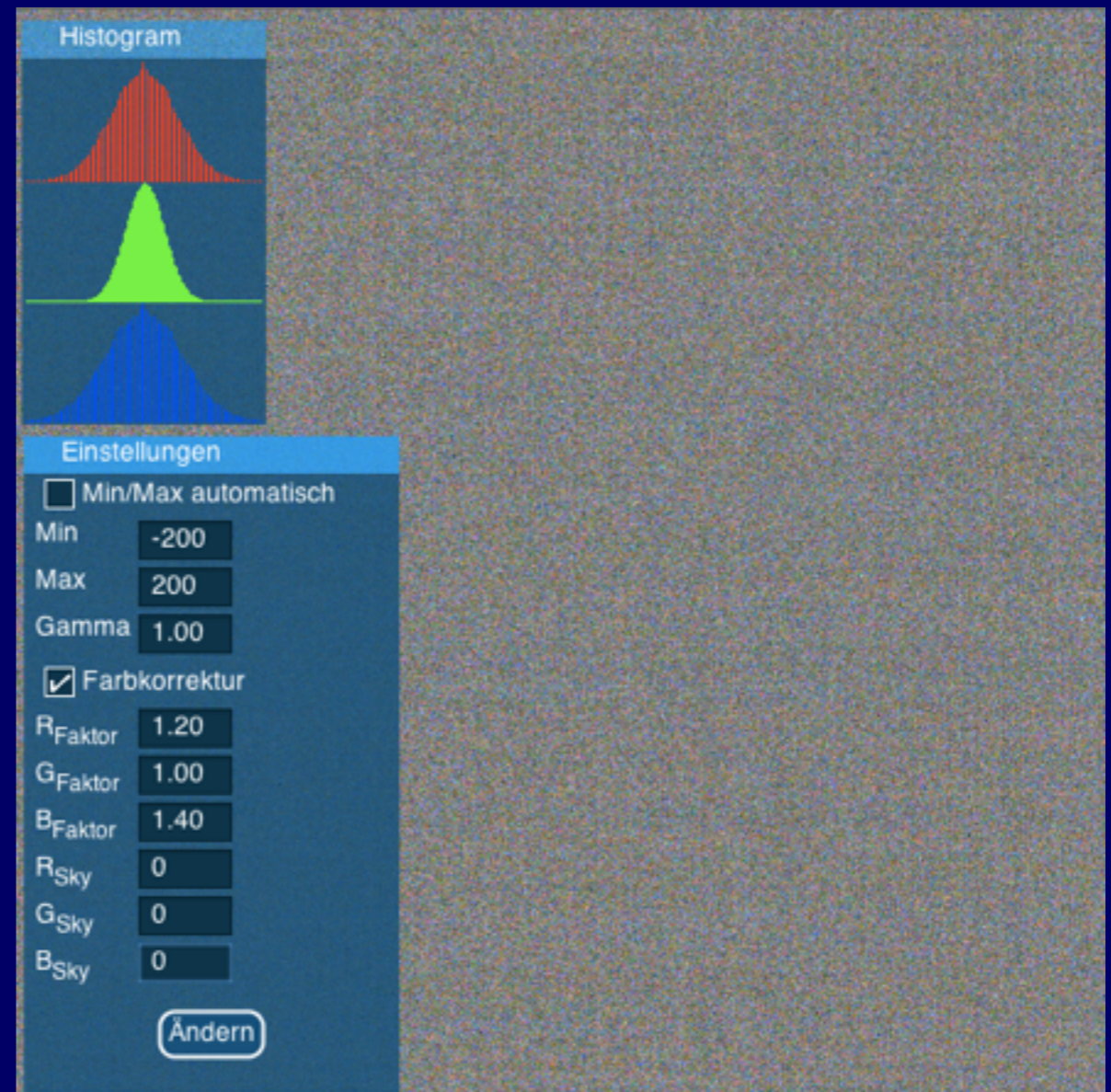
$$\sigma_{\text{Bias}} = 8.08 \text{ ADU}$$



