

Astrometrie von All-Sky-Bildern mit ImageTools

Peter Schlatter

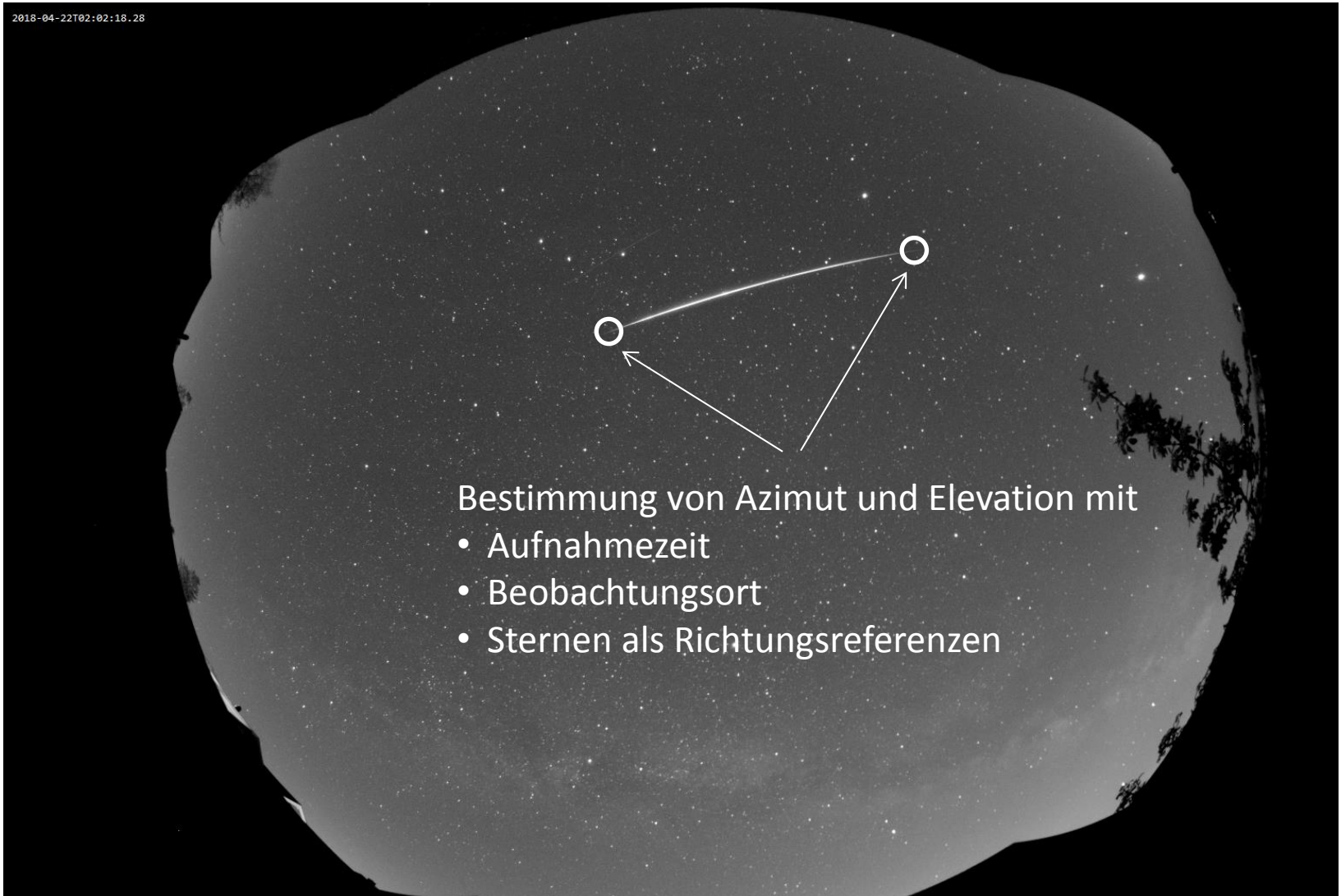
Bern, 28. April 2018

Inhalt

- All-Sky Kamera
- Projektion Himmel -> Sensor
- Residuen der ZPN-Projektion
- ImageTools (on-line Demo)

Worum es geht...

2018-04-22T02:02:18.28



All-Sky Kamera



Alcor System ALPHEA 6ML

<http://www.alcor-system.com>

All-Sky Kamera

Objektiv:

DIY 2.5 mm F1.6 190°
(Aliexpress US\$ 45.55)

Heizplatte



Kamera:

ZWO ASI 178MM
(US\$ 399.00)

Sensor:

