

Atmosphärische Dispersion

- Was ist dieser Effekt ?**
- Wie wirkt er sich auf das Bild aus ?**
- Wann muß er korrigiert werden ?**
- Mit was kann er korrigiert werden ?**

- **Was ist atmosphärische Dispersion**
- **Wie kann man „Bildschärfe“ beschreiben**
- **Warum wird ADC-Korrektur erst seit ein paar Jahren interessant**
- **Performance-Gewinn mit ADC in Abhängigkeit Höhe Objekt**
- **Performancegewinn mit ADC bei verschiedenen Teleskoptypen**
- **Funktion und Handhabung der verschiedenen ADC Typen**
- **Performance der verschiedenen ADC Typen**
- **ADC in der Astrophotographie**
- **Ergebnisse und Fazit**

Was tun für ästhetischere kontrastreichere Bilder ?



ohne ADC



mit ADC

Saturn Juni 2015 (Jörg Mosch, TEC 180mm)

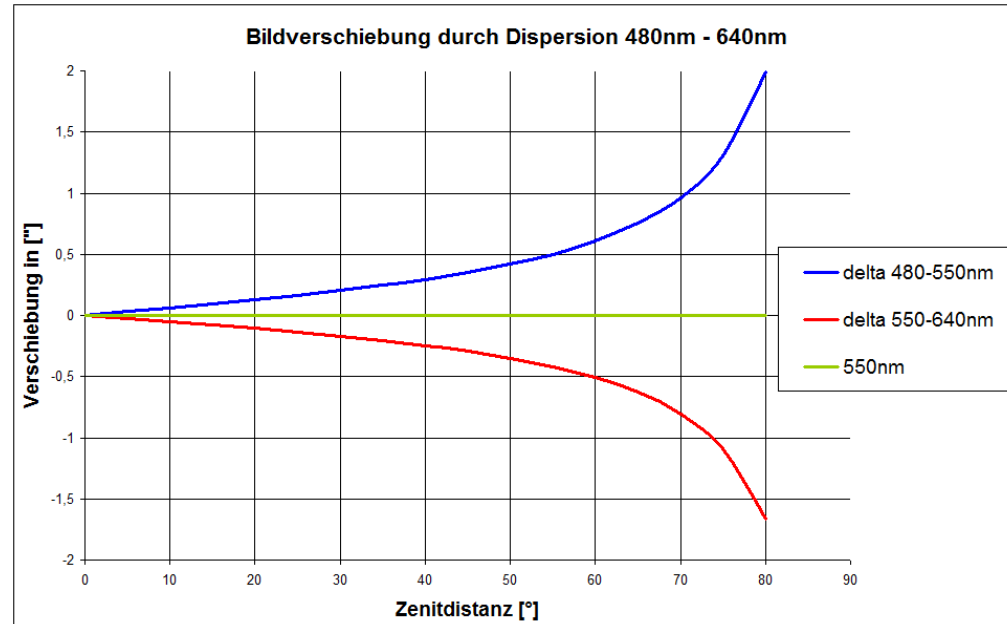
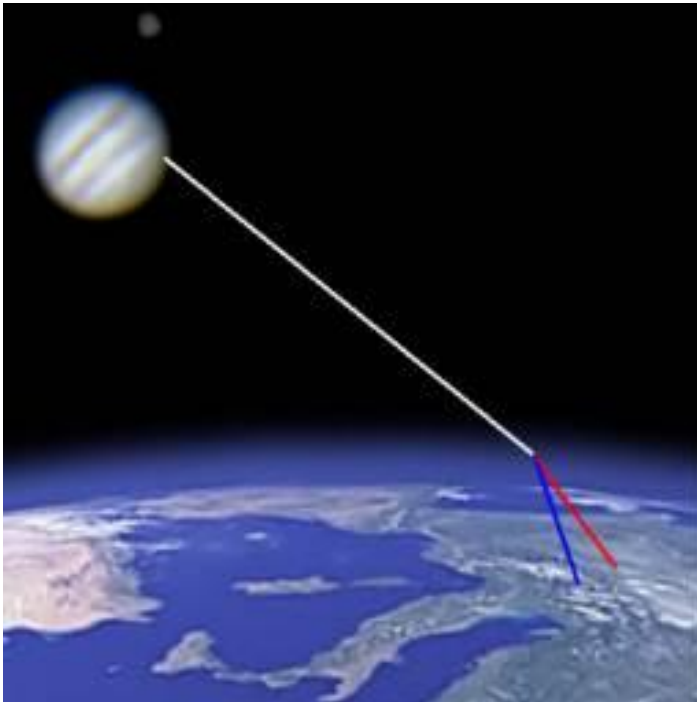
Was ist atmosphärische Dispersion ?

- Es gibt 2 Störungen durch die Atmosphäre
 - Bildverschiebung und Verzerrung durch Luftturbulenzen: „Seeing“
Dies ist ein **stochastischer Prozess** und die Korrektur der Bildverzerrungen durch Turbulenzen kann nur aufwändig realisiert werden → Adaptive Optik
 - Dispersiver Einfluß der Atmosphäre in Abhängigkeit von Objekthöhe, Luftdruck, Temperatur und Luftfeuchtigkeit
→ dies ist ein **systematischer Effekt** der mit einfachen Mitteln kompensiert werden kann

Eigenschaften der Atmosphäre: Dispersion: „Farbbrechung“ der Atmosphäre

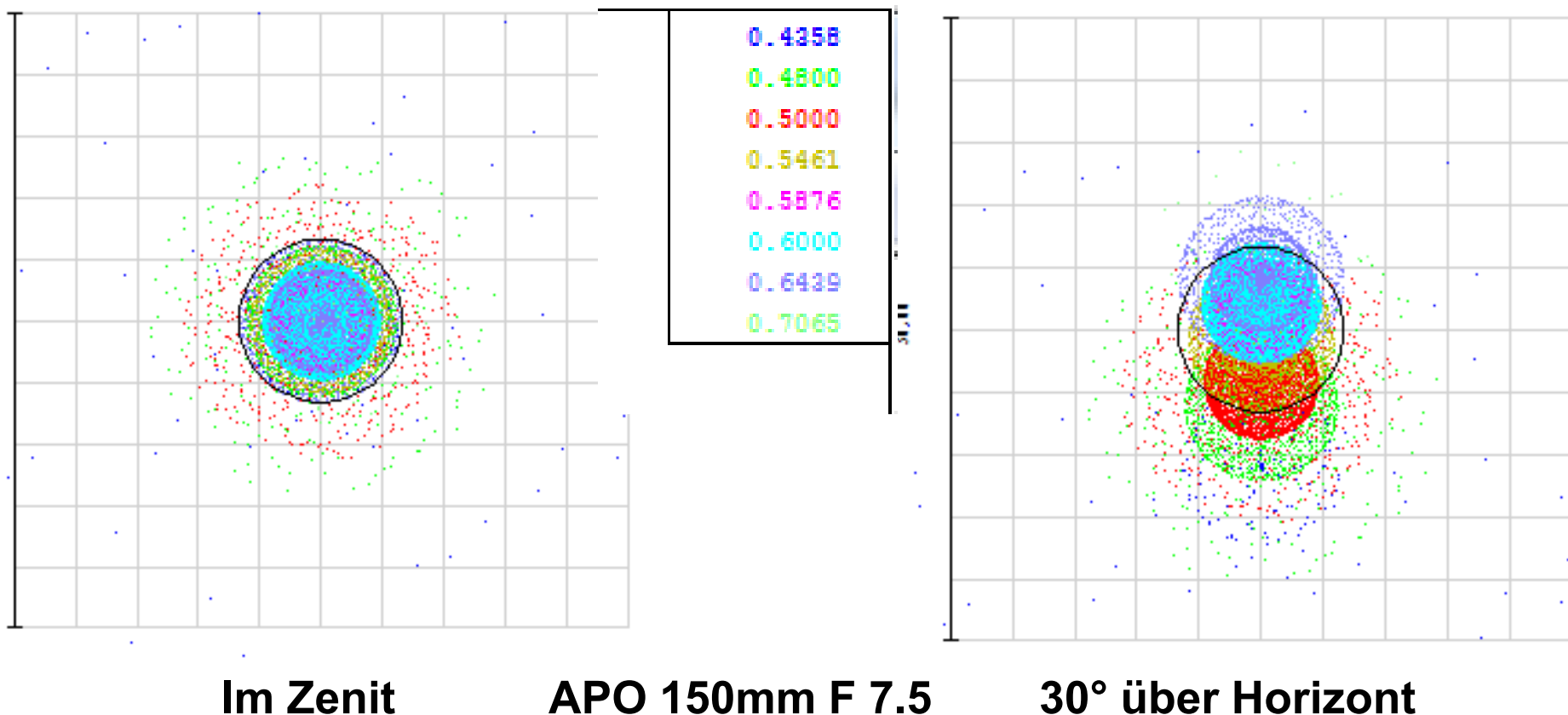
Dispersion: blaues Licht wird stärker gebrochen als rotes Licht

Folge davon ist, dass in vertikaler Richtung das Punktbild in die Länge gezogen wird:
Das Diagramm (berechnet mit Zeemax) zeigt, daß bei 60° Zenitdistanz blaues Sternbild mehr als $1''$ vom roten Sternbild entfernt ist.

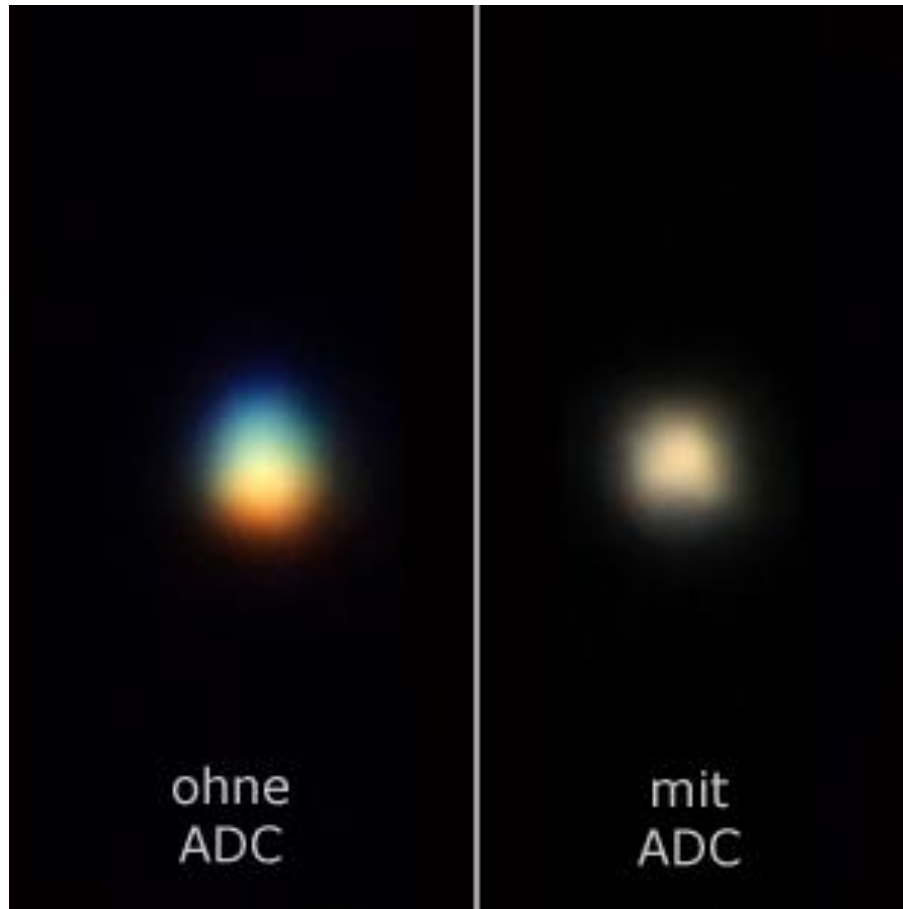


Eigenschaften der Atmosphäre:
Dispersion: „Farbbrechung“ der Atmosphäre:

„Aufspreizen des Punktbildes in „vertikaler Richtung“



**Eigenschaften der Atmosphäre:
Dispersion: „Farbbrechung“ der Atmosphäre:**



Beispiel Ganymed:

**Aufgenommen von
Wolfgang Paech**

**Namibia,
Chamäleon Observatory
C14, Canon ES 60DA**

**Dispersion der
Atmosphäre führt
zu Farbsäumen
und somit zu
Kontrastverlust !**

Mond mit Petavius

(Wolfgang Paech 2015)



Wie kann Bildschärfe quantitativ beschrieben werden ?

Wie können wir Schärfe, Kontrast eines Bildes oder Teleskopes beschreiben ?



Jupiter ohne ADC



Jupiter mit ADC Compact

Martin Kaiser 2015, TEC 180 FL, F=5940mm, 7.3.2015

Durch den Kontrast mit denen man Strukturen sehen kann

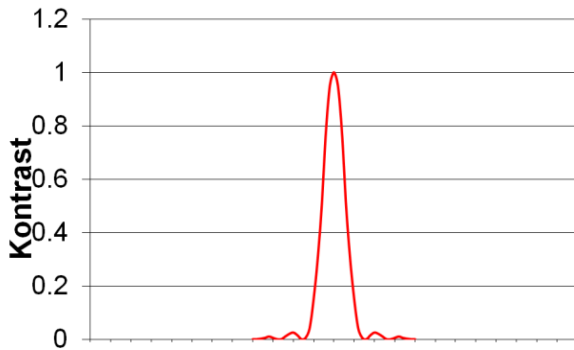
Die MTF = Modulare Transfer-Funktion

beschreibt den Kontrast in Abhängigkeit der Strukturgröße

Kontrast = $(\text{max Signal} - \text{min Signal}) / (\text{Max Signal} + \text{min Signal})$

Strukturgröße wird angegeben in **Linienpaare /mm** (in Bildebene)