Kenngrößen der DSLR

Rauschen aus Differenz
der beiden Dark Frames
(30 Sekunden)

$$\sigma_{\text{Dark}} = 8.25 \text{ ADU}$$



Kenngrößen der DSLR

Den CCD-Beobachter wird das überraschen:

Eine ungekühlte DSLR Kamera
bei einer Umgebungstemperatur von 17°C (Sommer)

Ergebnis:

Die beiden Mittelwerte M_{Bias} und M_{Dark}
sowie die Standardabweichungen σ_{Bias} und σ_{Dark}
unterscheiden sich kaum.

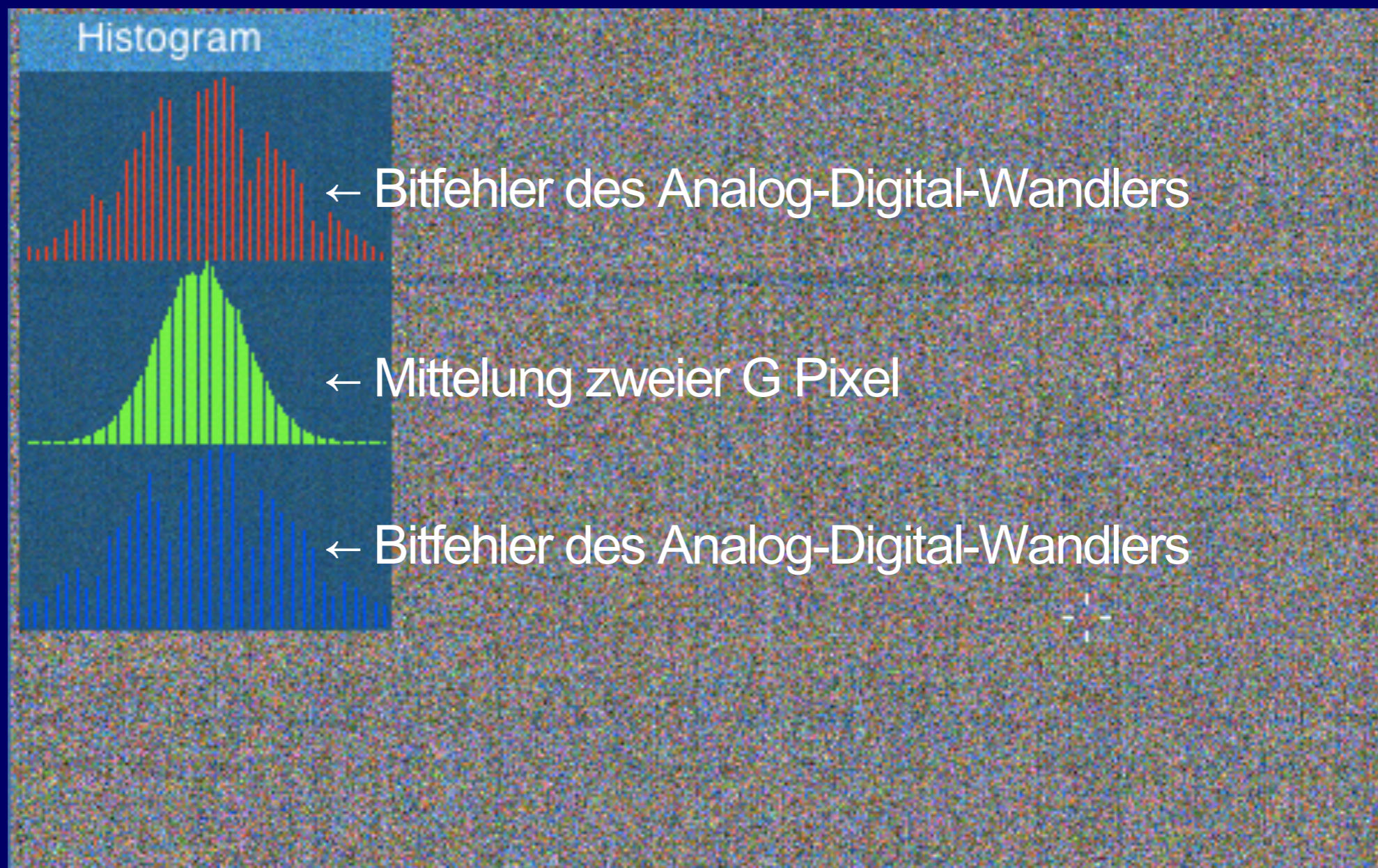
Kenngrößen der DSLR

Fixed Pattern Noise – Helligkeit $\times 300$



Kenngrößen der DSLR

Histogramm



Kenngrößen der DSLR

Elektronische Effekte

- Fixed Pattern Noise
- Bit-Fehler des ADC
- Hot Pixel (zeitlich variabel)
- Cosmics

Diese Effekte findet man auch beim CCD.

Sie lassen sich mit bekannten Methoden kompensieren.

Kenngrößen der DSLR

Temperaturabhängigkeit:

- Zeitlich (langsam) variable Hotpixel
- Kaum Anstieg des Dunkelstroms bei langer Belichtungszeit
- Fällt deutlich weniger in Gewicht als beim CCD

Kenngrößen der DSLR

Trend:

Die seit 2007 von mir getesteten Modelle

- Canon EOS 400D
- Canon EOS 40D
- Canon EOS 60D

zeigen mit jeder neuen Generation ein verringertes Rauschen.

Bereits die EOS 40D hat mit ihren Rauschwerten diejenigen von Amateur CCD Kameras unterboten.

Optimale Einstellung

Für Poisson Rauschen ergibt sich folgende Beziehung für die Standardabweichung $\sigma_{electrons}$ und die Intensitäten des gemessenen Flat Fields $F_{electrons}$:

$$\sigma_{electrons} = \sqrt{F_{electrons}}$$

Die gemessenen Pixelwerte in [ADU] enthalten noch die unbekannte Elektronen-Konversionsrate g :

$$g \cdot \sigma_{electrons} = \sqrt{g \cdot F_{electrons}}$$

$$\Rightarrow g = F_{electrons} / \sigma_{electrons}^2 \quad [e^- / ADU]$$

Optimale Einstellung

Für die Bestimmung kommt das Flat Field ins Spiel:

Flat Field Frame, 1/100 sec

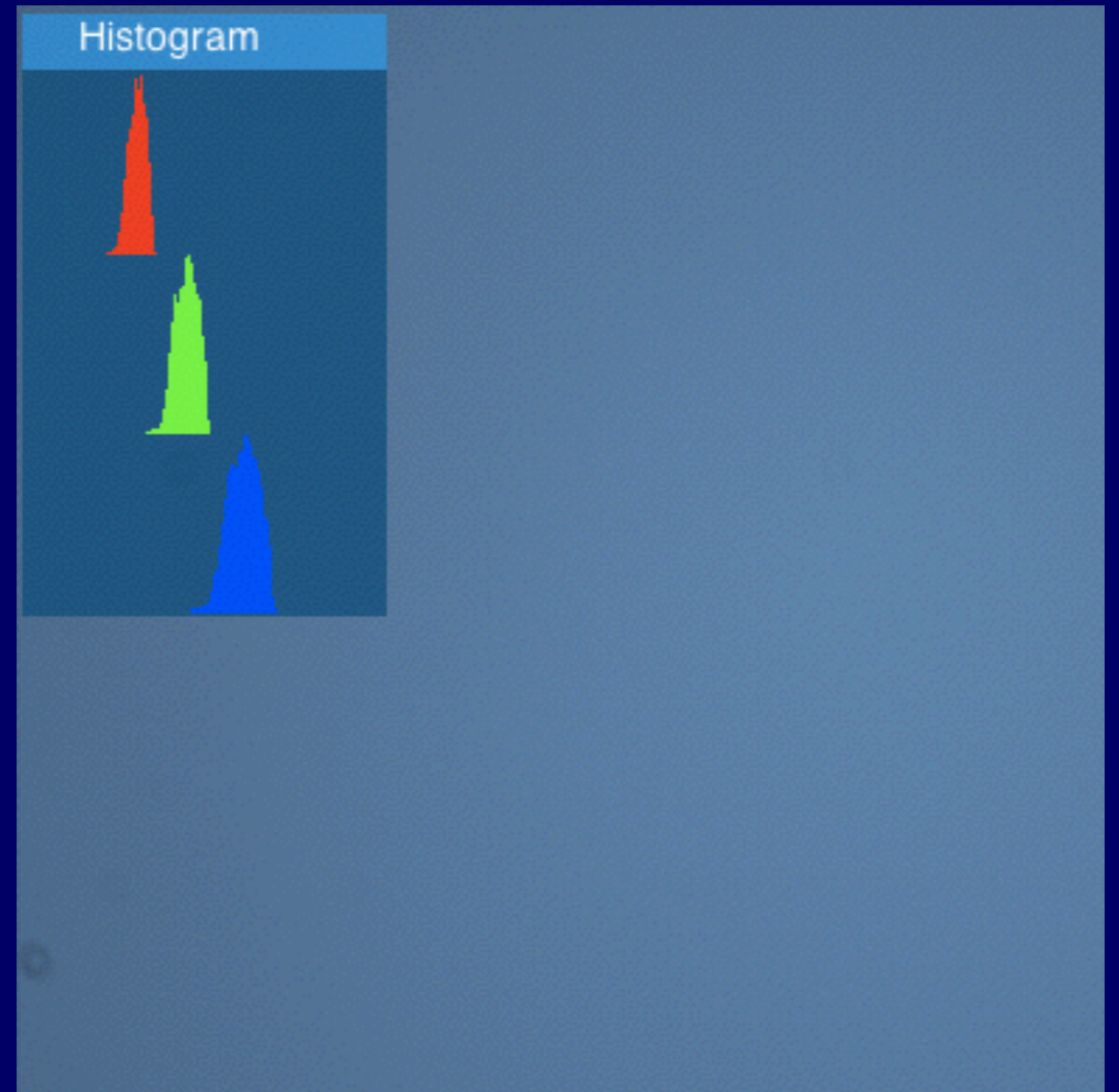
$M_{\text{Bias}} = 13949.91 \text{ ADU}$

$\sigma_{\text{Bias}} = 244.64 \text{ ADU}$

Korrigiert (14 Bit):

$M_{\text{Bias}} = 3462.22 \text{ ADU}$

$\sigma_{\text{Bias}} = 61.16 \text{ ADU}$



Optimale Einstellung

Aus den originalen Pixelwerten der Kamera erhält man

$$g = F_{\text{electrons}} / \sigma_{\text{electrons}}^2 \quad [e^- / \text{ADU}]$$

$$= 3462.22 / (61.16)^2$$

$$= 0.92 \quad [e^- / \text{ADU}]$$

Das ist kleiner als 1!

Optimale Einstellung

Kamera	e	Noise [ADU]	Noise [e]	Bit
Canon EOS 350D	2.67	3.00	8.0	12
Canon EOS 400D	2.74	2.54	7.0	
Canon EOS 20D	3.06	2.35	7.2	
Canon EOS 40D	0.78	8.38	6.5	14
Canon EOS 60D	0.92	5.93	5.4	

- 1) Quelle: Christian Buil, astrosurf
 - 2) Eigene Messung, mäßig belichtetes Flat Field
- Alle Werte bei ISO 400 ermittelt.