Sony CMOS IMX178
Back illuminated
3096x2080 Pixel
2.4 μm Pixel

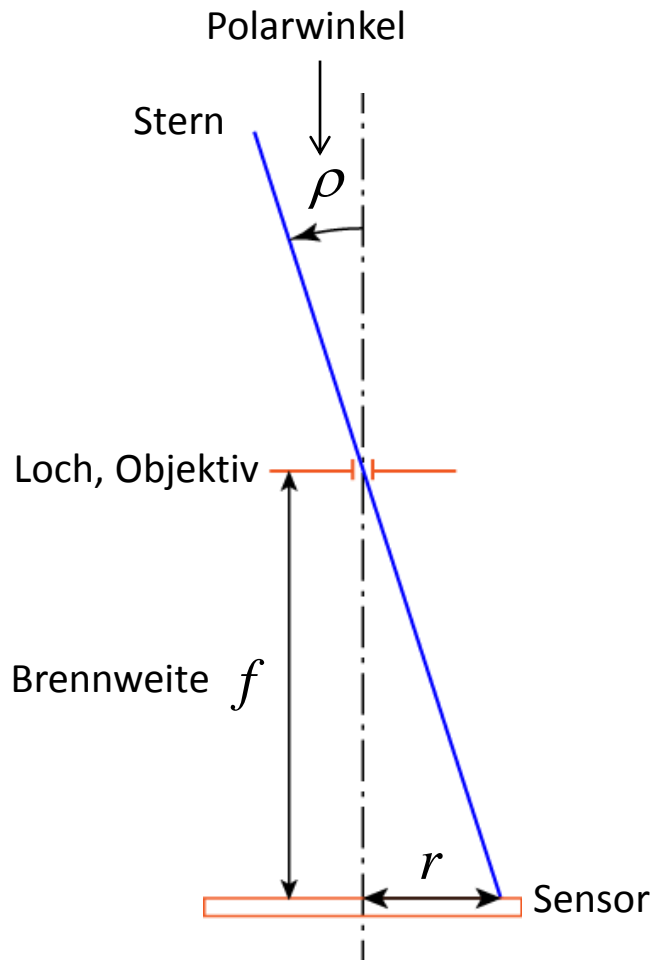
All-Sky Kamera



Optimale Konfiguration

- ohne Dom
- mit zusätzlicher Blende
- aber: die Nachteile sind offensichtlich...

Projektion Himmel -> Sensor



Ein verzeichnungsfreies Objektiv bildet wie eine Lochkamera ab:

$$r = f \tan(\rho)$$

Es handelt sich um die gnomonische Projektion (TAN). Abweichungen von dieser Projektion heissen Verzeichnung.

Fischaugen-Objektive bilden Sterne mit $\rho \geq 90^\circ$ ab. Die TAN-Projektion ist deshalb gar nicht möglich.

Dies erklärt, weshalb das Plate-Solving Programm Astrometry.net bei Fischaugen-Bildern nicht funktioniert. Denn Astrometry.net hat (bisher) nur die TAN-Projektion implementiert.

Projektion Himmel -> Sensor

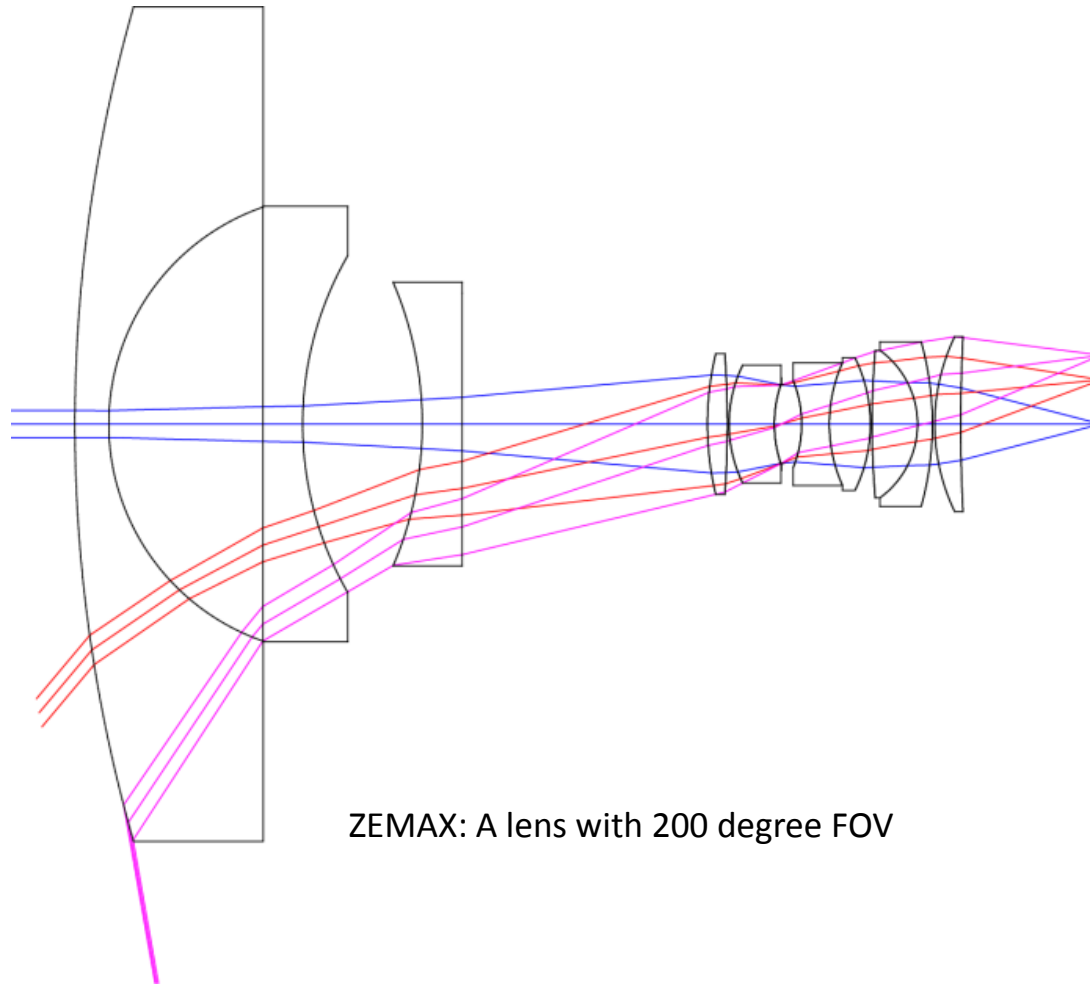
Einige Standard-Projektionen

Fischaugen-Objektive befinden
sich in dieser Gegend

- TAN – gnomonisch $r = f \tan(\rho)$
- STG – stereographisch $r = f \tan(\rho / 2)$
- SIN – orthographisch $r = f \sin(\rho)$
- ARC – zenital aequidistant $r = f \rho$
- ZEA – zenital gleichflächig $r = f \sin(\rho / 2)$