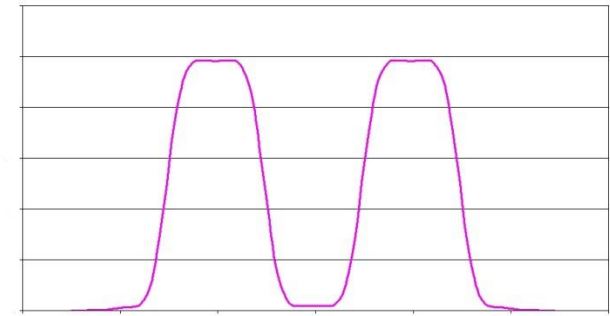
0,15 mal Grenzfrequenz: Kontrast 0.97



Beugungsbild eines Punkts

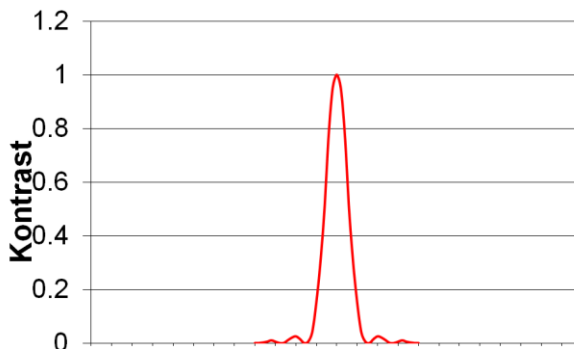


Gitter als Bild

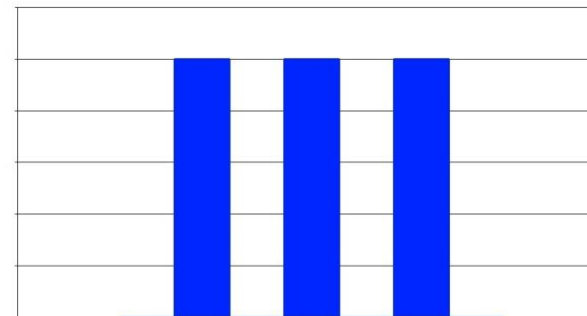


MTF der Grenzfrequenz x 0,15

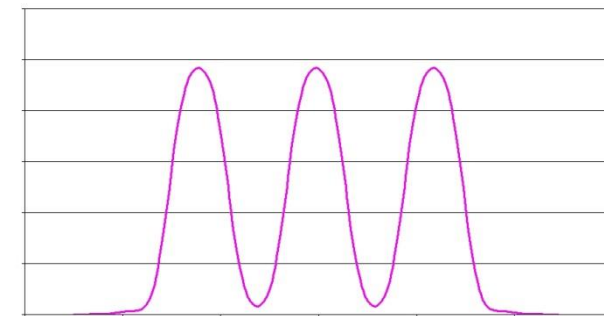
0,25 mal Grenzfrequenz: Kontrast 0.93



Beugungsbild eines Punkts

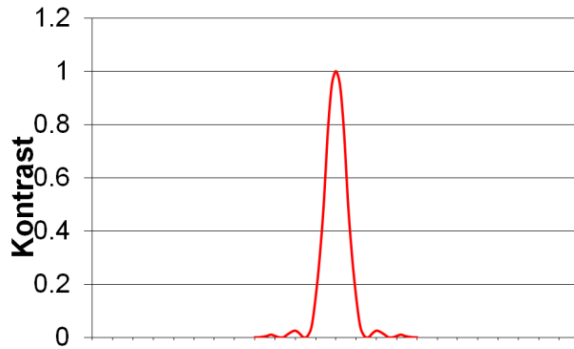


Gitter als Bild

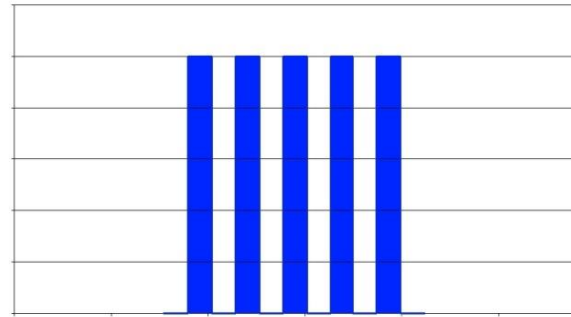


MTF der Grenzfrequenz x 0,25

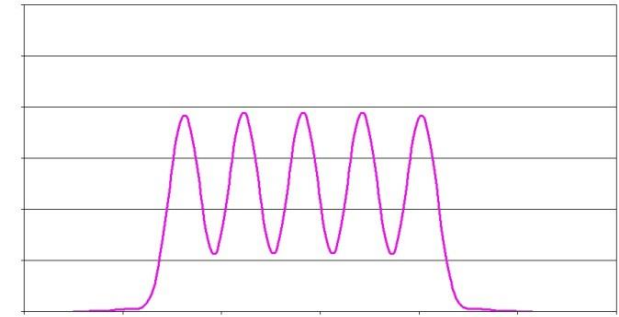
0,50 mal Grenzfrequenz: Kontrast 0.54



Beugungsbild eines Punkts

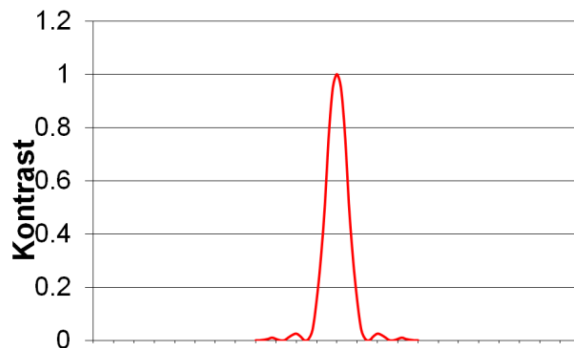


Gitter als Bild

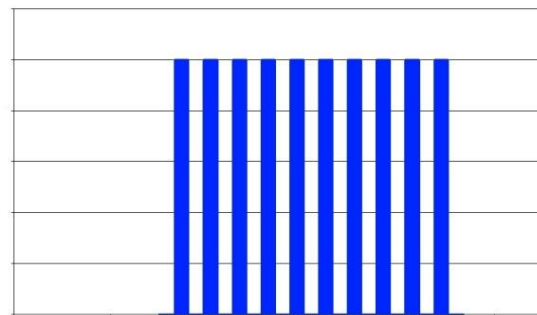


MTF der Grenzfrequenz x 0,50

Grenzfrequenz: Kontrast 10%



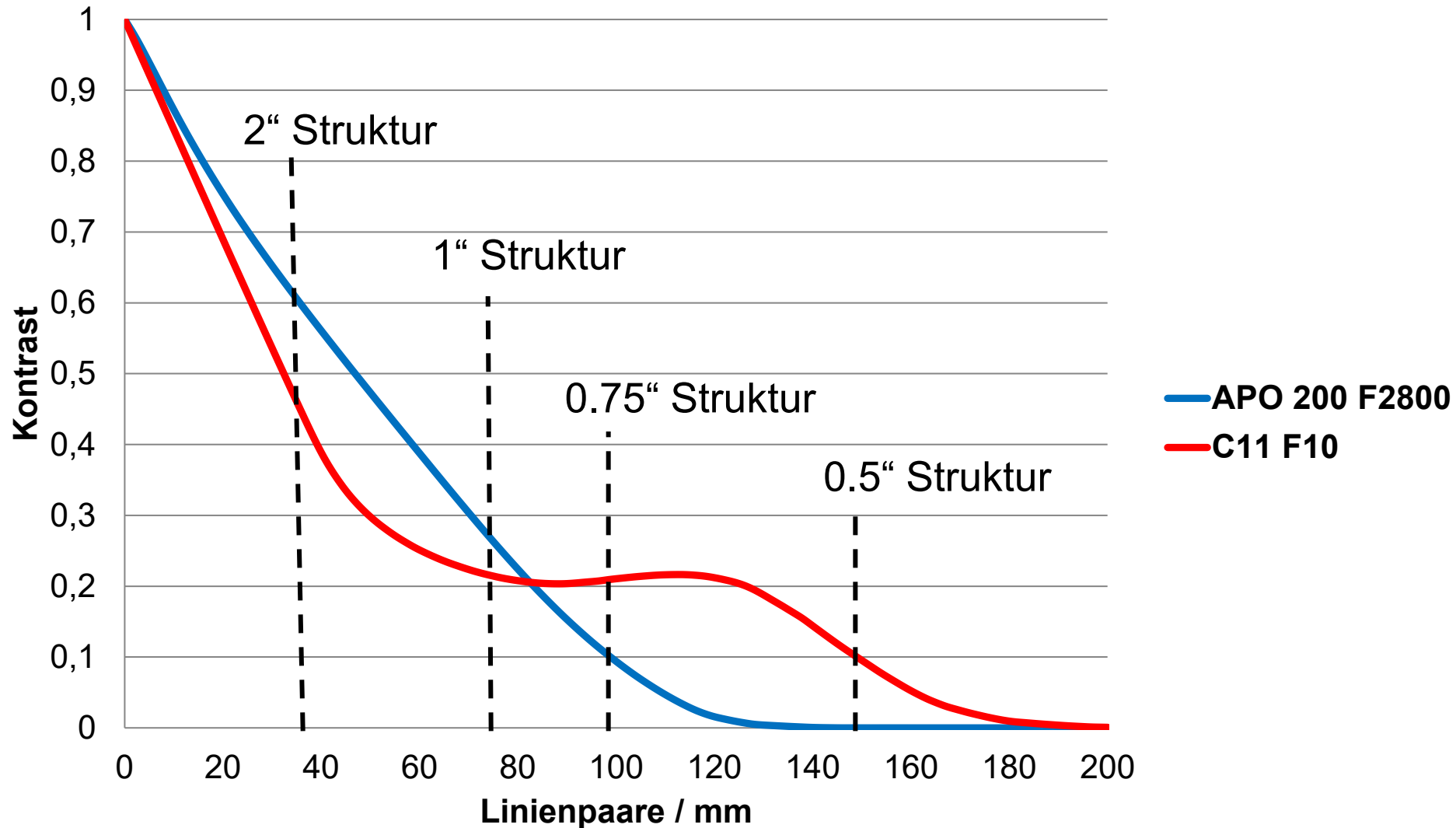
Beugungsbild eines Punkts



Gitter als Bild des Bildes

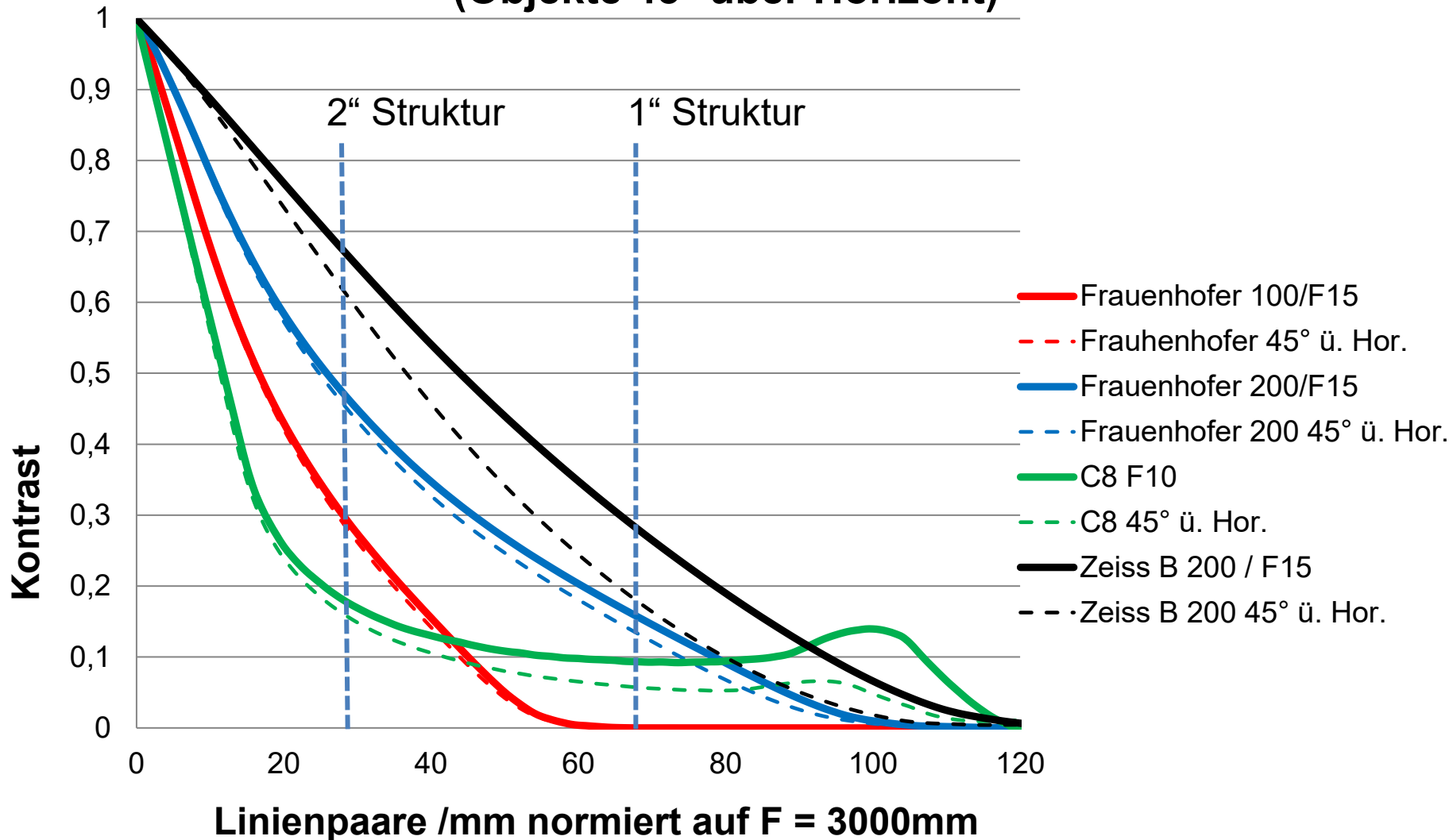


MTF der Grenzfrequenz

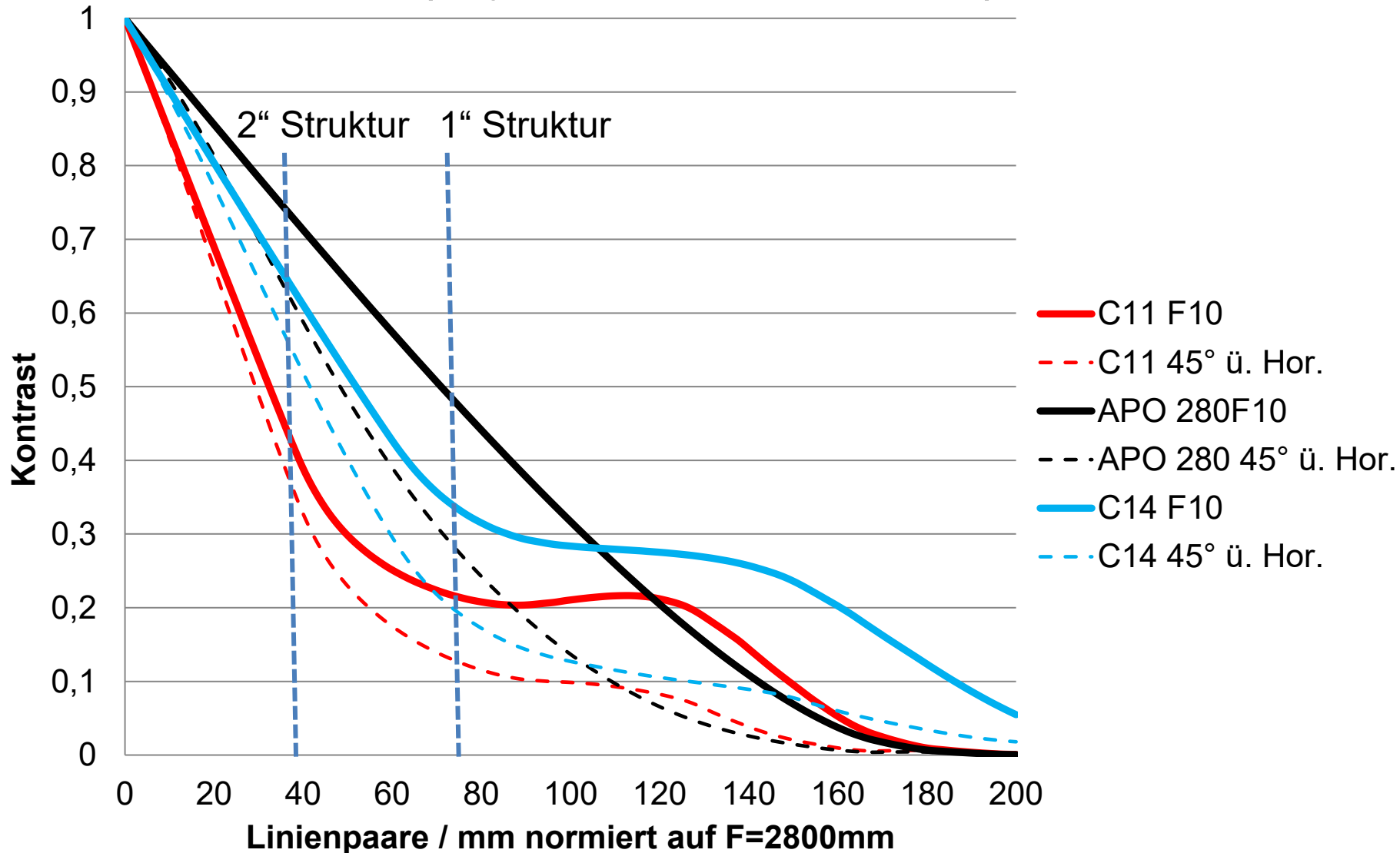
Beispiel für MTF von einem APO 200/2800 und einem C11 F10

Warum ist der ADC erst heute in der Diskussion ?

**alte Amateur-Teleskope hatten nicht genügend Performance:
atmosphärische Dispersion fiel nicht auf
(Objekte 45° über Horizont)**



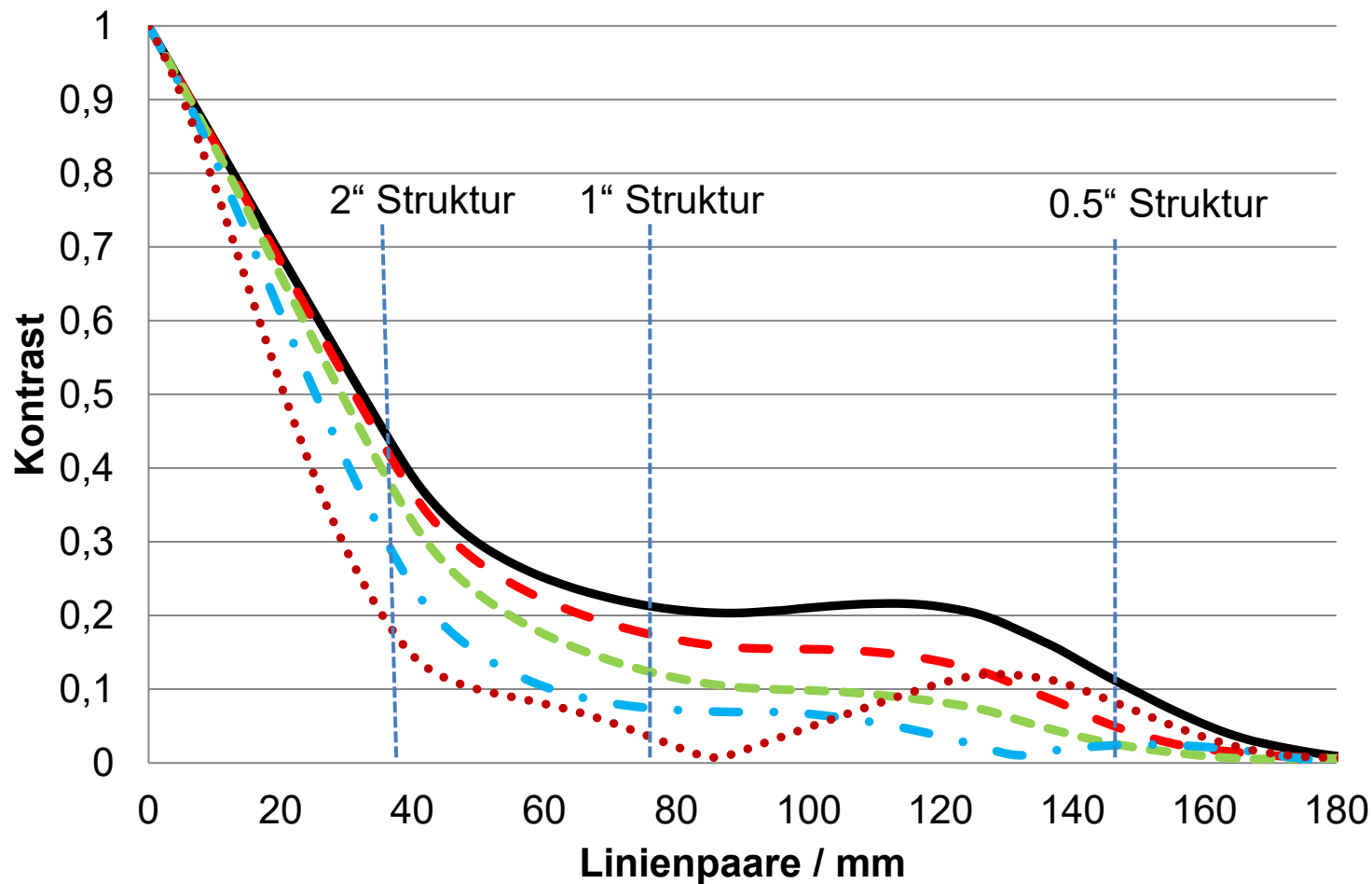
**Neue Teleskope haben größere Öffnung, bessere Farbkorrektur
(Objekte in 45° über Horizont)**