Optimale Einstellung

Kamera	e	Noise [ADU]	Noise [e]	Bit
Canon EOS 350D	2.67	3.00	8.0	12
Canon EOS 400D	2.74	2.54	7.0	
Canon EOS 20D	3.06	2.35	7.2	
Canon EOS 40D	0.78	8.38	6.5	14
Canon EOS 60D	0.92	5.93	5.4	

- 1) Quelle: Christian Buil, astrosurf
 - 2) Eigene Messung, mäßig belichtetes Flat Field
- Alle Werte bei ISO 400 ermittelt.

Optimale Einstellung

Elektronen-Konversionsfaktor

$$g = 0.92 < 1 \quad [e^-/\text{ADU}]$$

bedeutet:

- Ein Photoelektron e^- des Sensors entspricht bei ISO 400 bereits mehr als einer Graustufe im Bild
- Höhere ISO Zahlen ergeben keinen Gewinn an verwertbarem Licht-Signal

Optimale Einstellung

Erkenntnis für die Photometrie

- ISO 400 ist eine Obergrenze bei Canon EOS 14-Bit Kameras
- Bessere Dynamik erhält man mit geringeren(!) ISO Zahlen
- Read-Out Noise liegt unterhalb von Amateur CCD Kameras

Optimale Einstellung

Praktische Empfehlung:

- Bei Canon 14 Bit DSLRs sollte die ISO Zahl nicht höher als 400 eingestellt werden (gilt im Prinzip auch für 12 Bit)
- Sinnvolle ISO Einstellung: ISO 100 ... 400

Anmerkung

- Genaue Analyse ergibt, dass höhere ISO Zahlen ein verringertes Read-Out Noise bedeuten. Dies kann im Grenzfall genutzt werden um das Signal vom Stern zu (geringfügig) verbessern.

Optimale Einstellung

Beobachtung mit der DSLR:

- ISO 400 ist ein optimaler Wert
- ISO > 400 schränkt die verfügbare Dynamik ein
- Probebelichtung durchführen und Sättigung beachten
- Sättigung der Sterne kündigt sich NICHT durch Blooming an!
- Seeing Effekte beachten
- Gut belichtete Sterne liegen bei 50% der maximal möglichen Helligkeitswerte im Bild

Diskussion

Trend:

Die seit 2007 von mir getesteten Modelle

- Canon EOS 400D
- Canon EOS 40D
- Canon EOS 60D

zeigten mit jeder neuen Generation ein verringertes Rauschen.