<http://adsabs.harvard.edu/abs/2002A%26A...395.1077C>

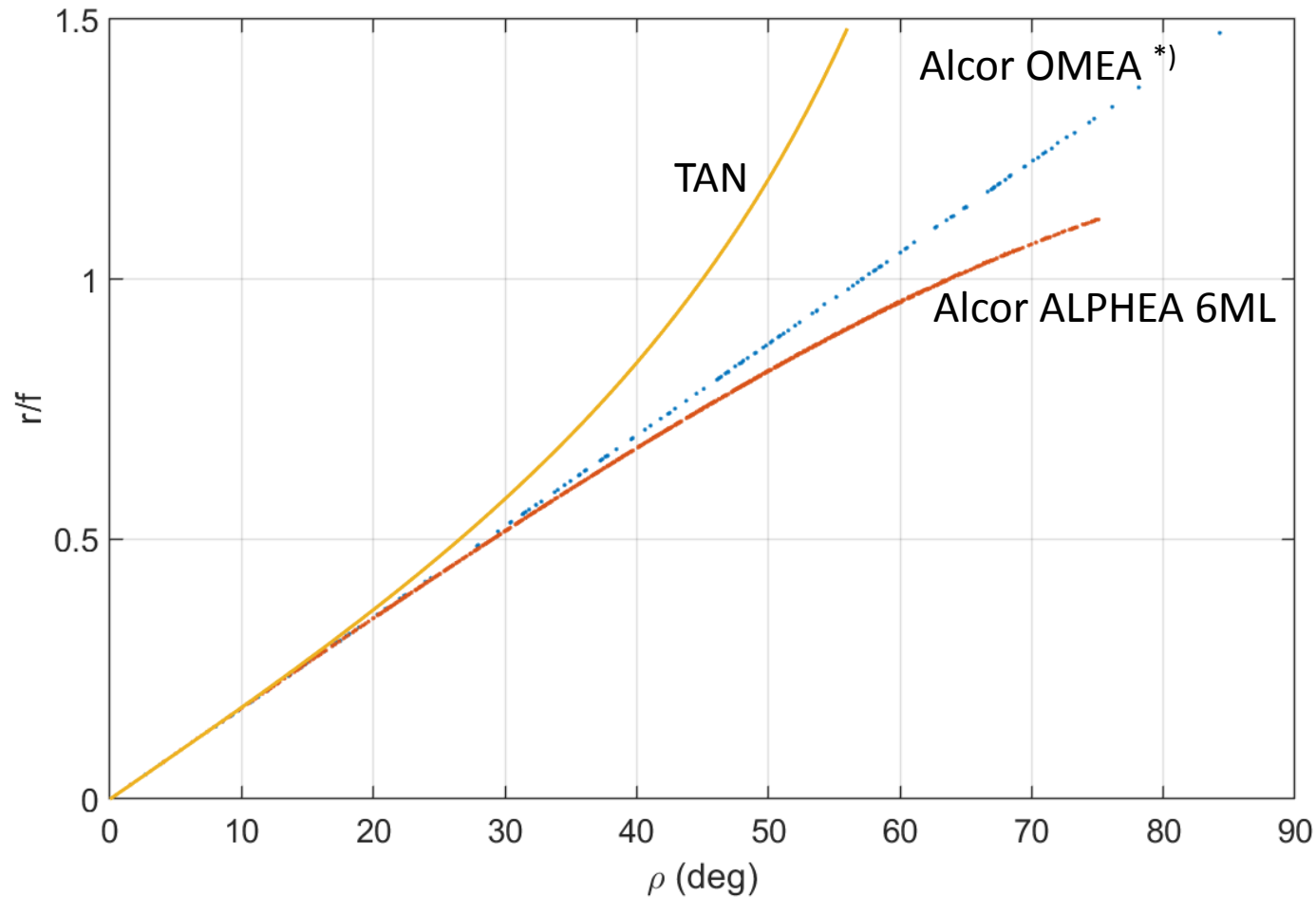
Projektion Himmel -> Sensor



ZEMAX: A lens with 200 degree FOV

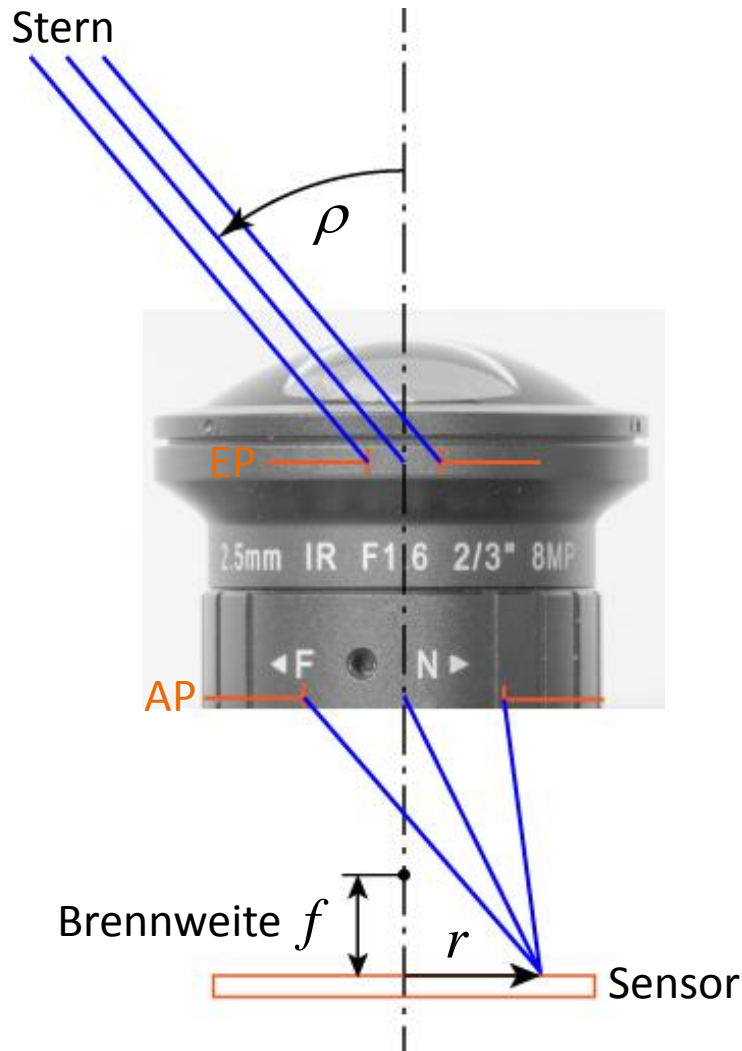
Projektion Himmel -> Sensor

Gemessene Projektionen von zwei Alcor-Kameras



*) altes Modell (Schafmatt, Gornergrat)

Projektion Himmel -> Sensor



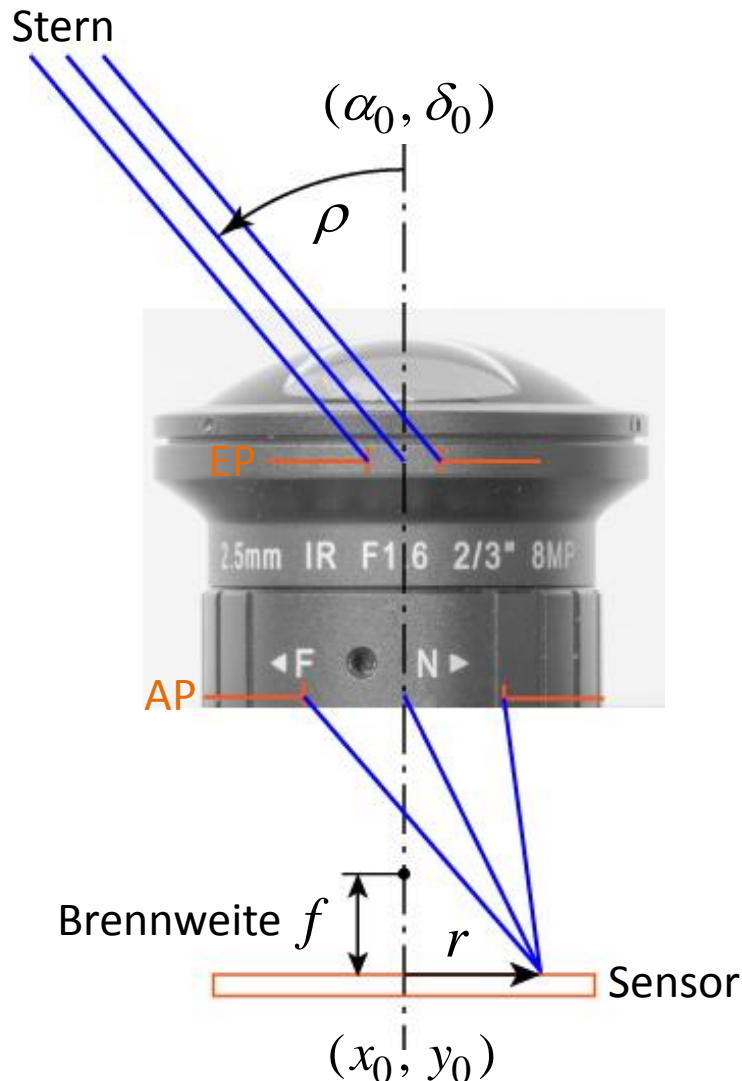
Annahmen:

- Objektiv ist rotationssymmetrisch
- Sensor steht senkrecht auf optischer Achse

Dann kann $r(\rho)$ in eine Reihe entwickelt werden

$$r = f (\rho + a_3 \rho^3 + a_5 \rho^5 + \dots)$$

Projektion Himmel -> Sensor



Annahmen:

- Objektiv ist rotationssymmetrisch
- Sensor steht senkrecht auf optischer Achse

Dann kann $r(\rho)$ in eine Reihe entwickelt werden

$$r = f (\rho + a_3 \rho^3 + a_5 \rho^5 + \dots)$$

Mit einer Ausgleichsrechnung werden die Abbildungsparameter bestimmt:

- Brennweite f
- Verzeichnung a_3, a_5, \dots
- Optische Achse am Himmel (α_0, δ_0)
- Optische Achse auf dem Sensor (x_0, y_0)
- Nordrichtung auf dem Sensor
(Rotation des Sensors)

Projektion Himmel -> Sensor

Diese Projektion heisst ZPN = Zenithal Polynomial.

Die Projektion

- wird in UFOAnalyzer verwendet
- ist eine Standard-Projektion im FITS WCS^{*)} Standard
- ist in ImageTools WCS-konform implementiert,
d.h. alle Projektionsparameter sind im FITS-Header enthalten

Ist das Modell praxistauglich?