Performancegewinn durch den ADC in Abhängigkeit Horizonthöhe

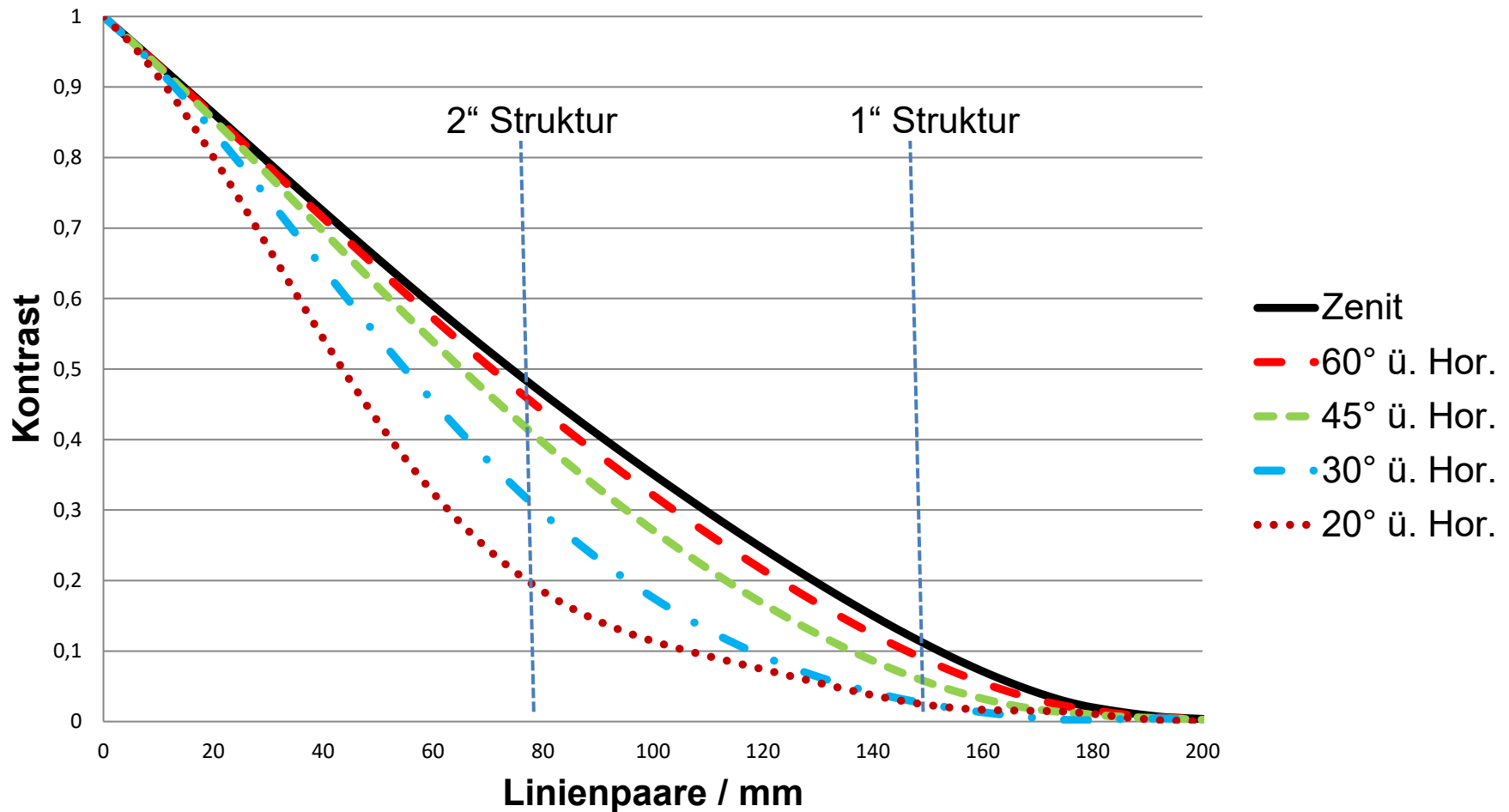
Kontrastverlust bei C11 F 10 Für verschiedene Horizonthöhen

C11 F = 2800mm



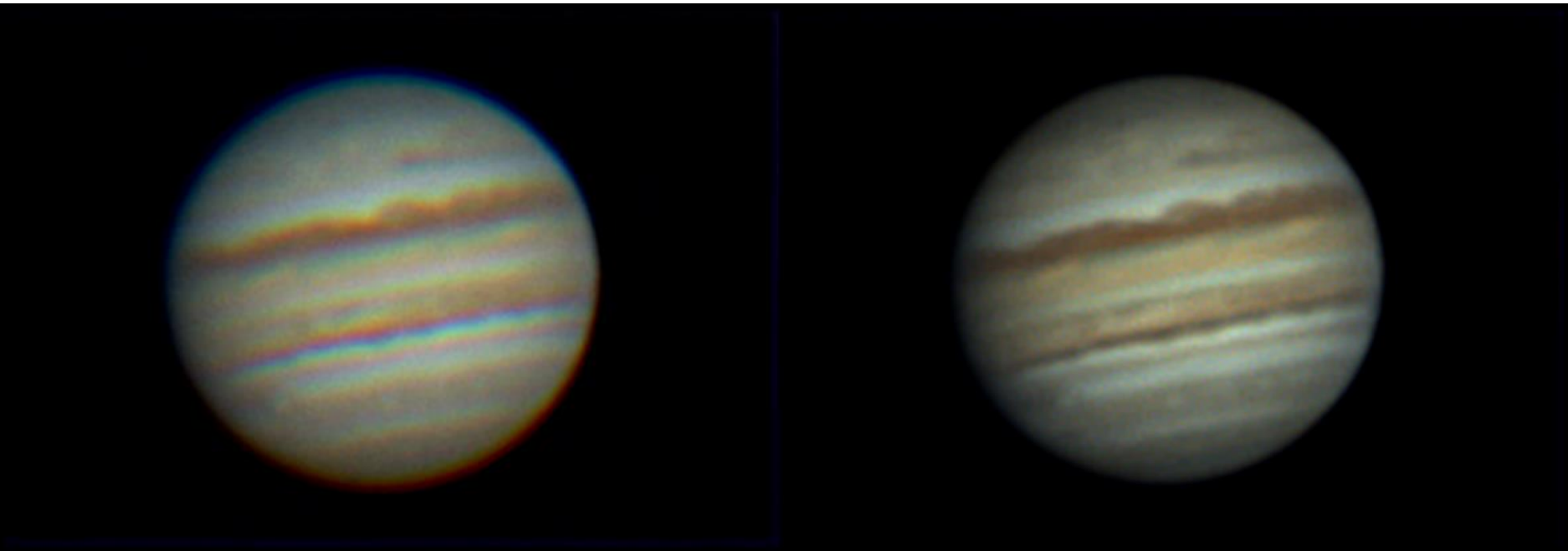
Kontrastverlust bei APO 150mm F 7.5 Für verschiedene Horizonthöhen

150 APO F = 1400mm



Einfluß des Seeings auf die ADC-Korrektur

Jupiter, geschärfte Bilder, Seeing mäßig



Jupiter ohne ADC

Jupiter mit ADC Compact

Uwe Meiling 2019, Zeiss Cassegrain D=400, F=6635mm, 14.8.2019

Einfluß Seeing auf ADC-Korrektur III ADC 40

CMOS Farb-Kamera, keine Derotation, Seeing gut



Jupiter ohne ADC

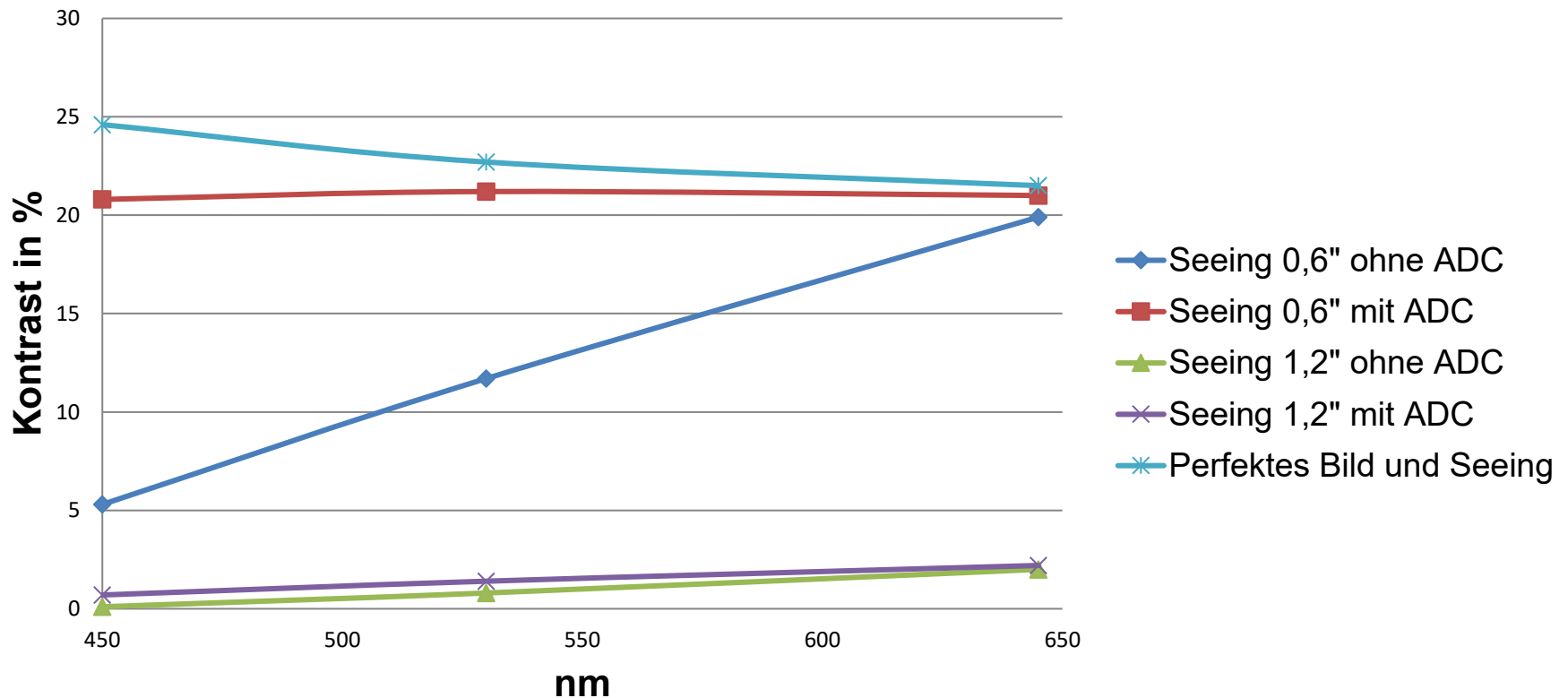


Jupiter mit ADC Compact

Martin Kaiser 2015, TEC 180 FL, F=5940mm, 7.3.2015

Kontrastverbesserung in Abhängigkeit von Seeing und der Wellenlänge

Kontrast für 1" Strukturen mit
Schmidt-Cassegrain 280/F10
und Objekt mit 45° über Horizont



Fazit:

→ Der ADC wirkt insbesondere bei gutem Seeing

Fazit I:

- Die Störung durch die atmosphärische Dispersion ist bei den heutigen Teleskopen mit hoher Performance nicht mehr zu vernachlässigen !
- Das gilt nicht nur für tief stehende Objekte, sondern insbesondere auch für hochstehende Objekte !
- Daher ist der Einsatz eines ADC's bei **gutem Seeing** eine zwingende Voraussetzung zum Erreichen der möglichen optischen Performance

Fazit II:

- Für 28cm Teleskope:
Performance Gewinn (Faktor 2 mehr Kontrast) für
Objekte bis 45° über Horizont**
- Für 15cm Teleskope:
Performance Gewinn (Faktor 2 mehr Kontrast) für
Objekte bis 30° über Horizont**
- ADC wirkt nur bei gutem Seeing !**

Performance-Gewinn verschiedener Teleskoptypen

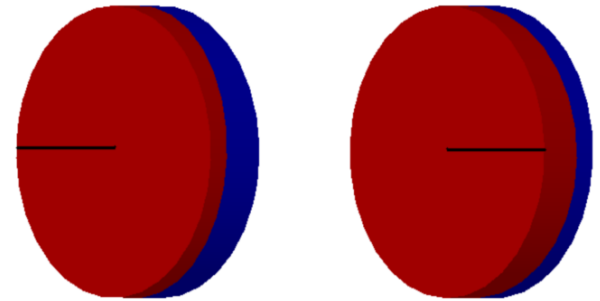
**Performance Gewinn durch Verwendung ADC bei
Objekten mit mehr als 30° Horizonthöhe:**

- Bei Apo Refraktoren ab 130mm Öffnung**
- Newton Teleskope (Obstruktion 25%) ab 150mm
Öffnung**
- SC Systeme (Obstruktion 37%) ab 220mm Öffnung**
- je größer die Öffnung um so mehr Kontrastgewinn**

**Funktion und Handhabung der
verschiedenen ADC Typen**

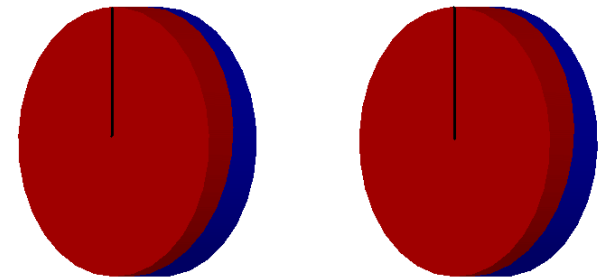
Funktionsprinzip des ADC's

Dispersive Elemente
entgegengesetzte
Richtung:
keine Wirkung



↓ Horizont

Dispersive Elemente
gleiche Richtung:
volle Wirkung

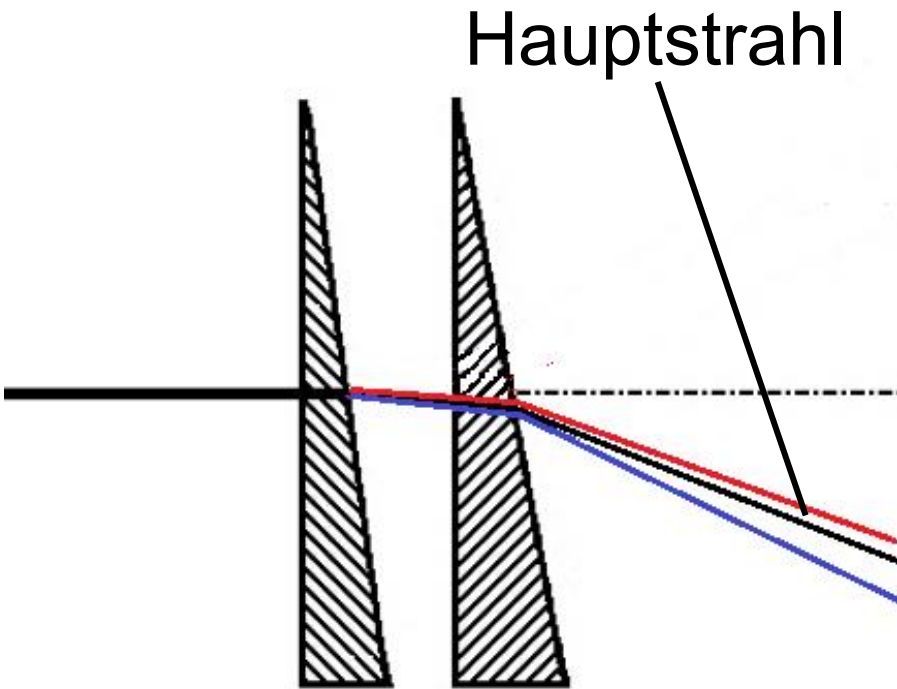


↓ Horizont

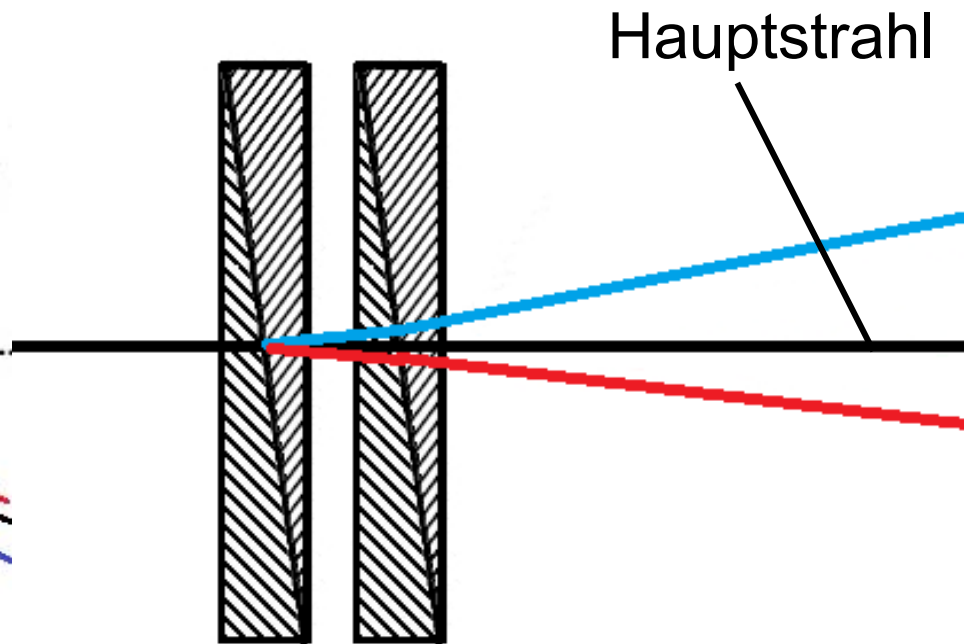
Wirkungsweise des ADCs:
ADC besteht aus 2
dispersiven Elementen.