Optimale Einstellung

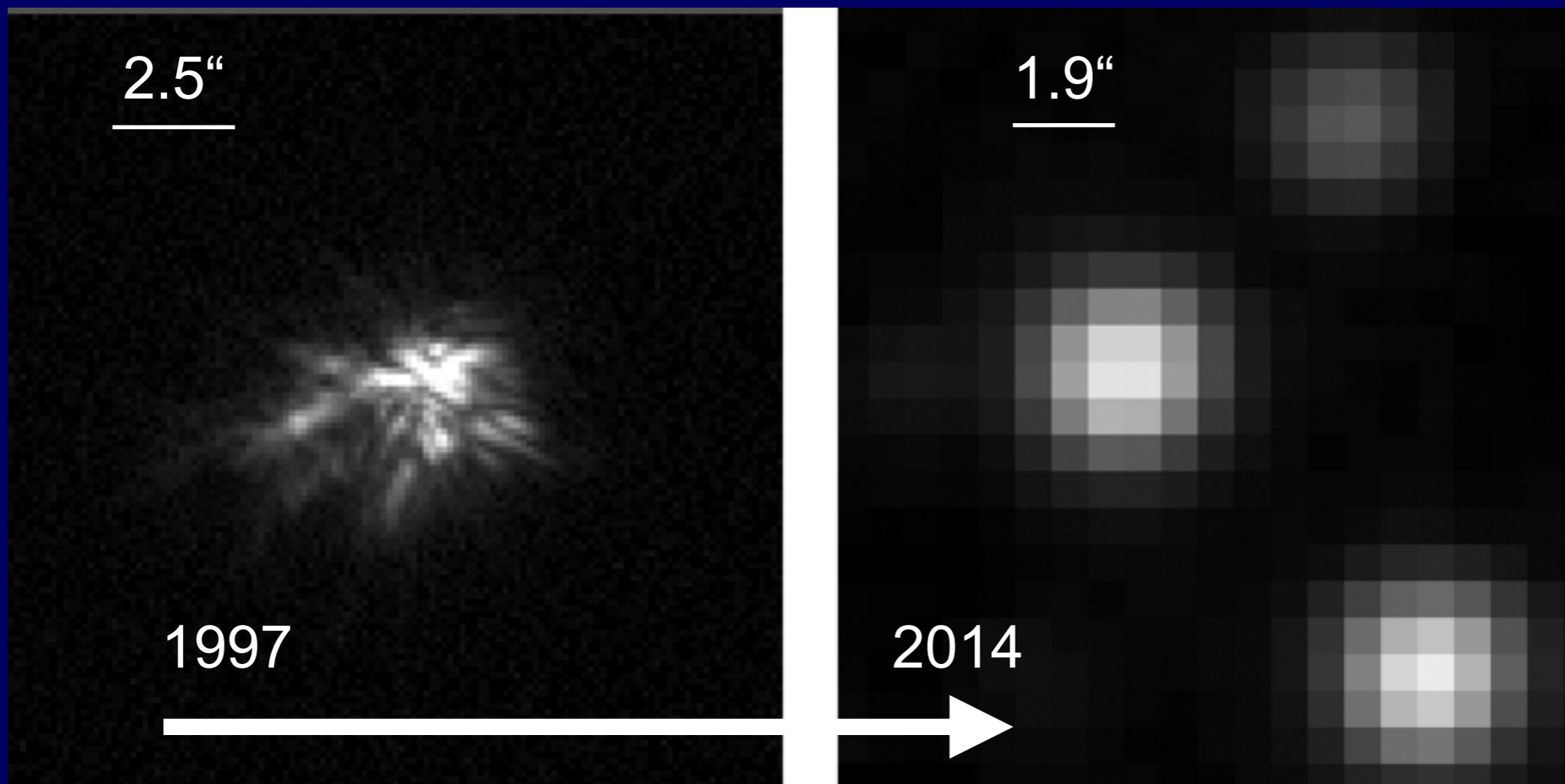
DSLR vs. CCD

- Eine Kühlung benötigen DSLRs nicht
- Die DSLR mit ihrer CMOS Sensor Technologie ist weit weniger temperaturempfindlich
- DSLRs sind wesentlich handlicher als CCDs
- DSLRs ermöglichen Dreifarben-Photometrie

Abbildung

1-m Cassegrain (Hoher List)

20 cm Cassegrain



Optimale Einstellung

Heutige Ausstattung

- Vixen VC110L (Leitrohr)
100mm Canon EF Teleoptik
Canon EOS 40D
astro-modifiziert: UV/IR Filter entfernt
- Vixen VC200L Cassegrain
wahlweise mit Focal Reducer
Canon EOS 60D
astro-modifiziert: UV/IR Filter entfernt
- Astronomik Filtersatz:
UV/IR (L), H α (12nm + 6nm), H β , O $_{III}$, S $_{II}$, IR 807nm, CLS