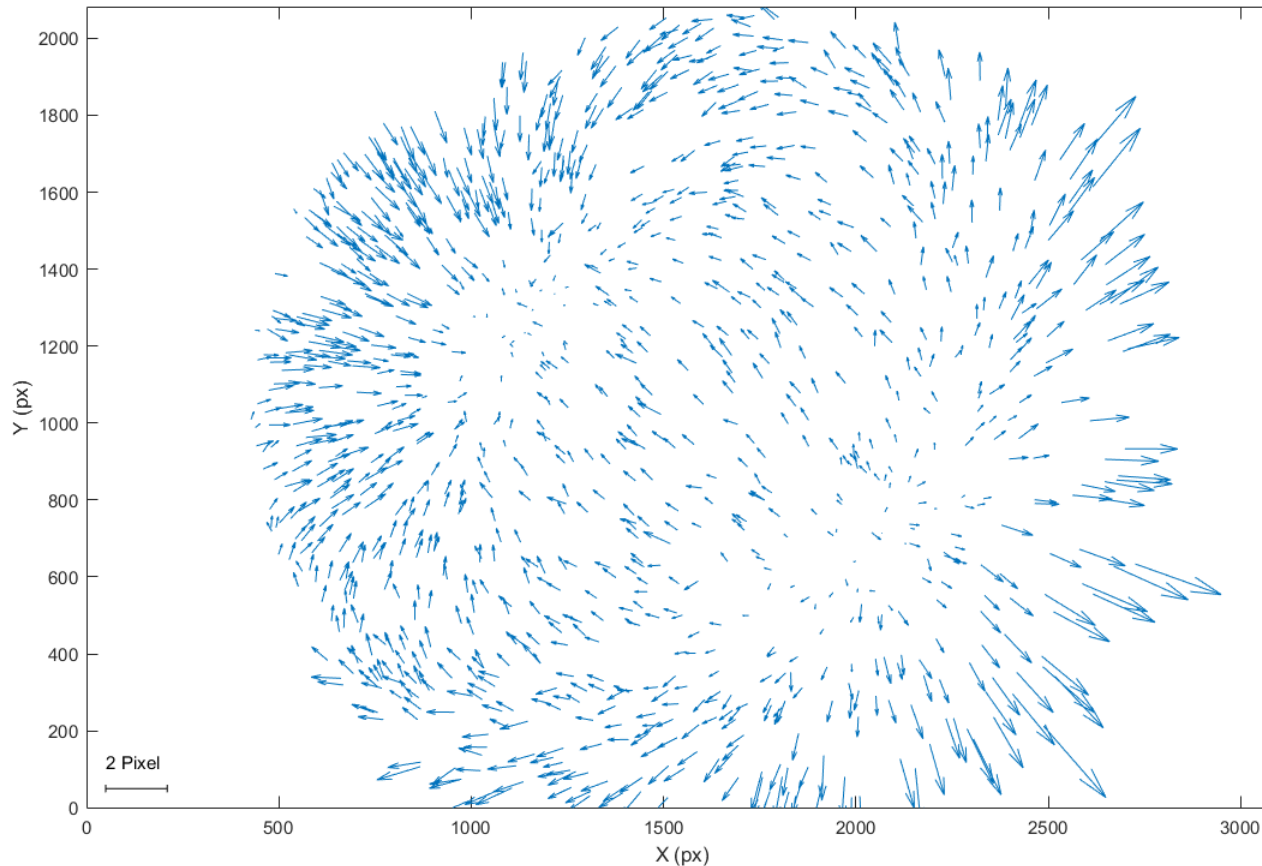
-> Analyse der Fit-Residuen, wobei auch der Einfluss der Plexiglashaube auf die Abbildung untersucht wird.

^{*)} WCS = World Coordinate System

https://fits.gsfc.nasa.gov/fits_wcs.html

Residuen der ZPN-Projektion

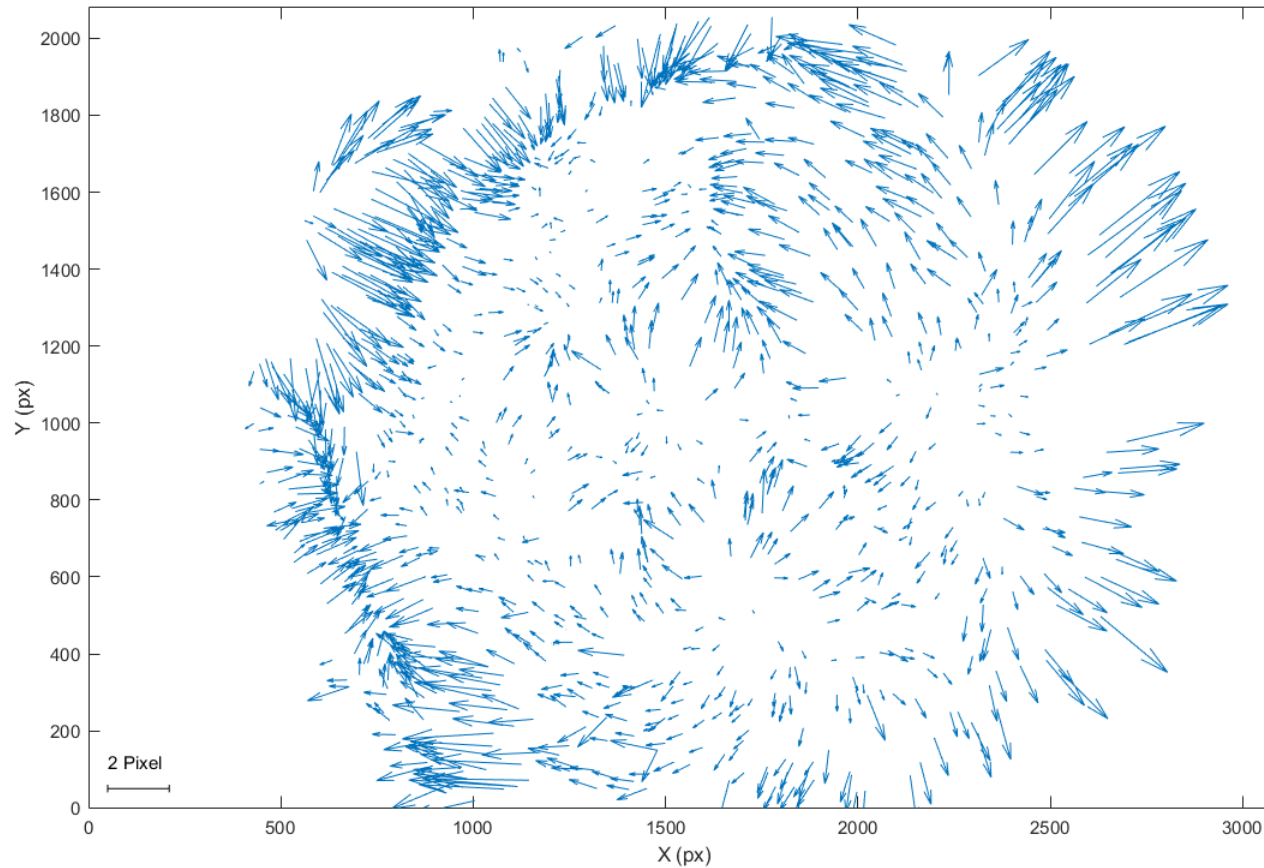
Residuen der ZPN-Projektion
(ohne Plexi-Dom)