Zwei Konzepte für den ADC

ADC mit einfachen Keilen



ADC mit dispersiven Planplatten



Zwei Konzepte für den ADC

ADC mit einfachen Keilen

ADC mit dispersiven Planplatten



Zwei Konzepte für den ADC

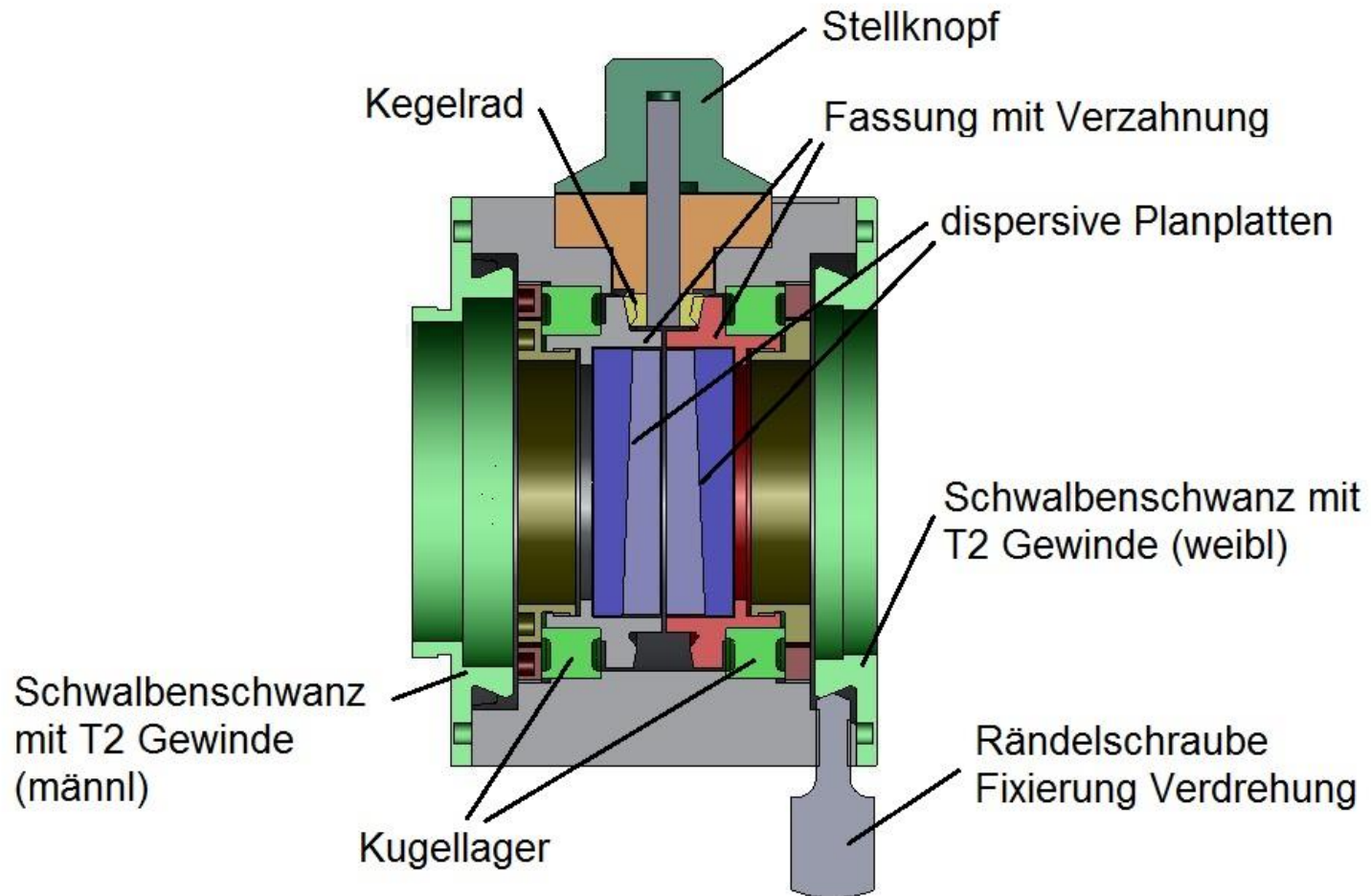
ADC mit einfachen Keilen

- + kostengünstig
- Reduzierte optische Performance durch abgelenkten Hauptstrahl (Koma, Astigmatismus)
- Umständliches Einstellen der Dispersionskorrektur, da
 - sich Bild beim Verdrehen der Prismen sich verschiebt
 - Prismenbewegung nicht gekoppelt ist
 - Keine einfache Fernsteuerung möglich

ADC mit dispersiven Planplatten

- teures da aufwändiges System
- + Optische Performance des Teleskopes bleibt voll erhalten da Hauptstrahl ungebrochen bleibt
- + einfaches Einstellen der Dispersionskorrektur durch stehendes Bild und über eine einzige Stellschraube
- + Option für elektronische Fernsteuerung (mechanisch einfach: (Kupplung Schrittmotor – Kegelrad))

Aufbau des ADC Compact



Einstellung des ADC's bei Refraktoren, Cassegrains

ADC mit Prismen

1. Stellhebel symmetrisch zur Vertikal-Richtung bezüglich Horizont einstellen
2. Die Distanz der Hebel zueinander so verändern bis die Farbsäune verschwinden. Objekt dabei nachzentrieren

ADC mit dispersiven Elementen

1. Stellknopf vertikal zum Horizont einstellen
2. Stellknopf solange verdrehen bis Farbsäume verschwinden



Einstellung des ADC's bei Newton's

Voraussetzung: Azimutale Montierung

bei parallaktische Montierung Richtung der dispersiven Wirkung schwer zu bestimmen !

ADC mit Prismen

- 1. Höhenachse bewegen**
- 2. Symmetriachse für Hebel in Richtung wie sich Sterne bewegen einstellen**
- 3. Hebel-Spreizung so einstellen bis Farbsäume verschwinden**

ADC mit dispersiven Elementen

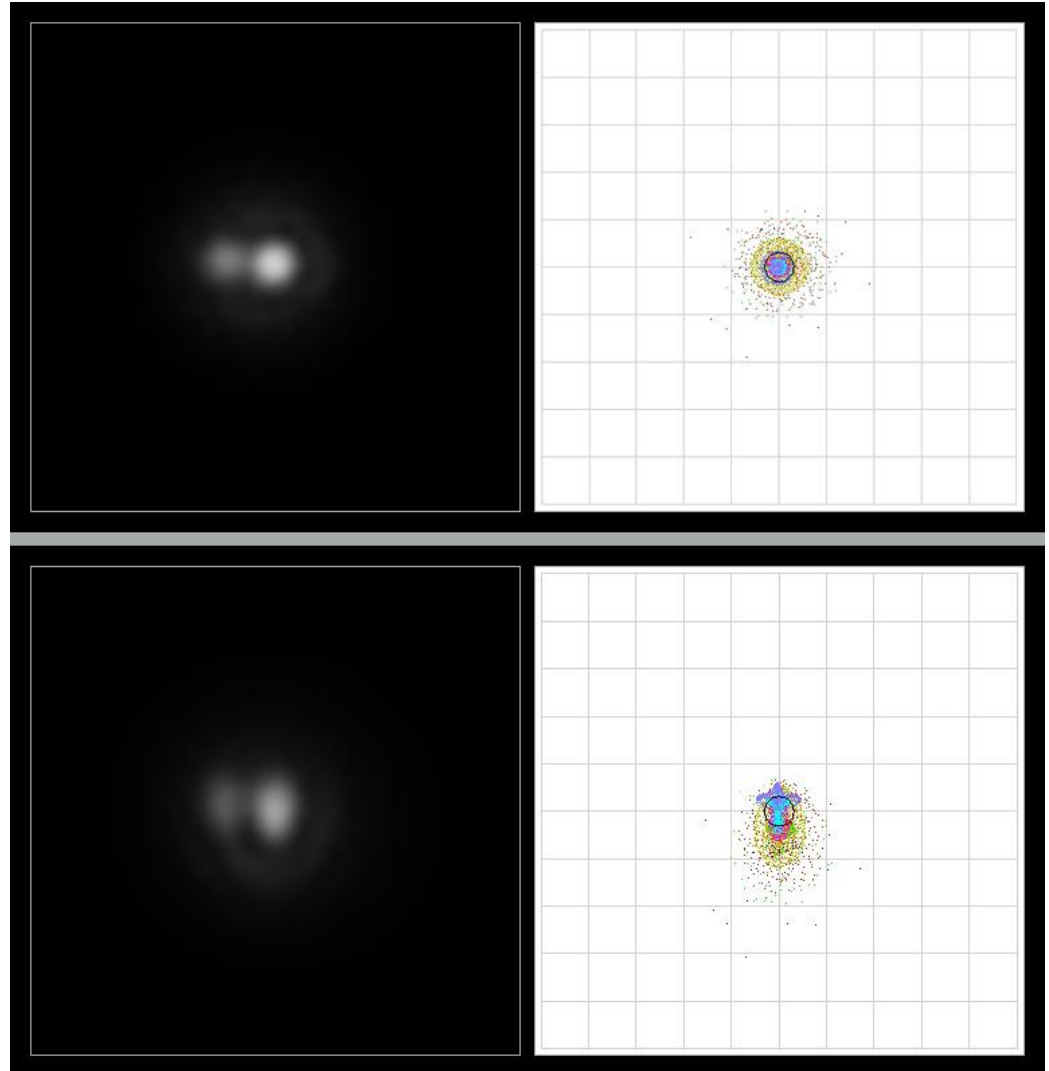
- 1. Höhenachse bewegen**
- 2. ADC Knopf in Richtung wie sich Sterne bewegen einstellen**
- 3. Mit Stellknopf Farbränder verschwinden lassen**

**Performance der
verschiedenen ADC Typen**

Aufnahme Punktbild ohne / mit ADC

Vergleich ADC mit
einfachen Prismen und
ADC mit Planplatten als
Prismenpaare:
von Jörg Mosch

Der 0,96"-Doppelstern
14 Ori, aufgenommen am
17. 2. 2014 mit einer
Lumenera LU165M am
180-mm-Refraktor – oben
mit ADC von Gutekunst
Optiksysteme, unten mit
Pierro Astro ADC

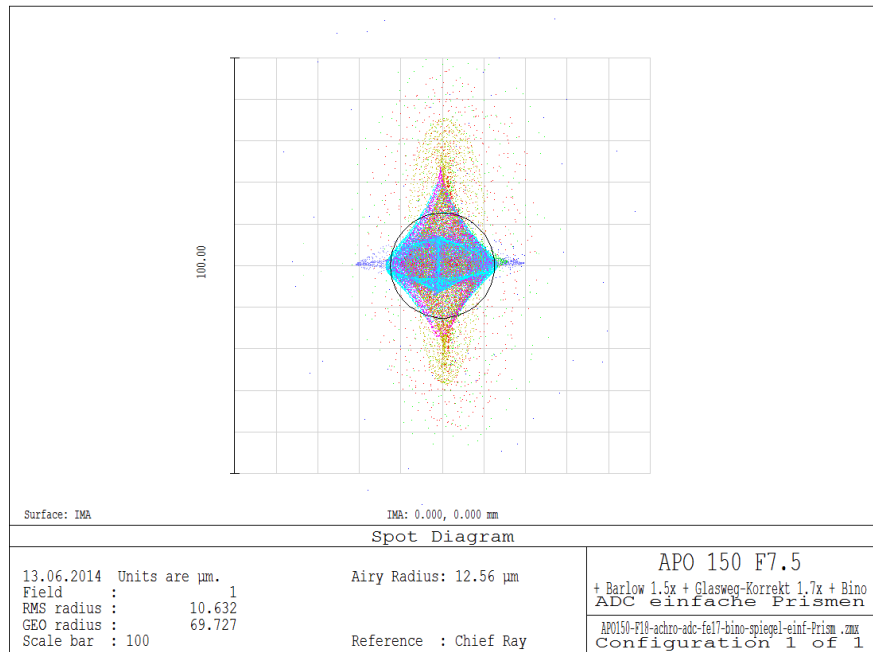


Optische Performance des ADCs I: Punktbildfunktion

Vergleich ADC mit einfachen Prismen und ADC mit dispersiven Planplatten:
ADCs abgeglichen für **Objekt mit 45° über Horizont, APO 150mm F 11.3**

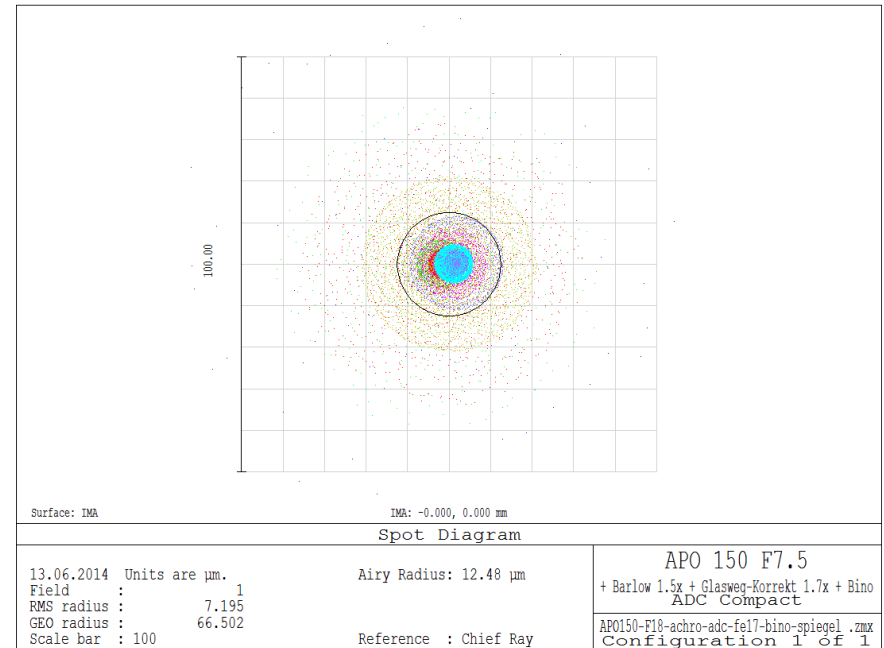
ADC mit einfachen Prismen

Einfache Prismen verursachen
assymetrische Effekte:



ADC mit dispersiven Planplatten

Planplatten lassen Optik fast unbeeinflusst.
Minimaler Farbquerfehler.



