



# Planetenfotografie

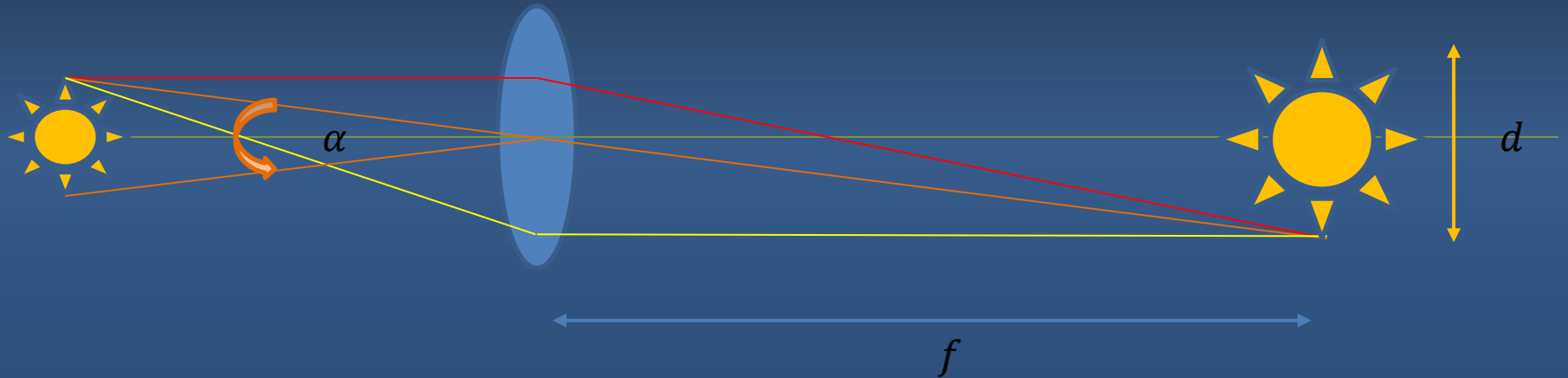
Ein Weg zu hoch aufgelösten Mond-  
und Planetenfotos



# Übersicht

1. Grundlagen der bildgebenden Optik
2. Grundlagen der Bilderzeugung
3. Einführung in die Aufnahmetechnik
4. Systemtheoretische Betrachtungen zur Bildgewinnung
5. Vorschlag eines Workflows zur Bildbearbeitung
6. Bildbeispiele

# 1. Grundlagen der bildgebenden Optik



$$d = 2f \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) \approx f \tan \alpha$$

1 Bogensekunde wird bei 1m Brennweite auf eine Größe von 4,85 $\mu$ m projiziert!



# 1. Grundlagen der bildgebenden Optik

- Abbild bei Planeten und Mondstrukturen ist sehr klein:  
Mit einem 10" f/5-Newton wird Jupiter fokal lediglich 0,3mm groß abgebildet!



Brennweitenverlängerung



# 1. Grundlagen der bildgebenden Optik

Methoden zur Brennweitenverlängerung:

- Okularprojektion
- Projektion über Barlowelement



# 1. Grundlagen der bildgebenden Optik

## Okularprojektion

$$f_{\ddot{a}} = |f_{OTA} / f_{OK}$$

### Vorteile:

- Einfach über vorhandene Okulare realisierbar
- Gute erreichbare Abbildungsqualität mit guten Okularen
- Variabelste Äquivalentbrennweiten erzielbar

### Nachteile:

- Hohe okularseitige Baulänge
- Projektionsadapter erforderlich
- Sehr empfindlich gegen verkippte optische Achsen (laterale Aberrationen)



# 1. Grundlagen der bildgebenden Optik

## Projektion über Barlowelement

$$f_{\bar{a}} = \nu f_{OTA}$$

### Vorteile:

- Sehr einfach realisierbar
- Exzellente Abbildungsqualität realisierbar
- Kurze, okularseitige Aufbauhöhe

### Nachteile:

- Gute Projektive teils hochpreisig
- Eingeschränkte Variabilität bei erreichbaren Äquivalentbrennweiten



## 2. Grundlagen der Bilderzeugung

Detektiertes Signal proportional zur integrierten Leuchtdichte:

$$S(x, y) = g\eta V \int_{(t_j)} A(x, y) L_v(x, y)$$

S: positionsabhängige Signalstärke

g: Sensorkonstante

$\eta$ : Quanteneffizienz

V: Verstärkung

A: Pixelfläche

$L_v$ : positionsabhängige Leuchtdichte

$t_j$ : Integrationszeit





## 2. Grundlagen der Bilderzeugung

Bedingungen für hohe Signalausbeute:

- Guter Sensor (hohe Quanteneffizienz...)
- Hohe Integrationszeit (führt zu verbessertem Signal/Rauschabstand)
- Hohe Verstärkung (führt zu geringem Signal/Rauschabstand)
- Große Pixel (bedingen hohe Vergrößerung)
- Hohe Leuchtdichte (sinkt quadratisch mit der Vergrößerung)



## 2. Grundlagen der Bilderzeugung

Sensorgüte:

- Guter Quantenwirkungsgrad über das gesamte VIS-Spektrum
- Evtl. Microlenses
- CMOS/CCD bei modernen Kameras kein Entscheidungskriterium mehr (Schlechter Ruf von CMOS bedingt durch geringere Pixelapertur der ersten Kameragenerationen)



## 2. Grundlagen der Bilderzeugung

Signal/Rauschverhalten:

- Möglichst niedrige Verstärkung => wenig Rauschen
- Kurze Einzelbelichtungszeiten, um seeing einzufrieren
- Viele Einzelaufnahmen, um hohe Integationszeiten zu erreichen



## 2. Grundlagen der Bilderzeugung

Pixelgröße/Leuchtdichte:

- Pixel mit  $k$ -facher Kantenlänge sammeln die  $k^2$ -fache Lichtmenge
- $k$ -fache Pixelausdehnung bedingt  $k$ -fache Aufnahmebrennweite
- $k$ -fache Aufnahmebrennweite führt zu  $1/k^2$ -facher Leuchtdichte

Fazit:

Die Pixelgröße ist vollkommen unerheblich! Vielmehr muss über die korrekte Wahl der Aufnahmebrennweite der Sensor optimal an das Teleskop angepasst werden!



### 3. Einführung in die Aufnahmetechnik

Detektiertes Signal lässt sich in Nutz- und Störsignal aufspalten:

$$S(x, y) = I(x, y) + N(x, y)$$

S: positionsabhängige Signalstärke

I: Informationsgehalt eines Pixels (systematisch)

N: Rauschanteil eines Pixels (stochastisch)



### 3. Einführung in die Aufnahmetechnik

Erwartungswert der Störgröße konvergiert für hohe Summandenanzahl gegen null:

$$\mu\{N(x, y)\} \rightarrow 0$$

Damit gilt für den Erwartungswert eines Pixelsignals:

$$\mu\{S(x, y)\} \rightarrow I(x, y)$$



### 3. Einführung in die Aufnahmetechnik

Der Erwartungswert des Pixelsignals lässt sich auch anders formulieren:

$$\mu\{S(x, y)\} = \frac{1}{n} \sum_{(1..n)} S(x, y) \rightarrow I(x, y)$$

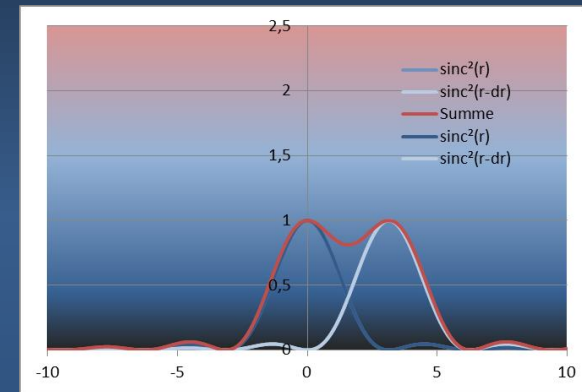
Durch Mittelung einer hinreichend großen Anzahl an Einzelbildern (Frames) lässt sich der Rauschanteil des Bildsignals theoretisch eliminieren.  
Diese Art der Bildverarbeitung nennt man Stacking.



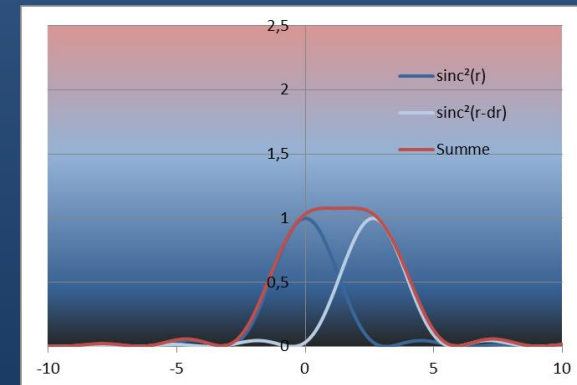
# 4. Systemtheoretische Betrachtungen zur Bildgewinnung

Abbildungsleistung einer Optik:

- Rayleigh-Kriterium ( $1,22\lambda/d$ )



- Dawes-Kriterium ( $\lambda/d$ )

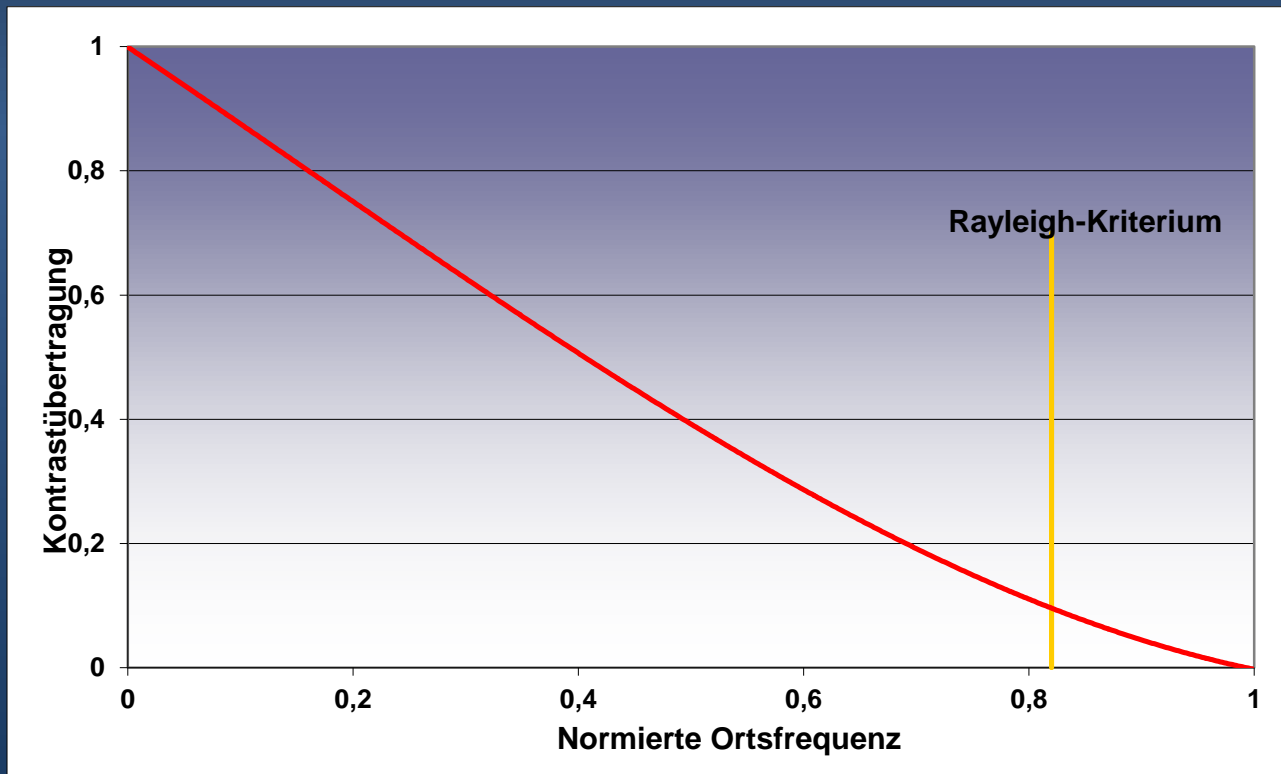






# 4. Systemtheoretische Betrachtungen zur Bildgewinnung

Modulationsübertragungsfunktion (MTF):





## 4. Systemtheoretische Betrachtungen zur Bildgewinnung

Eigenschaften der MTF:

- Laplace-Transformierte der PSF
- Hat keine Nullstelle, sondern konvergiert im Unendlichen gegen null:

$$\lim_{s \rightarrow \infty} MTF(s) = 0$$

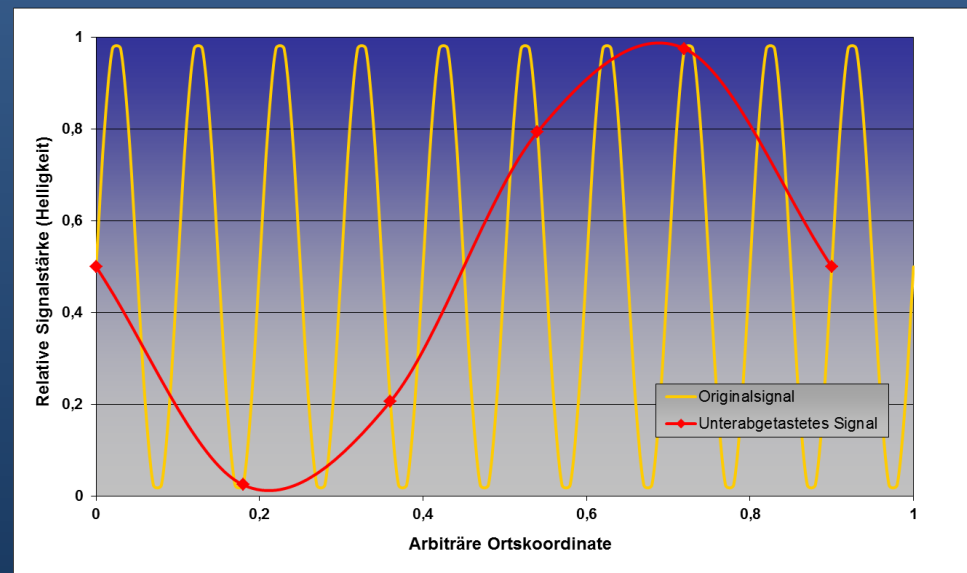
Es lassen sich auch Strukturen jenseits des Dawes-Kriteriums nachweisen!



# 4. Systemtheoretische Betrachtungen zur Bildgewinnung

Shannon'sches Abtasttheorem:

- Um ein Signal sicher zu detektieren, muß dieses mit mindestens dem Doppelten der höchsten im Signalspektrum vorkommenden (Orts)frequenz abgetastet werden.
- Andernfalls kann es zur Artefaktbildung kommen





## 4. Systemtheoretische Betrachtungen zur Bildgewinnung

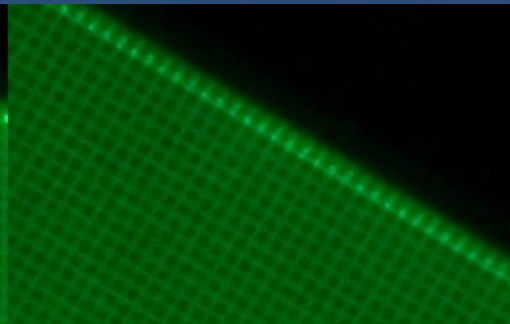
Abbildungsmaßstab muss an die Sensorgeometrie angepasst werden:

- Berücksichtigung des Abtasttheorems
- Samplingabstand (oversampling), da keine steilflankigen Filter im Signalweg
- Berücksichtigung der Auflösungsanisotropie

Hohe MTF



Niedrige MTF





## 4. Systemtheoretische Betrachtungen zur Bildgewinnung

Optimale Anpassung Bildsensor zu Optik:

$$1/F = f_{\text{äqu}}/D = 6,6\mu\text{m}^{-1} * d_p$$

Beispiel:

Für eine Kamera mit  $5,2\mu\text{m}$  Pixelgröße ist das Optimum an Auflösung für ein Öffnungsverhältnis von  $f/34$  erreicht. Bei einem 6“-Teleskop entspricht dies einer Äquivalentbrennweite von  $34 * 152\text{mm} = 5,2\text{m}$ .



## 4. Systemtheoretische Betrachtungen zur Bildgewinnung

Bildschärfung als integraler Bestandteil der Übertragungskette:

- Jede MTF besitzt Tiefpaßcharakter, auch bei einer noch so perfekten Optik!
- Dieser Tiefpaß muß über einen Hochpaß ausgeglichen werden
- Ist die Hochpaßcharakteristik zu steil, kann es zu einem Anstieg der Gesamt-MTF kommen, was gleichbedeutend mit Überschwingern und Artefakten ist.
- Sind die kleinsten Strukturen hinreichend groß abgebildet, kann eine nahezu verlustfreie Rauschfilterung in die Schärfung integriert werden.

Bildschärfung dient also lediglich dem Equalizing der MTF und ist ein unabdingbares Glied der Übertragungskette!



## 5. Vorschlag eines Workflows zur Bildbearbeitung

- Aufnahme mit Videograbber-Software (VirtualDub Giotto, etc.)
- Zentrierung und Überlagerung (Stacking)
  - Avistack (Mond, gutes Multipoint alignment für differenzielles seeing)
  - Registax 6 (Mond, Planeten, Multicore-Unterstützung)
  - Giotto (sehr stabil)
- Kanalsensitive Schärfung (L, R, G, B) (mexican hat mit Giotto)
- (L)-RGB-Compositing (Fitswork)
- Tonwertkorrektur, Finishing (Gimp, Photoshop etc.)



## 6. Bildbeispiele