-> Zentrierungsfehler des Objektivs, evtl. auch Verkipfung des Sensors

Residuen der ZPN-Projektion

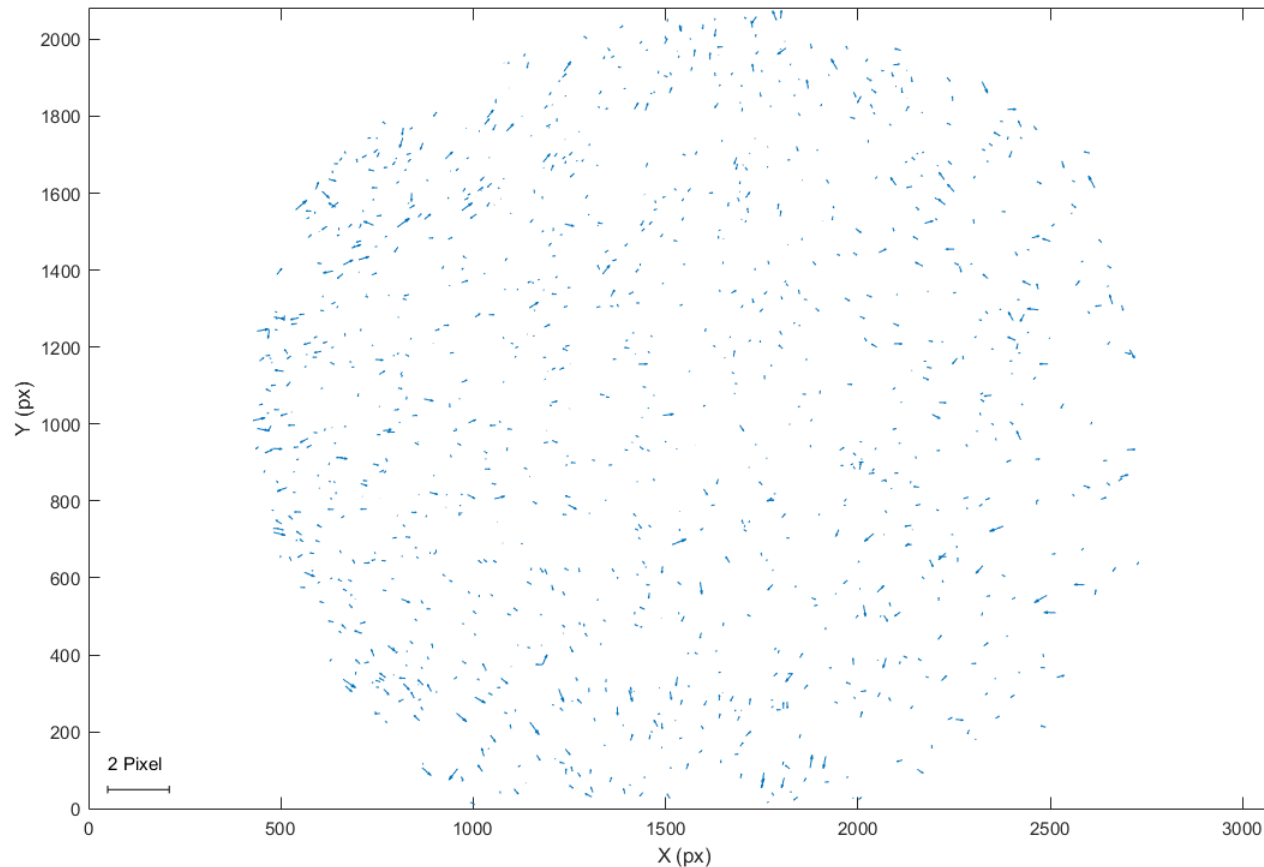
Residuen der ZPN-Projektion
(mit Plexi-Dom)