Optische Performance des ADCs II: Auswirkung auf Strehl-Wert

Vergleich ADC mit einfachen Prismen und ADC von Gutekunst Optiksyste

Teleskop APO 150mm F7.5 +Barlow 1.5x + Glaskorr 1.7x + Bino **(F18.7)**

Die ADCs sind optimal eingestellt für **Objekte, die 45° über Horizont stehen:**

ADC mit einfachen Prismen

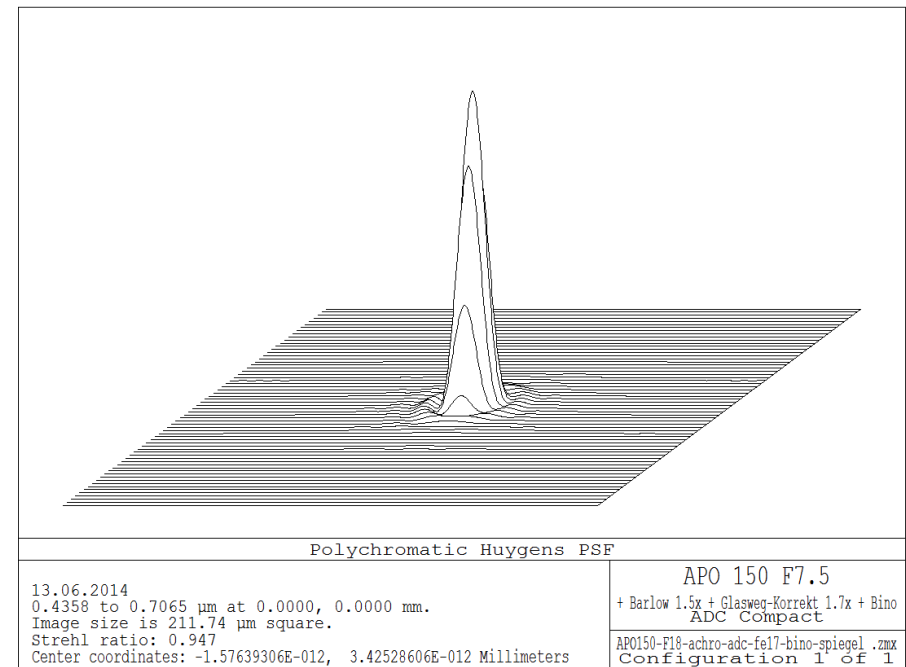
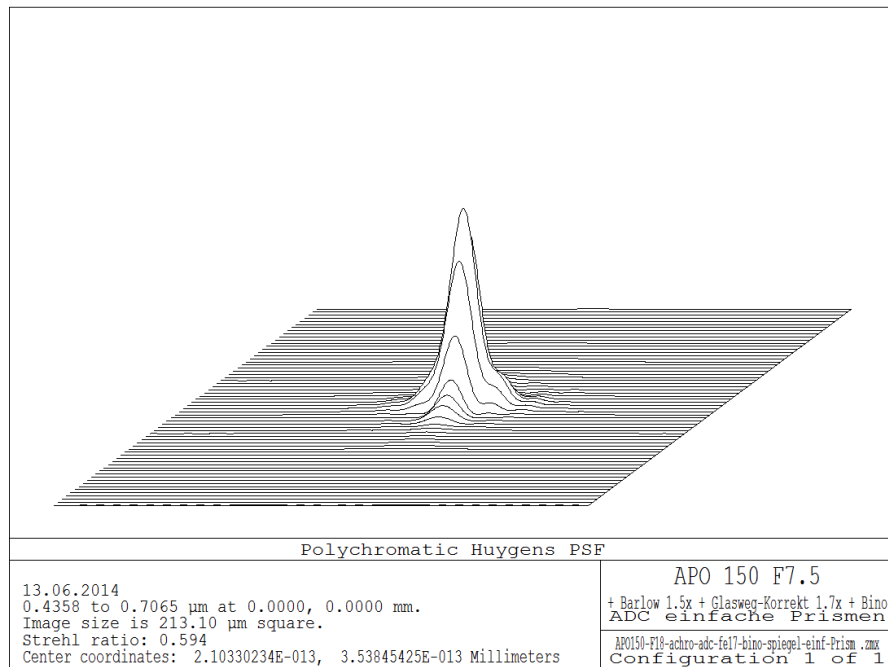
Punktbild für APO150 mit Bino-Ansatz

Ursprünglich 94.7% Strehl: **jetzt 59.4%**

ADC mit dispersiven Planplatten

Punktbild für APO150 mit Bino-Ansatz

Ursprünglich 94.7% Strehl: **jetzt 94.7% !**

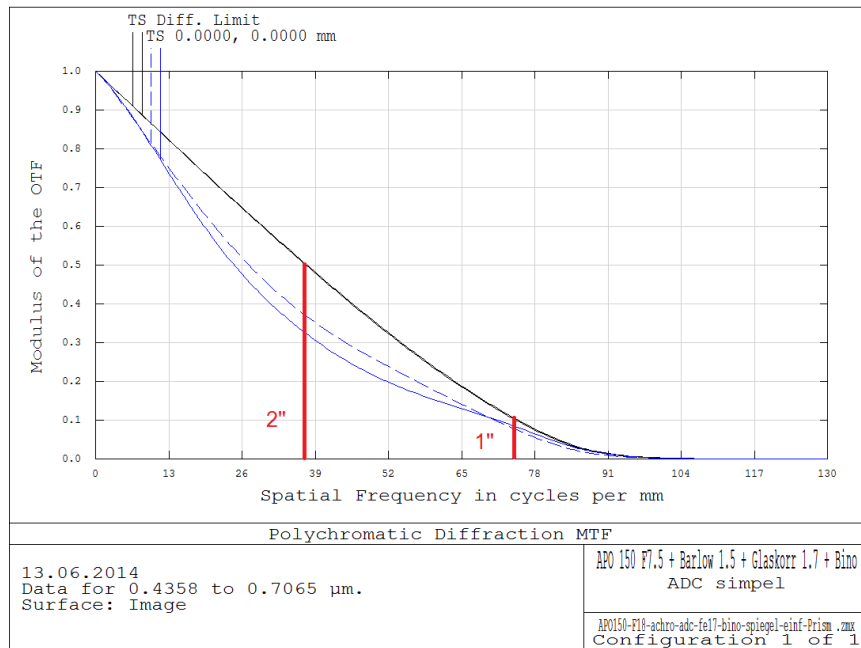


Optische Performance des ADCs III: Auswirkung auf Kontrast

Vergleich ADC mit einfachen Prismen und ADC mit Planplatten als Prismenpaare:
ADCs abgeglichen für **Objekt mit 45° über Horizont mit APO 150mm + Bino (F18.7)**

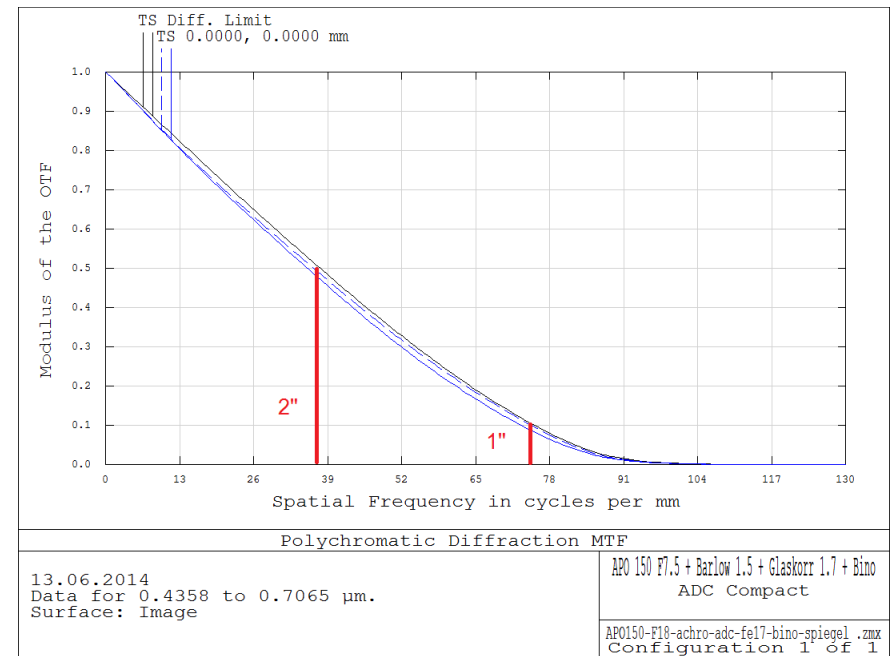
ADC mit einfachen Prismen

MTF für APO150 mit Bino-Ansatz:
Insbesondere für Strukturen um 2“
verursacht Kontrastverlust flauere Bilder



ADC mit dispersiven Planplatten

MTF für APO150 mit Bino-Ansatz:
Für 1“ Strukturen (56lp/mm)
ursprünglich 27.5% Kontrast: **jetzt 27.5% !**

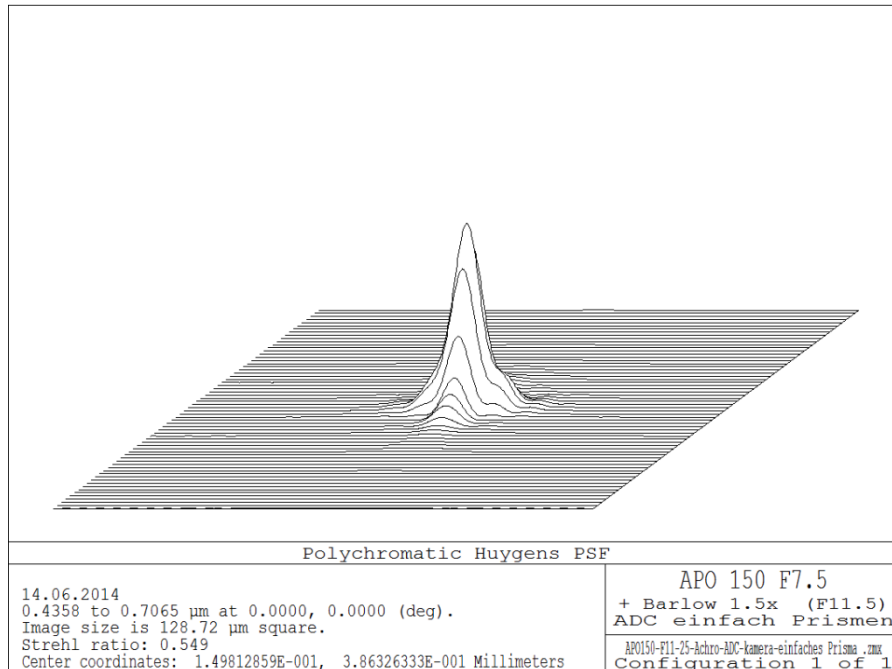


Generelle Regeln:

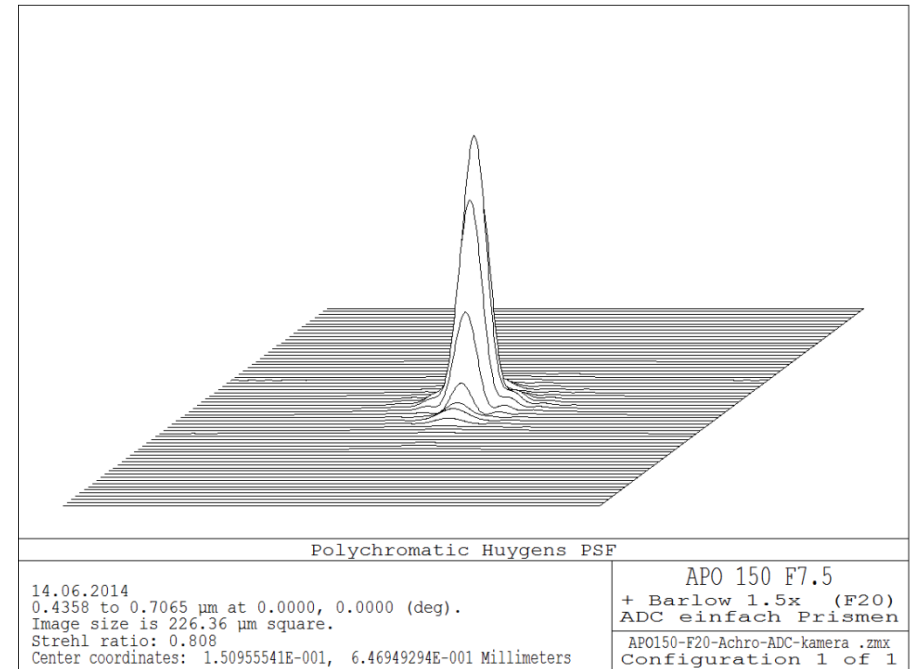
- Je weiter der ADC vor dem Fokus liegt, desto stärker die dispersive Korrektur:
→ Bei niedrigen Horizonthöhen ($< 15^\circ$) sollten Verlängerungshülsen zwischen ADC und Fokus eingesetzt werden (ca. 100mm)
- ADC mit einfachen Prismen sollten nur mit $F > 20$ betrieben werden da sonst Kontrastverlust zu hoch
- ADC mit dispersiven Planplatten können ab $F > 10$ betrieben werden

ADC einf. Prismen 45° ü- Horizont:

F11: Strehl 55%



F20: Strehl 81%



Planeten-, Mond- und Sonnenphotographie:

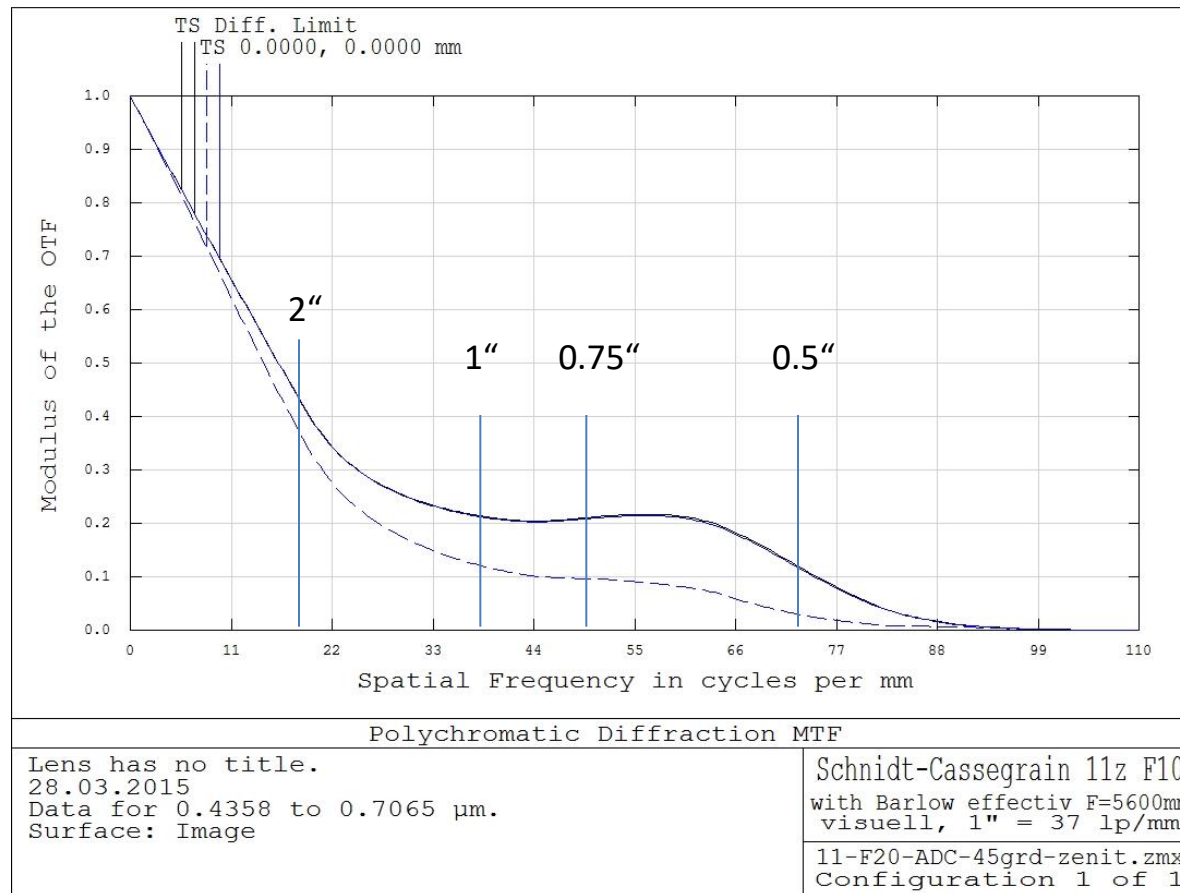
- **ADC + Monochrom-Kamera + Filterrad (LRGB)**
 - Kontrastverbesserung im Blau-Kanal um Faktor 4
 - Kontrastverbesserung im Grün Kanal um Faktor 2
- **ADC + Farbkamera (CCD oder CMOS):**
 - kein Filterrad notwendig !
 - Zeit für Bildersequenz mindestens um Faktor 3 verkürzt
 - längere Brennweiten notwendig für gleiche Auflösung
- **ADC + Doppelkopf-Kamera**
 - verbindet Vorteile Auflösung Monochrom-Kamera mit Farbinformation durch Farb-Kamera
 - kürzere Belichtungszeiten, weniger Einfluß des Seeings