Optimale Einstellung

NGC 7235

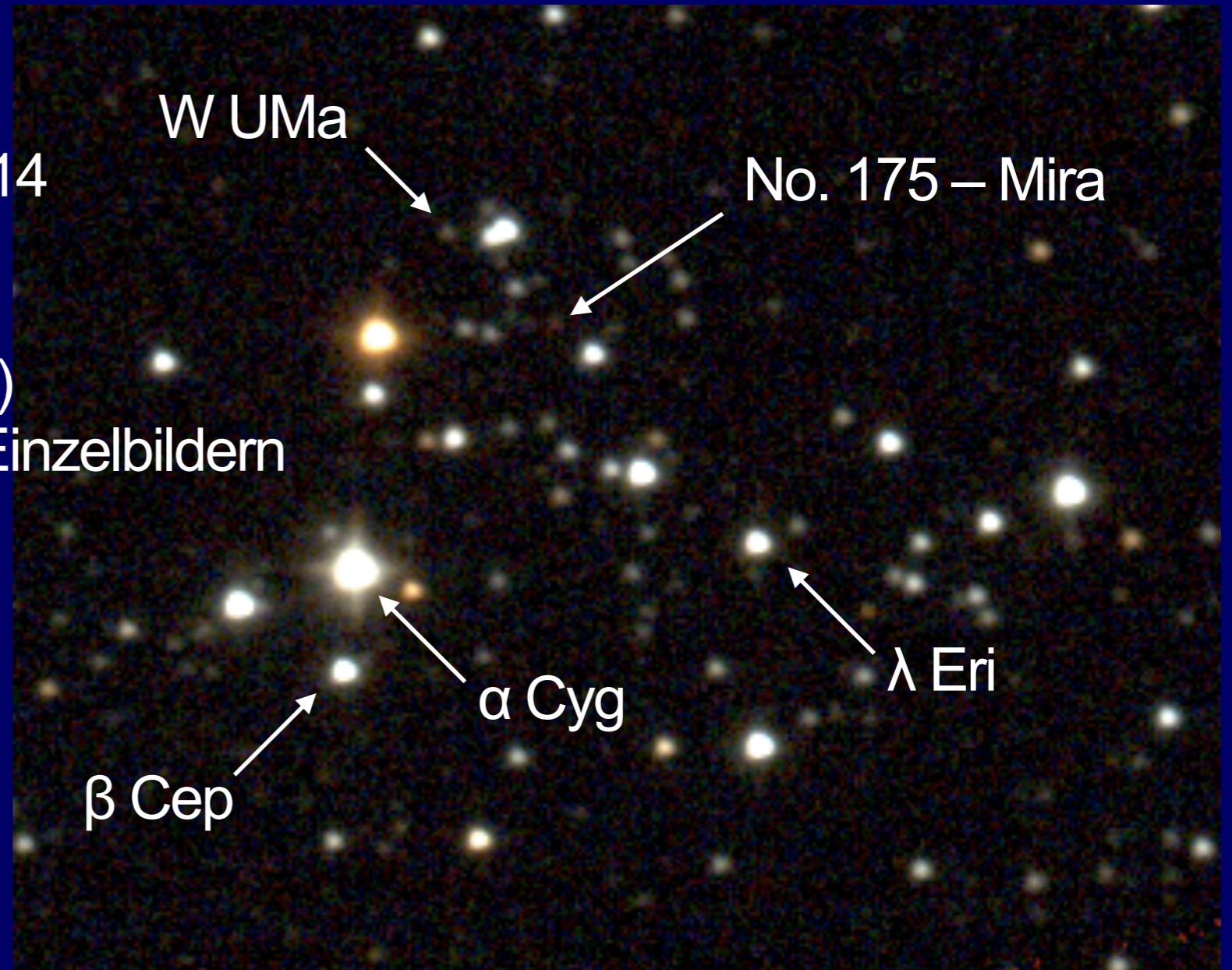
Pigulski et al., 1997. Acta Astronomica, Vol. 47, pp. 365–380

- Interessanter Haufen mit mehreren Veränderlichen
- β -Cep
- I Eri
- Mira
- W UMa
- α Cyg Kandidat