-> Zusätzliche Verzerrungen durch Plexi-Dom

Residuen der ZPN-Projektion

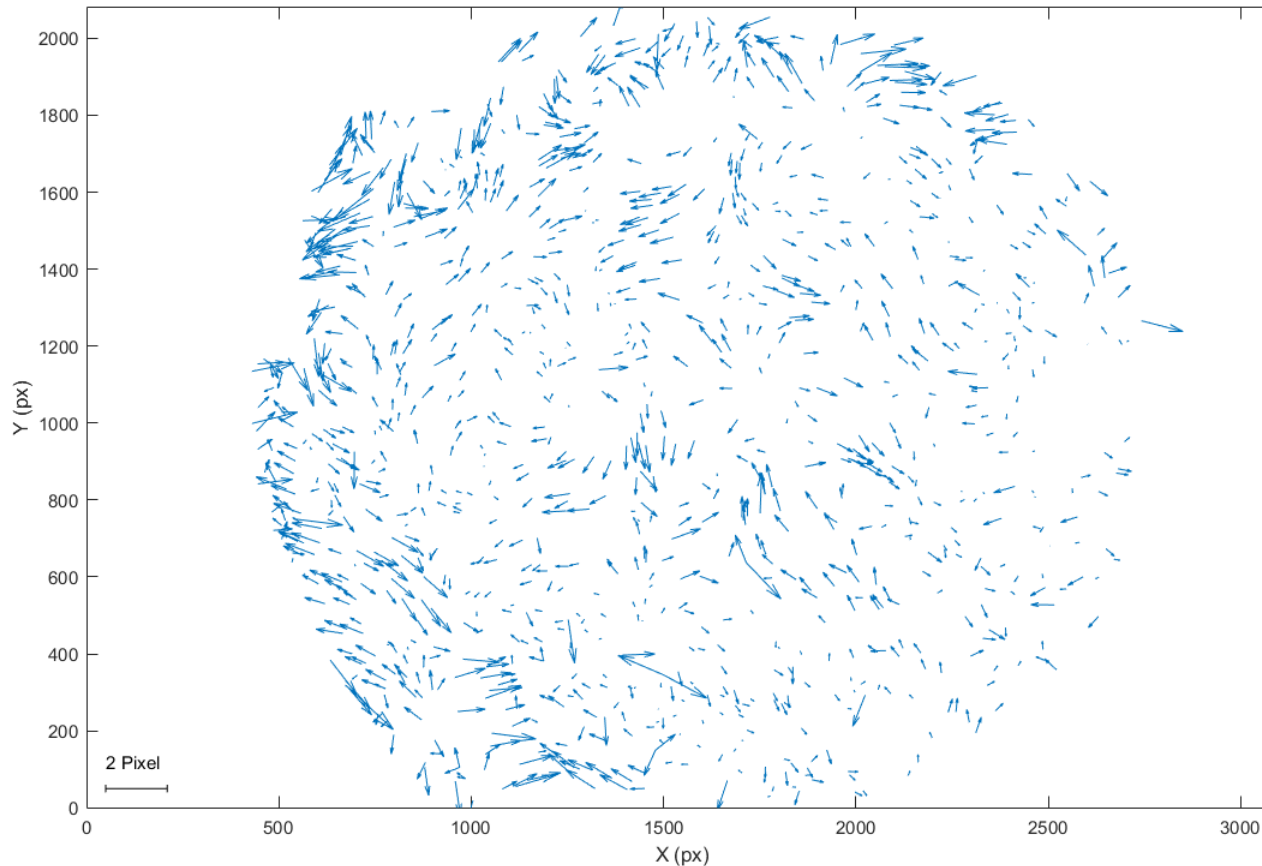
Versuch: Verbesserung der ZPN-Projektion durch 2D-Polynom 5. Grades
(ohne Plexi-Dom)



-> Verzeichnung des Objektivs lässt sich gut korrigieren (Polynom 3. Grades würde genügen)

Residuen der ZPN-Projektion

Versuch: Verbesserung der ZPN-Projektion durch 2D-Polynom 5. Grades
(mit Plexi-Dom)