Astrophotographie für Sonne, Mond, Planeten

→ Mit ADC + LRGB-Filtersystem + Monochrom-Kamera

ADC Compact, auch eine Tool für RGB Fotografen

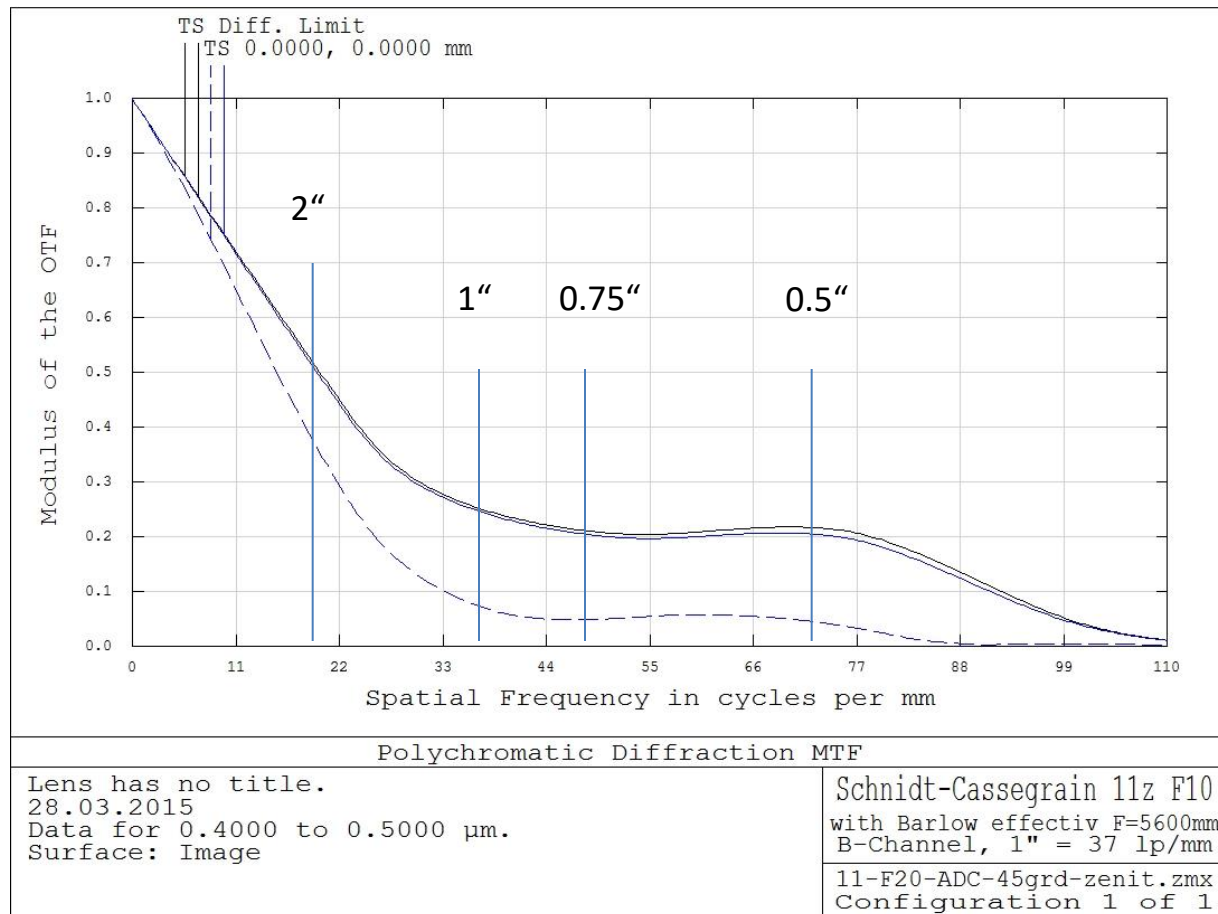
Schmidt-Cassegrain 280/F10 im L-Kanal (entspricht visuellen Spektrum)
Systembrennweite 5600mm 1" = 37lp/mm; Objekt 45° über Horizont
Kontrastverbesserung bis über Faktor 2!



ADC Compact, auch eine Tool für RGB Fotografen**Schmidt-Cassegrain 280/F10 im B-Kanal**

Systembrennweite 5600mm 1" = 37lp/mm; Objekt 45° über Horizont

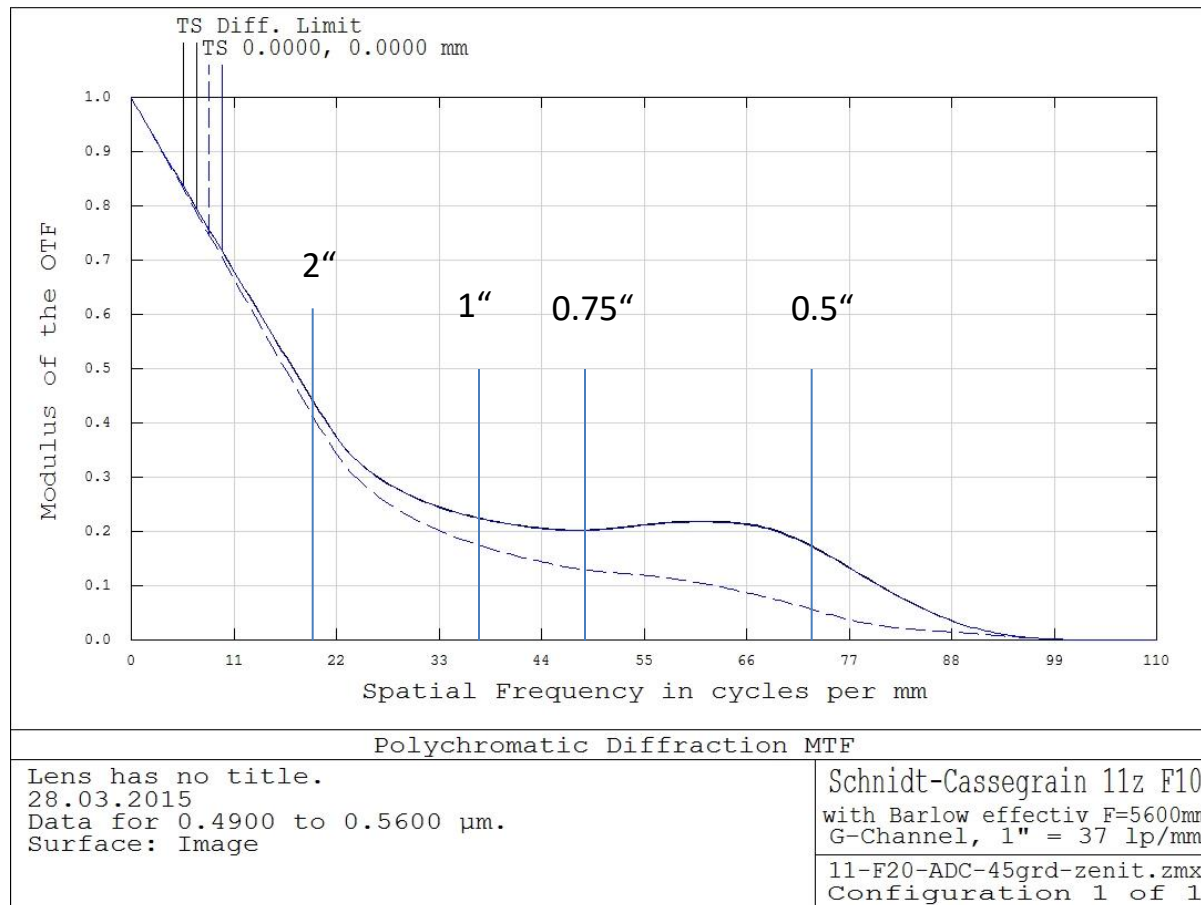
Kontrastverbesserung bis über Faktor 4!



ADC Compact, auch eine Tool für RGB Fotografen**Schmidt-Cassegrain 280/F10 im G-Kanal**

Systembrennweite 5600mm 1" = 37lp/mm; Objekt 45° über Horizont

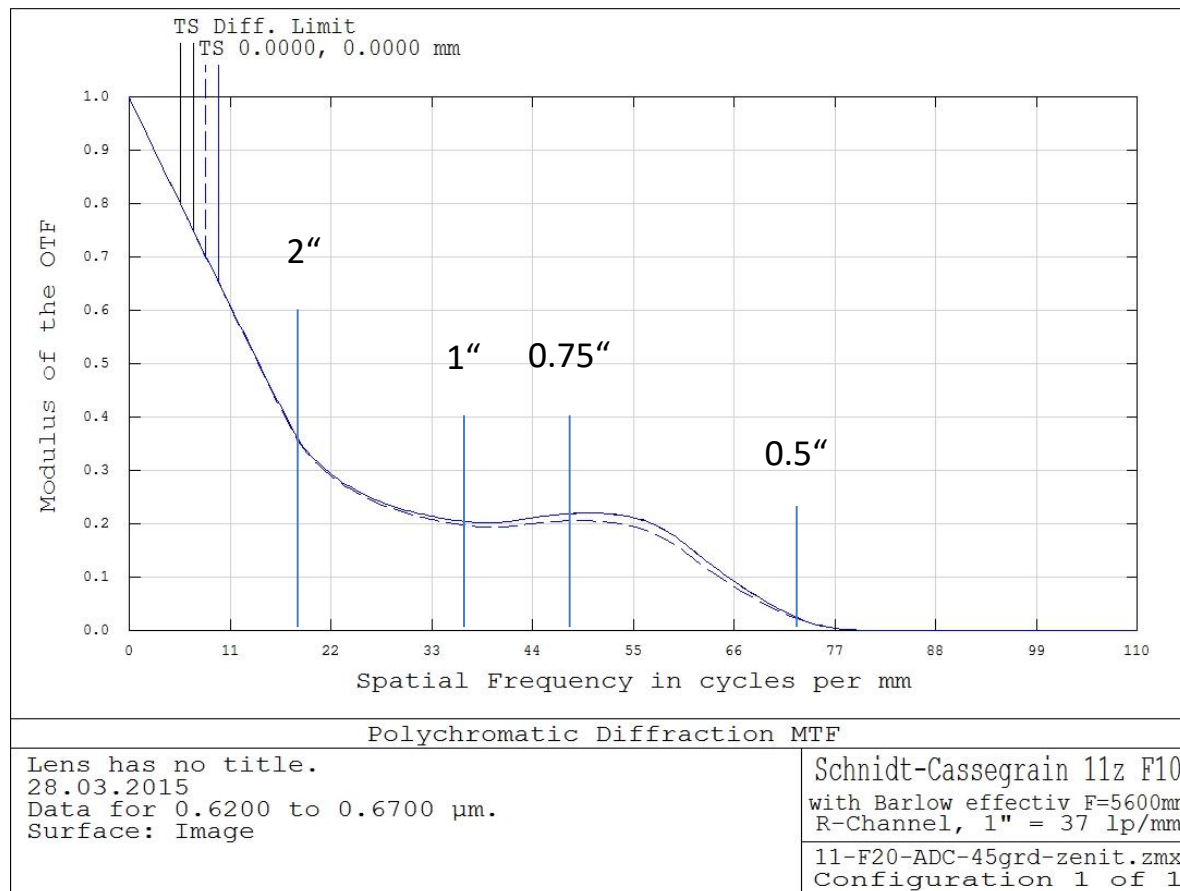
Kontrastverbesserung bis über Faktor 1.5!

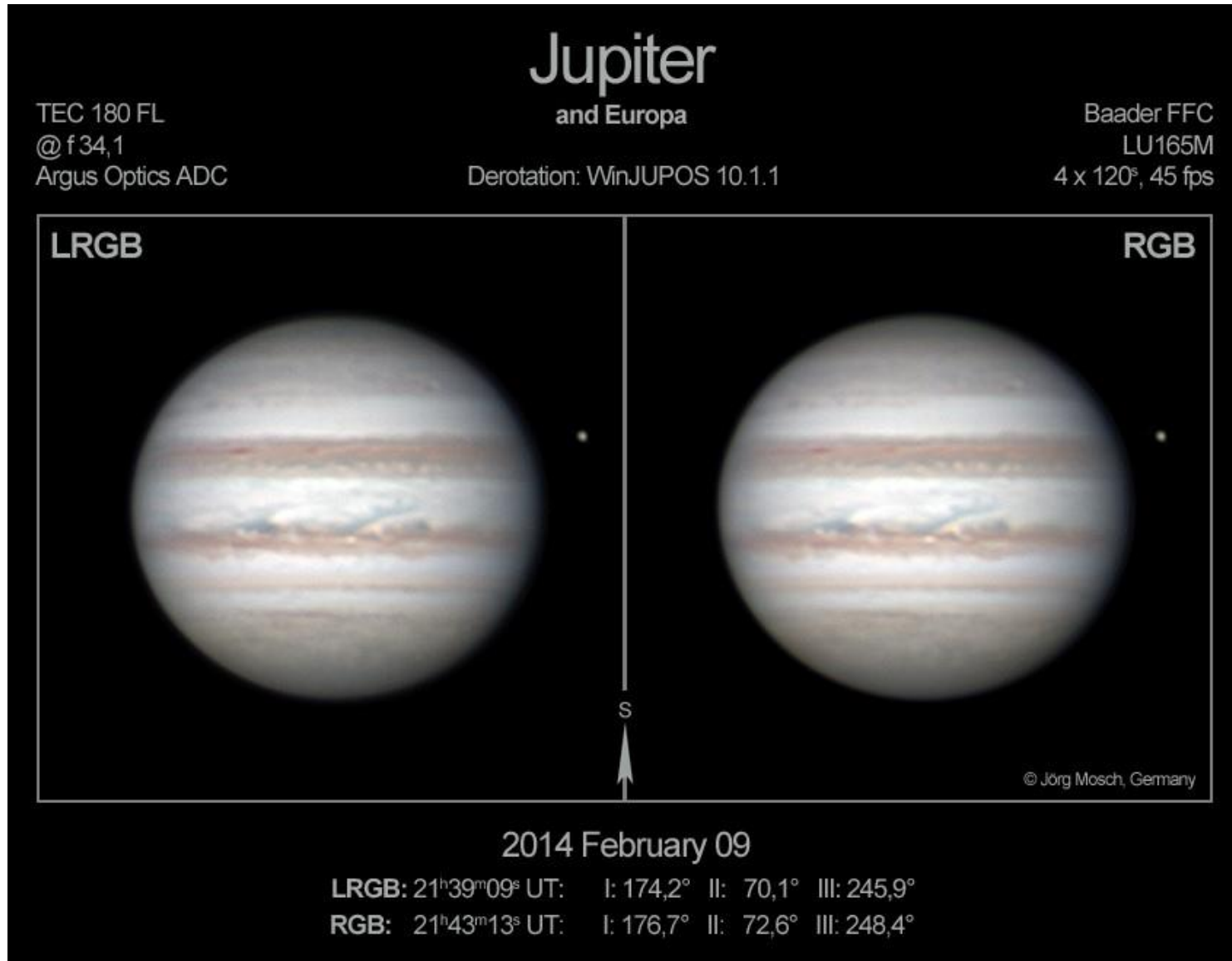


ADC Compact, auch eine Tool für RGB Fotografen**Schmidt-Cassegrain 280/F10 im R-Kanal**

Systembrennweite 5600mm 1" = 37lp/mm; Objekt 45° über Horizont

Kaum Einfluß der atmosphärischen Dispersion !