Optimale Einstellung

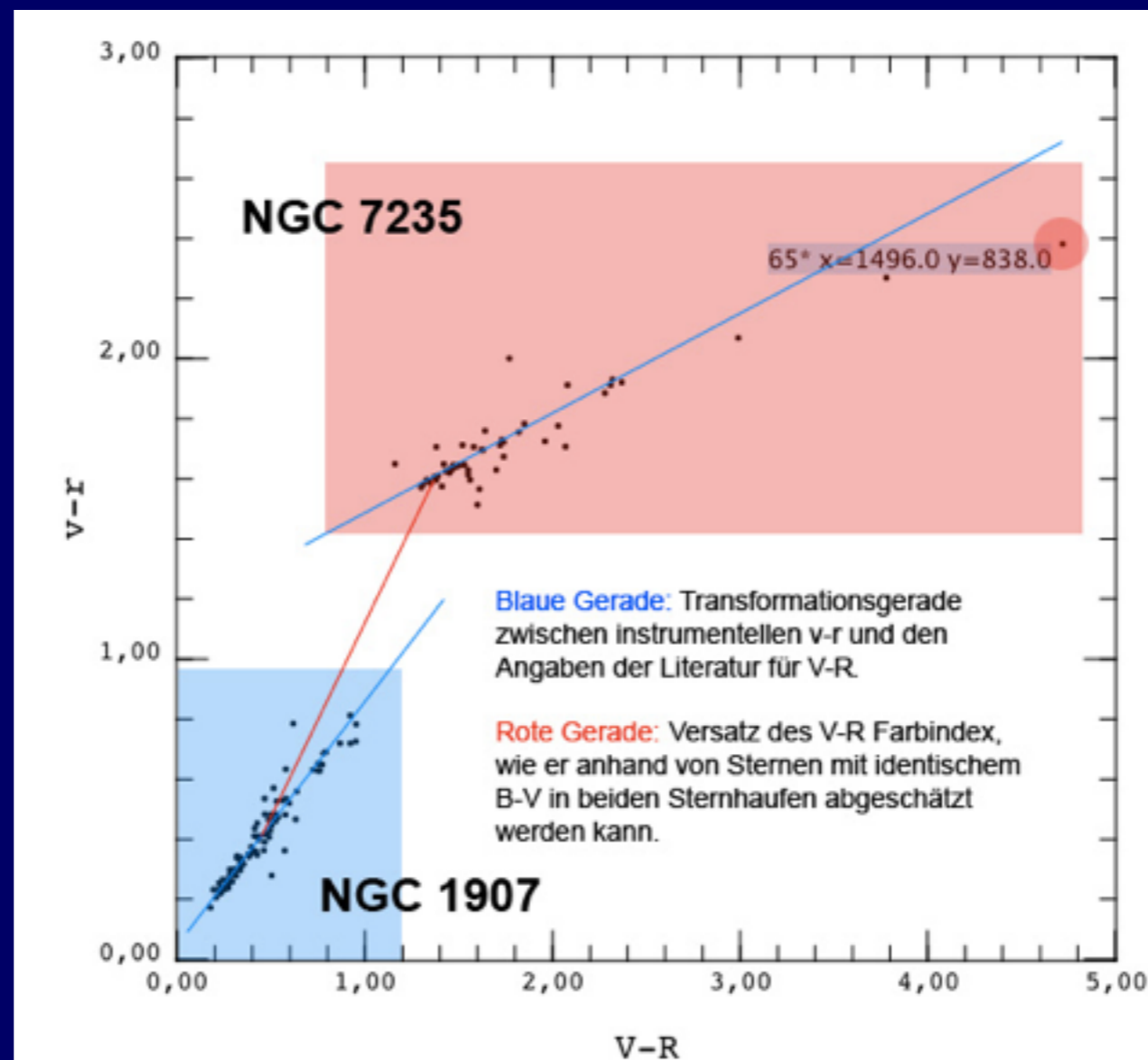
NGC 7235

27. September 2014
Canon EOS 60D
Vixen VC200L
(20cm Cassegrain)
Komposit aus 44 Einzelbildern



Optimale Einstellung

NGC 7235 Farben-Helligkeits-Diagramme



Ende

DSLR ersetzt heute erfolgreich das unhandliche CCD