-> Der Plexi-Dom verursacht signifikante Abbildungsfehler

Residuen der ZPN-Projektion

Zusammenfassung in Zahlen

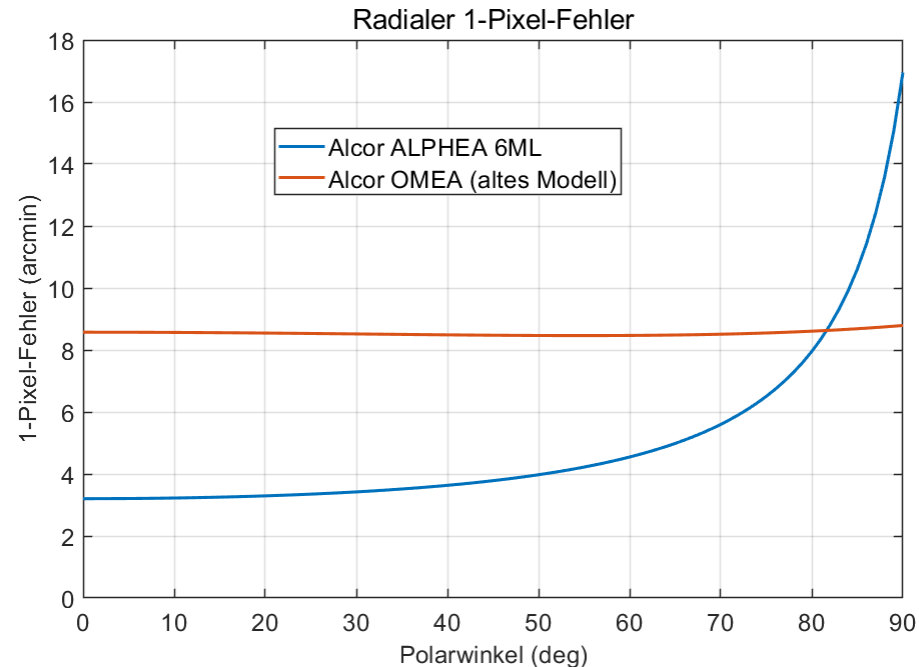
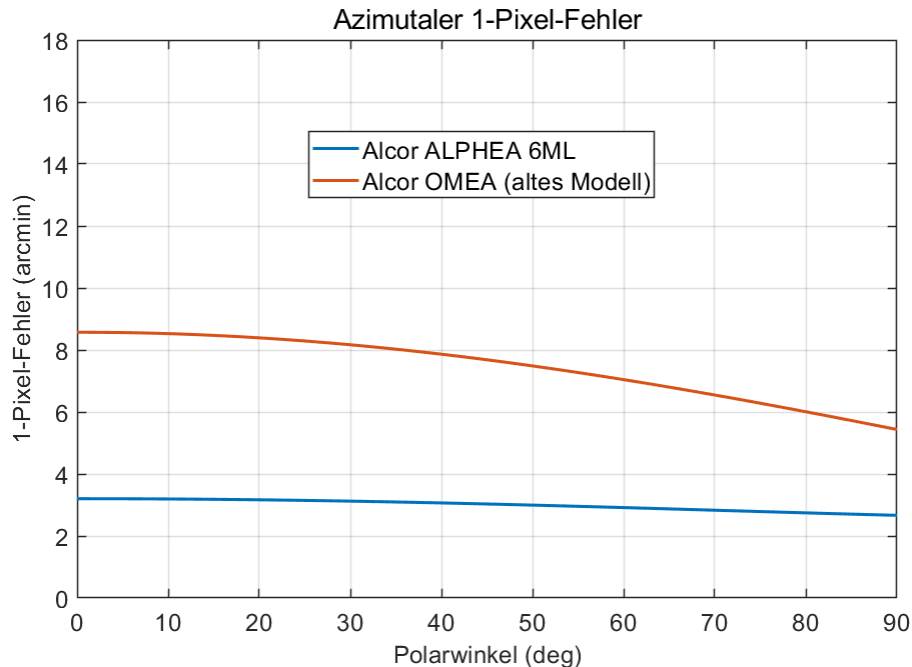
Projektion	Residuen in Pixeln ^{*)}	
	ohne Plexi-Dom	mit Plexi-Dom
ZPN	0.8	1.2
ZPN + Polynom 3. Grades	0.21	0.7
ZPN + Polynom 5. Grades	0.17	0.6

^{*)} Im vorliegenden Fall beträgt der Pixelmassstab auf der optischen Achse 3.2 arcmin/Pixel

Residuen der ZPN-Projektion

Die Auswirkungen der Pixel-Messfehler auf die Richtungsbestimmung hängen stark von den Abbildungseigenschaften des Objektivs ab.

Ideal sind Objektive mit ARC-Projektion: $r = f \rho$



(Beim Polarwinkel = 0 entsprechen die Kurvenwerte dem Pixelmasstab = Pixelgrösse / Brennweite)

Residuen der ZPN-Projektion

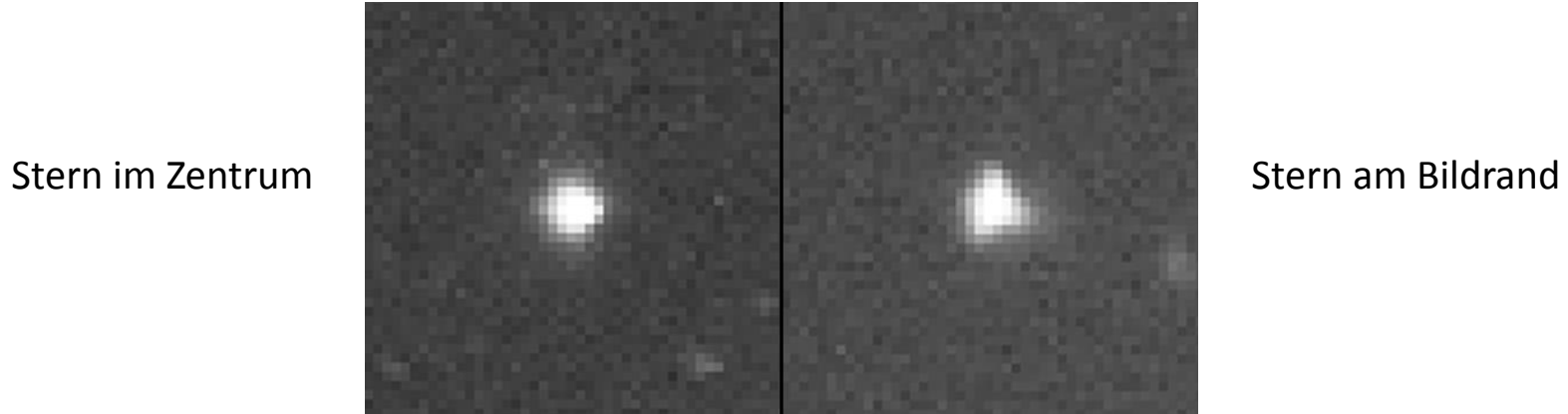
Fazit

- Der Einfluss des Plexi-Doms ist nicht vernachlässigbar
- Die optischen Eigenschaften des Doms sind schlecht modellierbar
- Lokale Korrekturen sind einem globalen Modell vorzuziehen (-> ImageTools)
- Das Objektiv sollte möglichst der ARC-Projektion gehorchen

Residuen der ZPN-Projektion

Fazit

- Weitere Fehlerquellen...
- Punkt-Abbildungsfehler, die gegen den Bildrand hin zunehmen



- Schlecht modellierbare Refraktion in Horizontnähe

-> Die Unsicherheiten sind dort am grössten, wo die meisten Meteor-spuren zu erwarten sind: gegen den Bildrand hin.

ImageTools

ImageTools: on-line Demo