Aufnahme Beispiel I : Jupiter von Jörg Mosch TEC 180

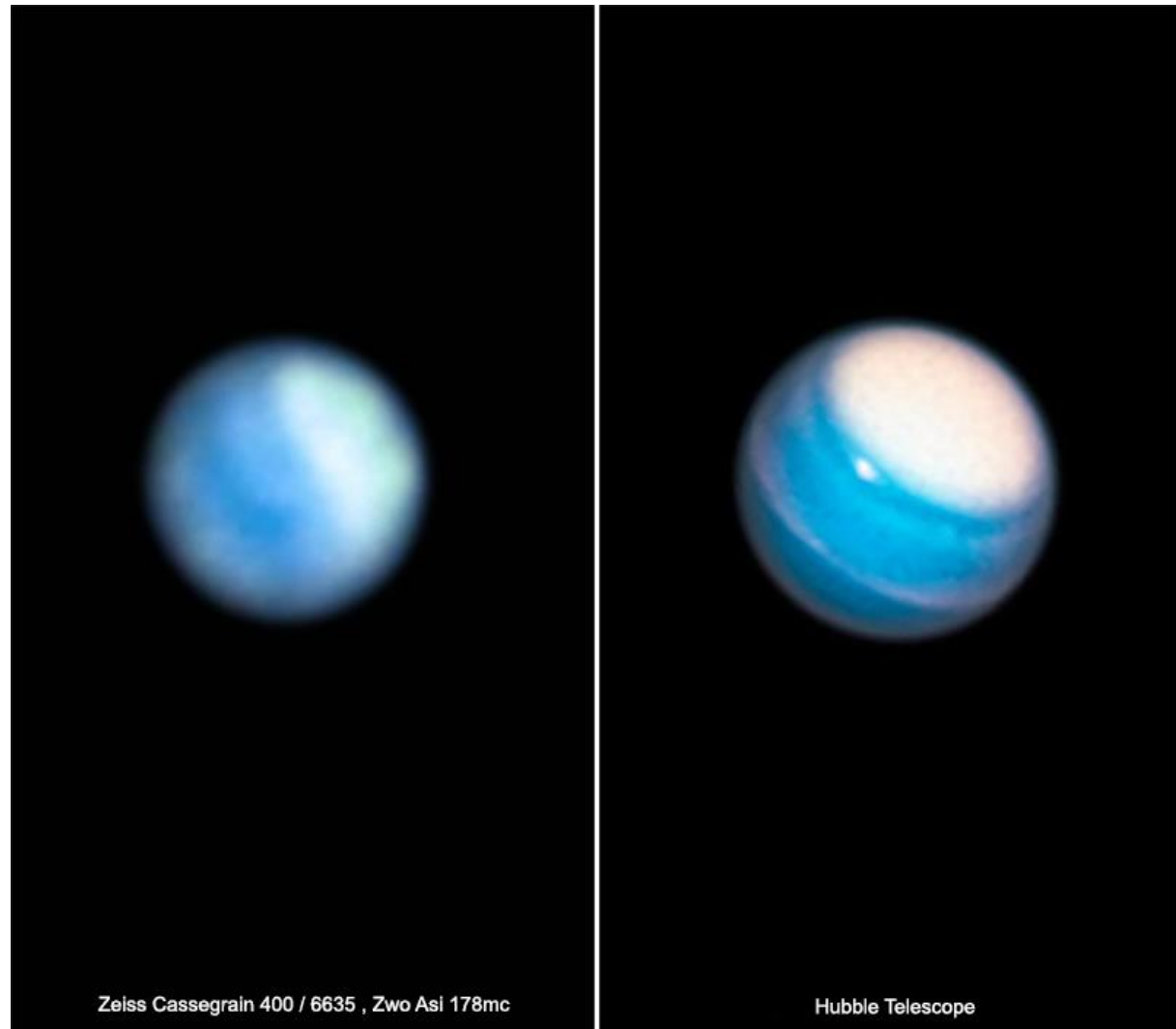
Aufnahme Beispiele II:

Uranus

Uwe Meiling

Zeiss Cassegrain
400 / 6635
+ ADC Compact
+ 350nm Filter

Oktober 2019



Aufnahme Beispiele III:

Venus: Uwe Meiling, 12.3.2020

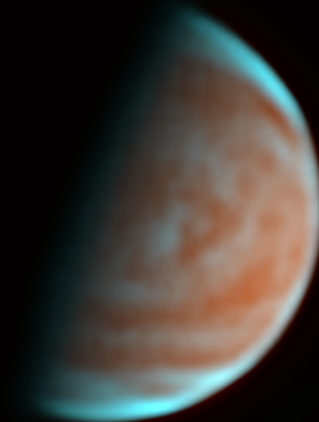
Zeiss Cassegrain 400 / 6635 + ADC Compact + 350nm Filter

ohne ADC

mit ADC



Venus by Uwe Meiling, 03.03.2020



Venus by Uwe Meiling, 12.03.2020

Baader UV / IR-Pass Combination

ADC - Gutekunst

Astrophotographie für Sonne, Mond, Planeten

→ Mit ADC + Farb-Kamera:

- Farbkamera hat physikalisch 4mal weniger Pixel**
- Daher um gleichen Kontrast zu erhalten längere Brennweite**
- Längere Brennweite benötigt größere Belichtungszeiten**
- Weniger Frames führt zu höherem Rauschen**
- Trotzdem bei super Bedingungen tolle Ergebnisse**

Kontrast-Unterschied Mono / Farbkamera

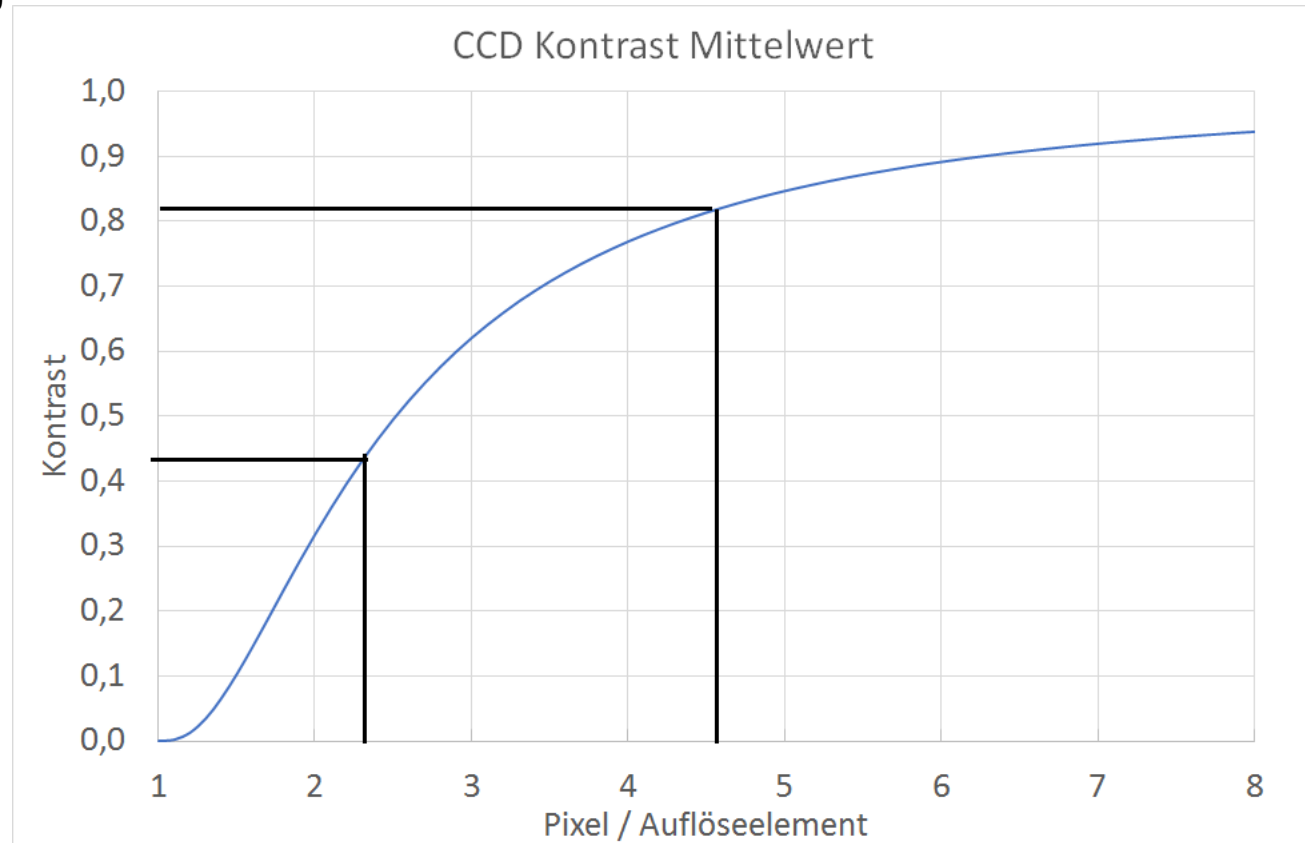
- CCD oder CMOS Chips reduzieren den Kontrast durch ihre Pixelgröße
- Maximal 20% Kontrastverlust $\rightarrow$ 4.5 Pixel / Auflösestruktur (Airydisk) $\rightarrow$ zu großen Brennweiten (11" typisch F20)

Teleskop C11 $\rightarrow$ Auflösung
0,4"

Bei F=5600mm
und Asi183MM:
2,4 μ m Pixel:
 $\rightarrow$
4.6 Pixel
82% Kontrast

ASI 183MC: 4,8 μ m Pixel:
 $\rightarrow$ 2,3 Pixel
43 % Kontrast

Kontrast Mono/Color: 1.9 !



Aufnahme Beispiele II:

Mars am 12.9.2021

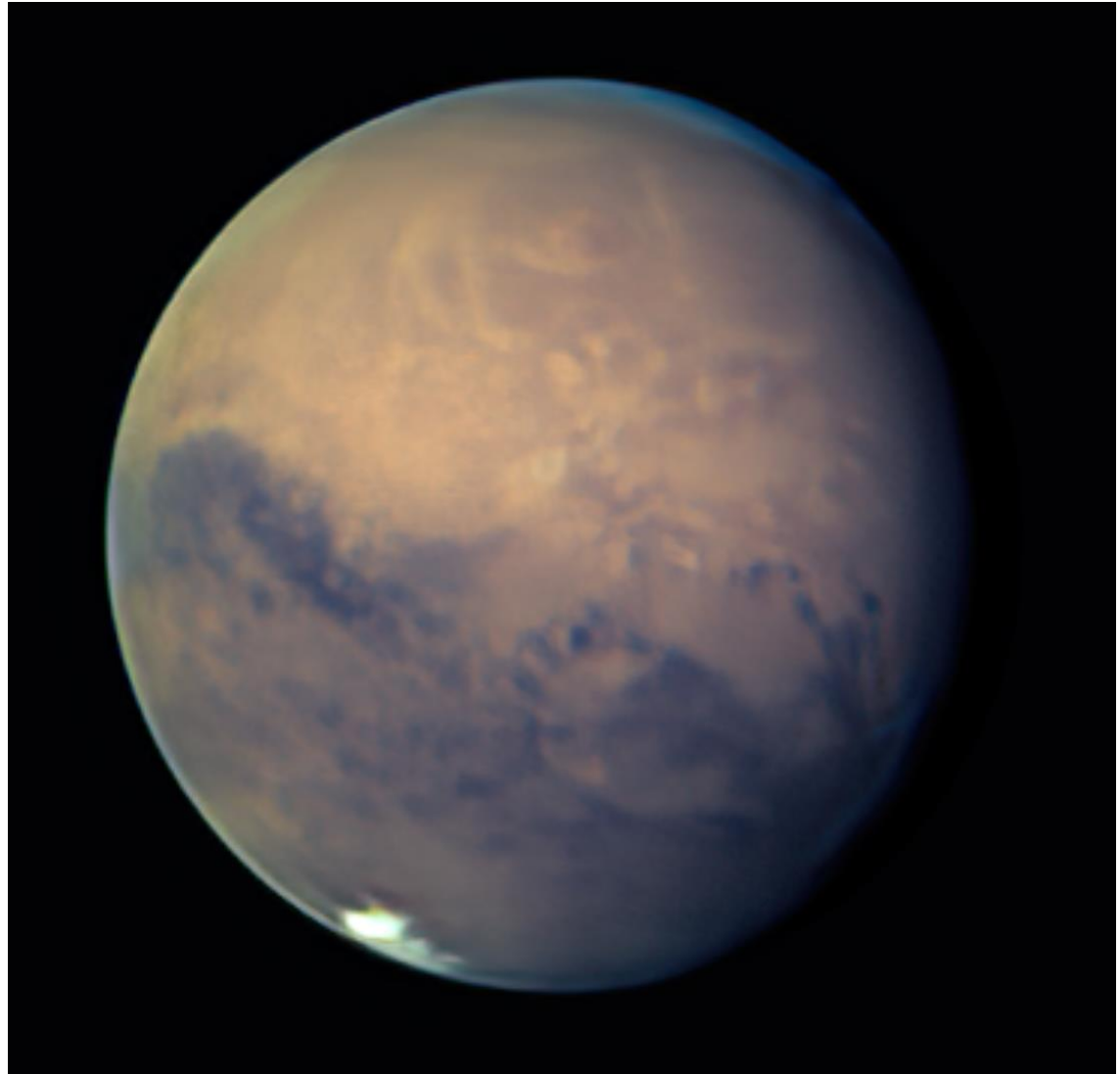
**11" Apo F=5100mm
ADC Compact**

**ASI 183MC
23ms, Gain 105**

20% von 11200 Frames

Aufnahme: Gutekunst

Auswertung Uwe Meiling



Aufnahme Beispiel III:

Uwe Meiling:

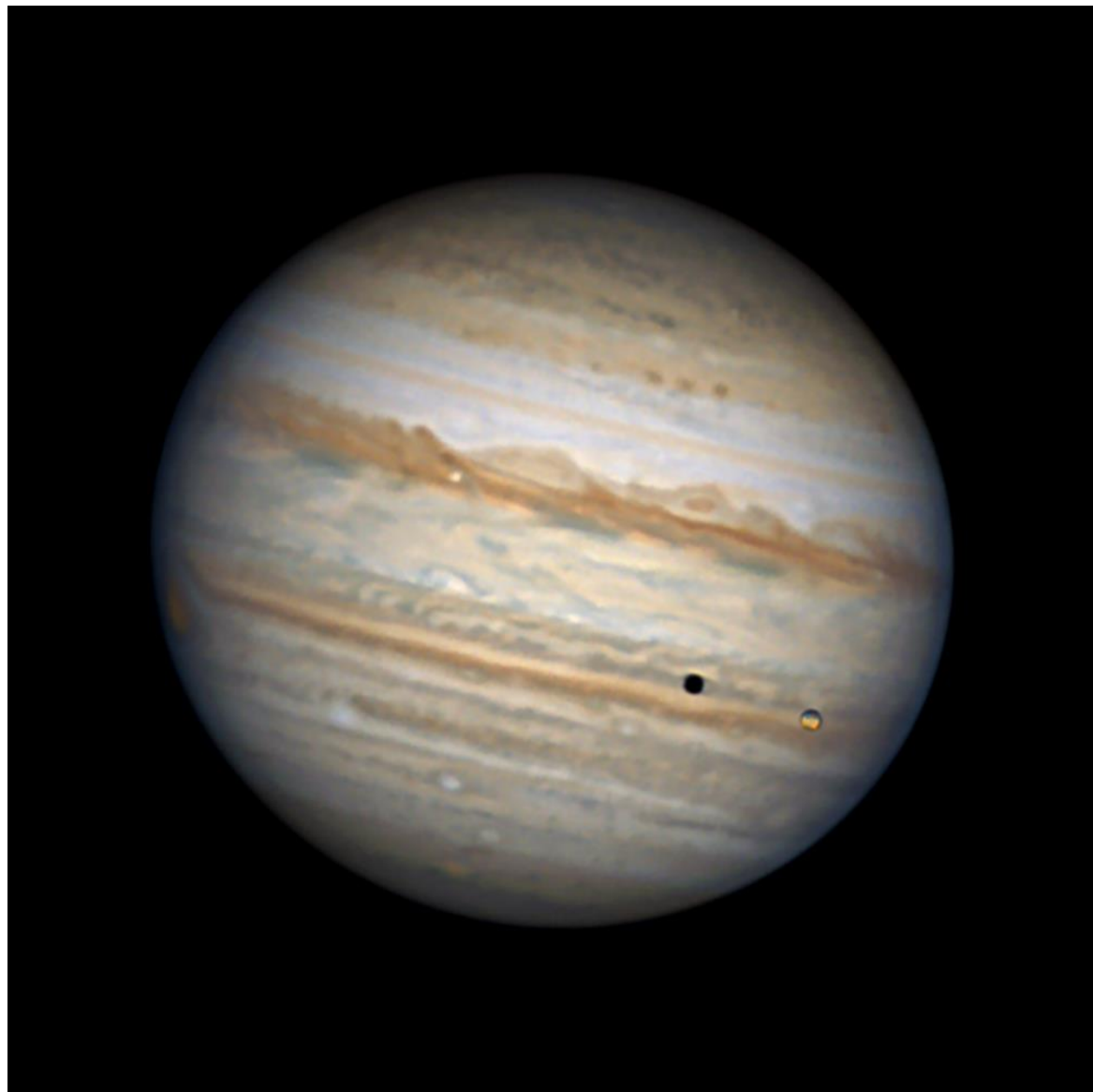
Jupiter am 13.10.2022

Zeiss Cassegrain

400/6638

ADC Compact

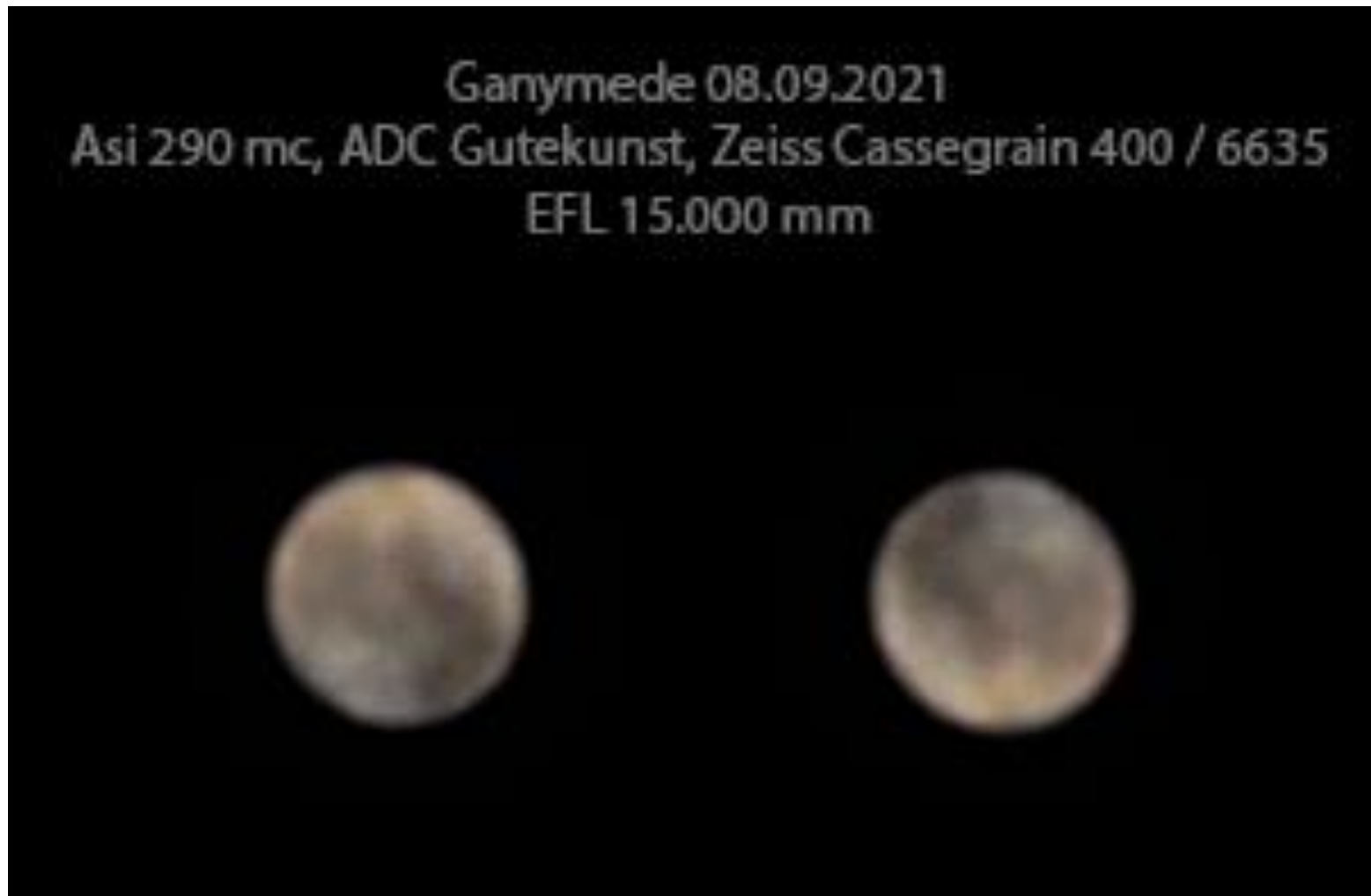
ASI 290 MC, 9,4ms



Aufnahme Beispiel I: Uwe Meiling Ganymed

Zeiss Cassegrain 400/6638

ADC Compact, ASI 290 MC



ADC und Astro-Photographie mit Farb-Kamera VI ADC 56

M5 ADC on, 280mmAPO, Nikon 800E

M5 ADC off, 280mm APO, Nikon 800E



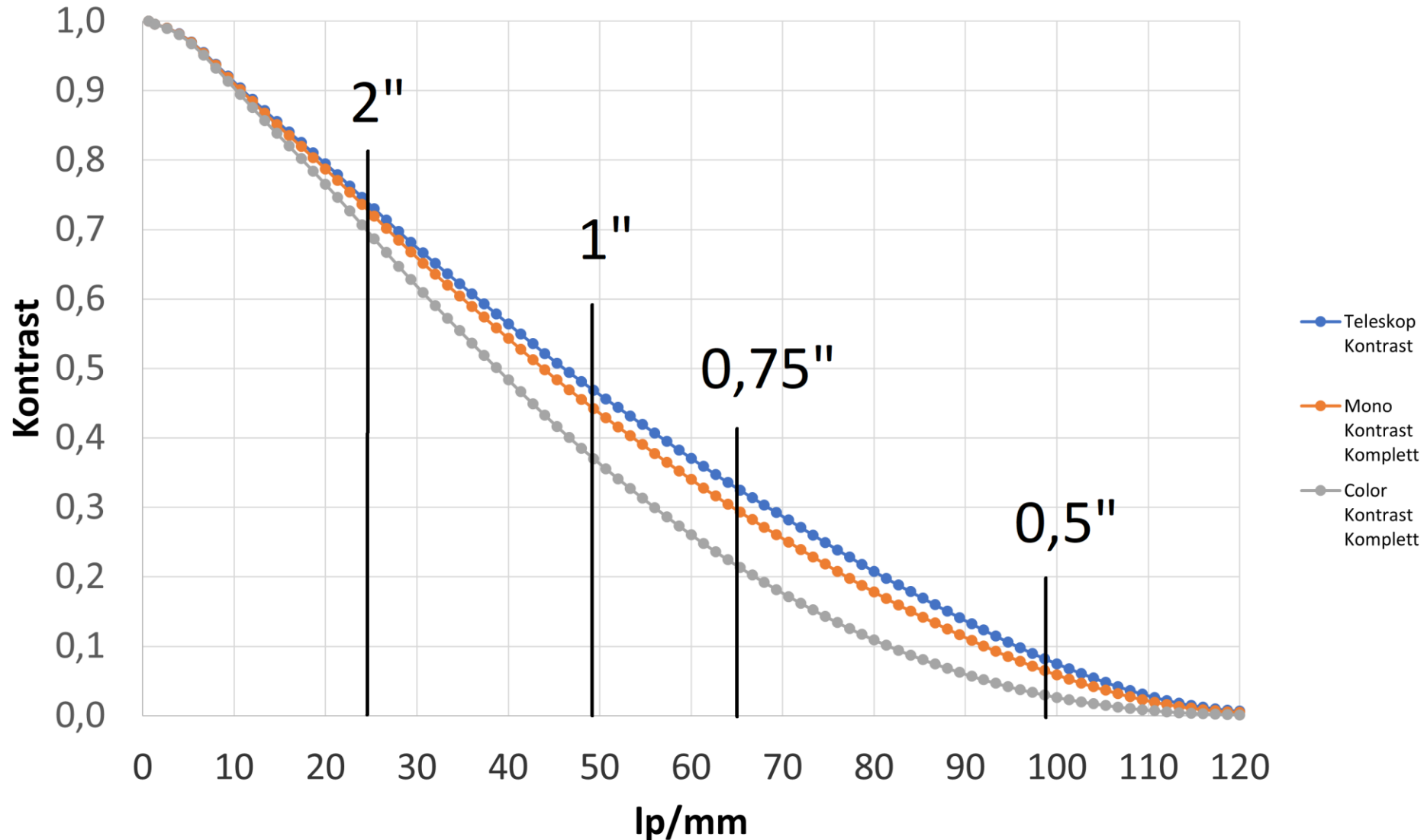
Astrophotographie mit Doppelkopf-Kamera:

- Verbindet Vorteile der Monochrom Kamera und Farbkamera:
 - bei halber Brennweite gleiche Auflösung wie RGB+Monochrom Kamera
 - dadurch deutlich kürzere Belichtungszeiten (typisch Faktor 2-4)
 - Seeing-Einflüsse können reduziert werden
 - mehr Frames wie RGB-Kamerasystem → besseres S/N Verhältnis
- Monochromkamera für Strukturinformation mit kompletten L-Kanal
 - Kurze Belichtungszeiten
 - viele Frames
 - volle Auflösung
- Farbkamera: Farbinformation
 - zum Einstellen des ADC's
 - effiziente Farbwert-Ermittlung

ADC und Astro-Photographie mit Doppelkopfkamera II ADC 58

Doppelkopf-Kamera: bei F15 kaum Kontrast-Verlust durch Kamera !

Kontrast für Refraktor 280/4200 F 15, Mono- & Farb-Kamera



1,5x Barlow, ADC, 2" Aufnahme, Doppelkopf-Kamera 183MM/183MC:

- Doppelkopfkamera mit Klappspiel, justiert auf Lage, Drehwinkel und Fokus



ADC und Astro-Photographie mit Doppelkopfkamera IV ADC 60

**Jupiter am 10.08.2020: 280/2800 APO Refraktor, Seeing 7
F=5100mm, 7x4500 Frames, 4x Color, 3x Mono, 20ms Gain 150-180**

Mono + Farb-Kamera

nur Farb-Kamera



RGB + SW derotiert, RGB + SW getrennt Registax,
kombiniert mit Fitswork +PS



nur RGB derotiert + summiert + Registax + PS

ADC und Astro-Photographie mit Doppelkopfkamera V ADC 61

Farbkamera zum Einstellen ADC, Mono-Kamera als L-Kanal für Aufnahmen

Uwe Meiling

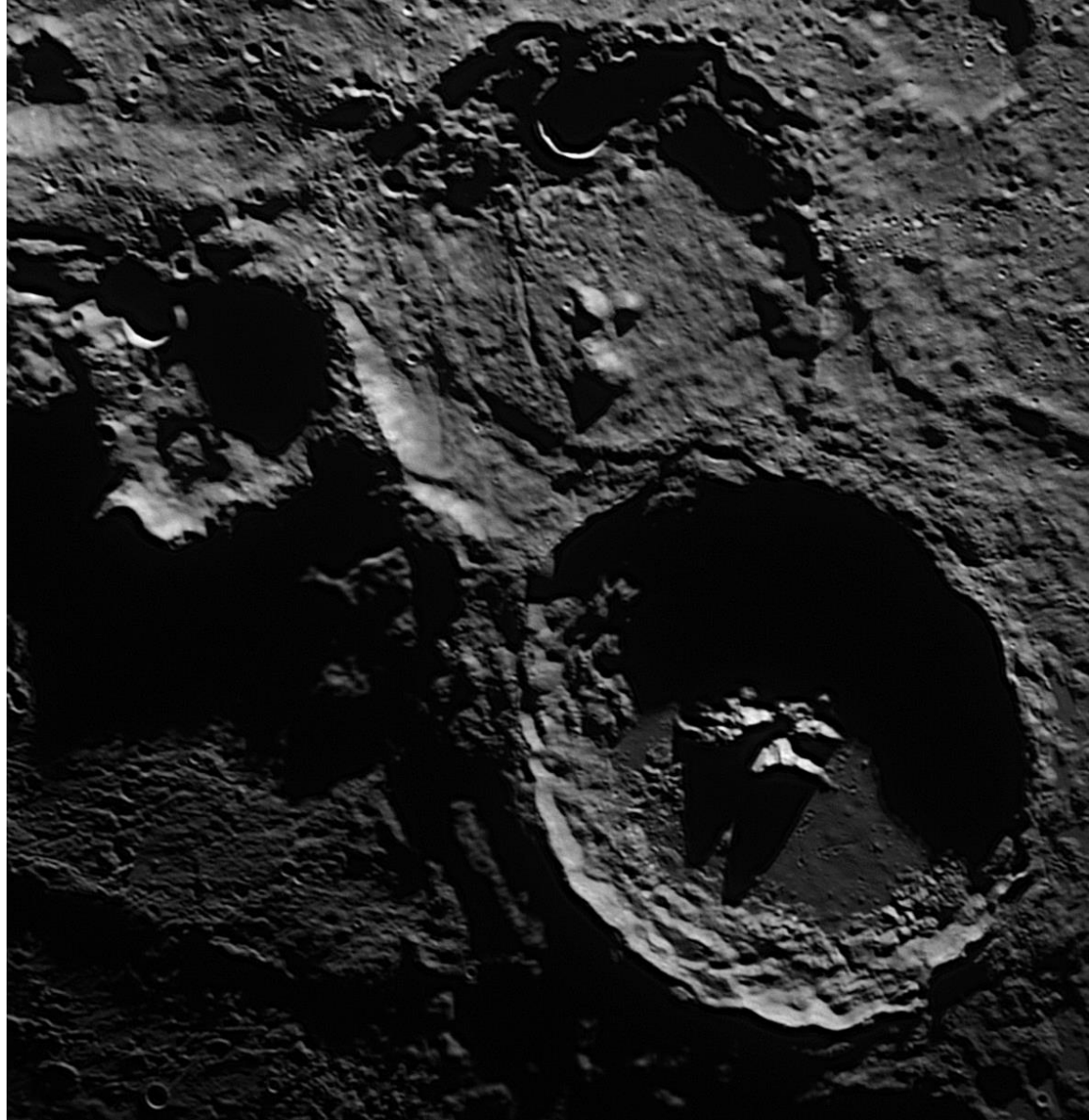
Mond Theophillus

Zeiss Cassegrain 400/6638

Asi 178 MM

4ms

**15000 Frames,
15% verwendet**



ADC und Astro-Photographie mit Doppelkopfkamera VI ADC 62

Farbkamera zum Einstellen ADC, Mono-Kamera als L-Kanal für Aufnahmen

**Martin
Gutekunst**

**Mond
Alpental**

APO280/5100

**Asi 183 MM
3ms**

**6000 Frames,
20% verwendet**



Sonnen-Teleskope

Weißlicht:

APO 160mm, F=2500mm

Herschelkeil

H-alpha

APO 280mm, F=2800mm

Filter D=200mm

2x Telecenter

Ethalon D=50mm

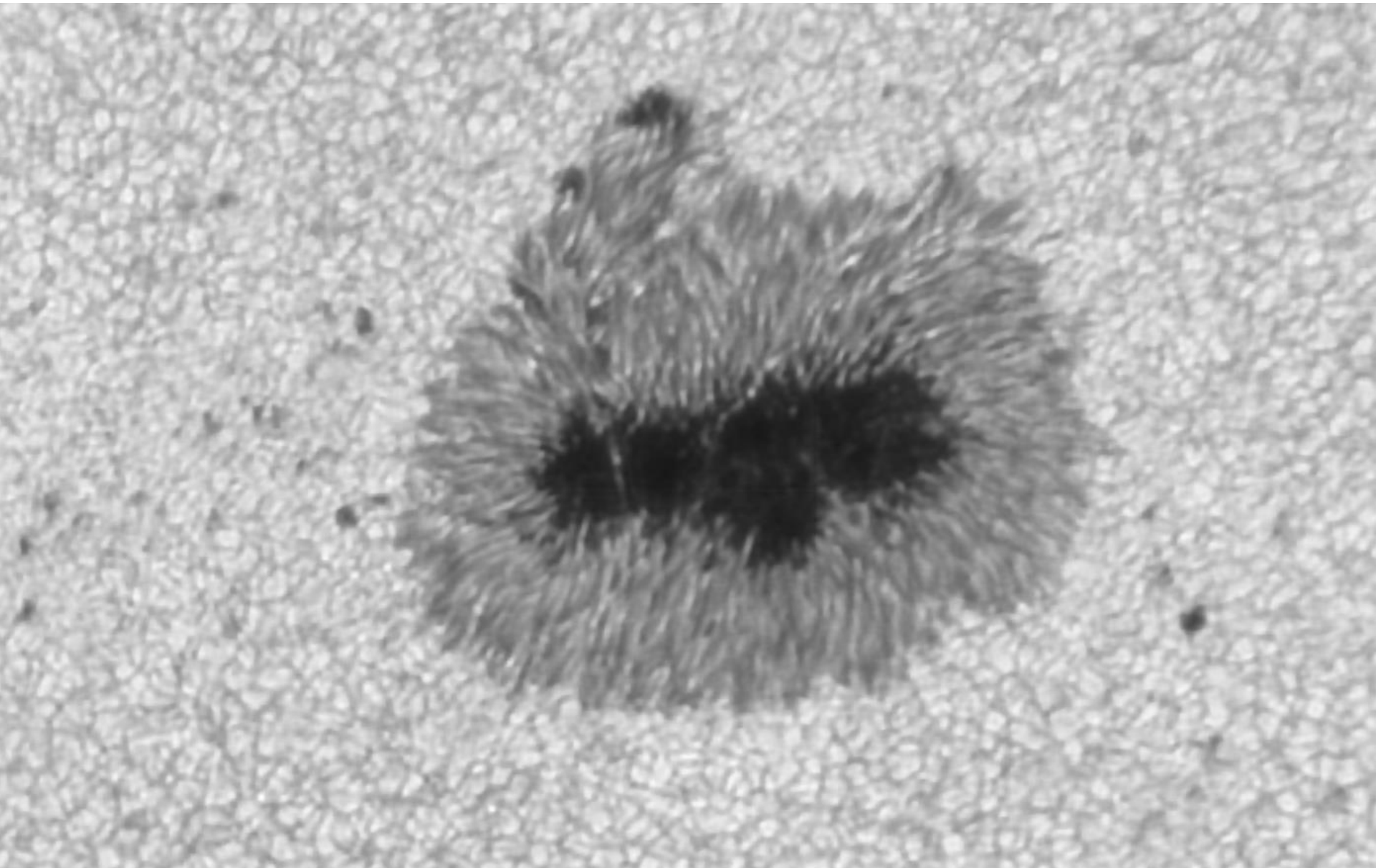


ADC und Astro-Photographie Sonne II ADC 64

- 2x Barlow, Herschelkeil, ADC, Distanzhülse, Doppelkopf-Kamera:
- ADC nach Herschelprisma zum Schutz ADC
- Dual Kamerakopf: Farbkamera zur Einstellung ADC, Mono-Kamera für Aufnahme



28.3.2020, 11h, APO 160/F15, F=5000mm, ASI 183MM



- **Teleskope mit hoher Performance und Öffnungen über 150mm erreichen ihre volle Leistungsfähigkeit nur mit Hilfe eines ADC's**
- **Das Verwenden eines ADC's macht auch für Beobachten von Objekten mit großen Horizonthöhen Sinn (bis 60°)**
- **ADC bringt hauptsächlich Vorteile bei hervorragendem Seeing**
- **Auch für Astrophotographie macht der ADC Sinn: vorzugsweise für Farbkameras und für RGB-Aufnahmen im Luminanz-, Blau- und Grün-Kanal**
- **Theoretisch würde eine Doppelkopfkamera die besten Ergebnisse bringen**
- **Teurere Designs (Planplatte mit dispersiven Elementen) bringen erheblich Vorteile bezüglich schnellem Einstellen und optischer System-Performance**

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

Dr. Martin Gutekunst

Sternwarte Eberfing

www.gutekunst-optiksysteme.de