

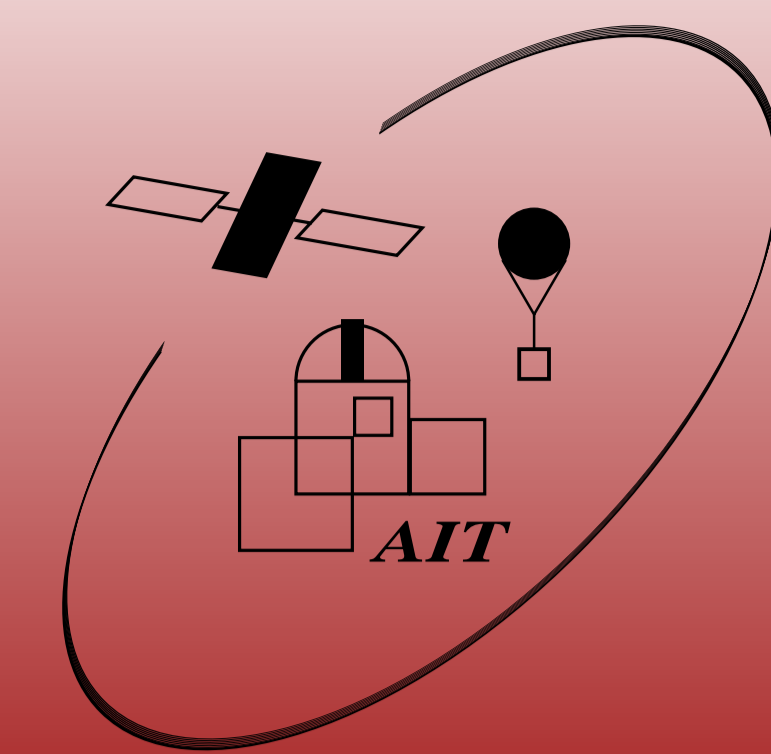
# AUSRICHTUNG VON DETEKTOREN UND TELESKOPEN MITTELS EINER DIGITALEN SPIEGELREFLEKKAMERA

EBERHARD KARLS  
UNIVERSITÄT  
TÜBINGEN



C. Tenzer<sup>a</sup>, E. Kendziorra<sup>a</sup>, R. Staubert<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Institut für Astronomie und Astrophysik, Universität Tübingen, Sand 1, 72076 Tübingen, Germany



## Zielsetzung

Die genaue Ausrichtung von Satelliten im Orbit wird heutzutage mit sogenannten *star-trackern* überwacht. Diese professionellen Systeme bieten zwar eine hohe Präzision ( $\pm$  einige Bogensekunden), sind aber für viele Anwendungen wie z.B. Ballonexperimente, private oder auch nichtwissenschaftliche Anwendungen, die keine hohen Anforderungen an die Ausrichtungsgenauigkeit haben, oft viel zu teuer.

Für das HEXIS-Ballonexperiment, bei dem Erfahrungen mit einem neuartigen Röntgendetektor (CdZnTe) unter realistischen Bedingungen gesammelt werden sollen, verwenden wir eine handelsübliche, vom Computer steuerbare digitale Spiegelreflexkamera, um die Ausrichtung des Detektors zu bestimmen. Eine Steuerungssoftware (s. mittlere Spalte) überträgt und verarbeitet deren Aufnahmen auf einem Bordcomputer. Dieser berechnet unter Verwendung eines Sternkataloges und eines GPS-Gerätes die genaue Ausrichtung der parallel zum Detektor montierten Kamera.

## Komponenten des Systems

Die digitale **Spiegelreflexkamera**, die kontinuierlich Aufnahmen des Himmels in Blickrichtung des Detektors, bzw. des Teleskopes macht, steht im Mittelpunkt des von uns als *Sternkamera* bezeichneten Systems. Zum Zeitpunkt der Entwicklung war die Canon EOS 10D die einzige vollständig mittels eines Computers steuerbare Spiegelreflexkamera, für die ein **software developers kit** frei verfügbar war.



ABB. 1: Kamera (Canon 10D) und Objektiv

Als **Objektiv** verwenden wir das Rolleinar-MC 55 mm, f/1.4, das sehr kompakt ist und wegen seines großen Blendendurchmessers sehr kurze Belichtungszeiten ermöglicht. Die Abbildungsparameter der Kamera und des Objektivs wurden mit dem in Abb. 2 gezeigten Versuchsaufbau vermessen und in eine **Abbildungsfunktion** umgesetzt, die Abstände auf dem Bild in Winkelabstände am Himmel konvertiert. Diese ist in der **Auswertungssoftware** implementiert, die auf dem **Bordcomputer** läuft.

Ein Vergleich dieser Abstände mit Daten aus dem **Bright Star Catalogue** erlaubt bei Kenntnis der genauen Position und Uhrzeit der Aufnahme (**GPS-Empfänger**) schließlich die Berechnung der Blickrichtung der Kamera.

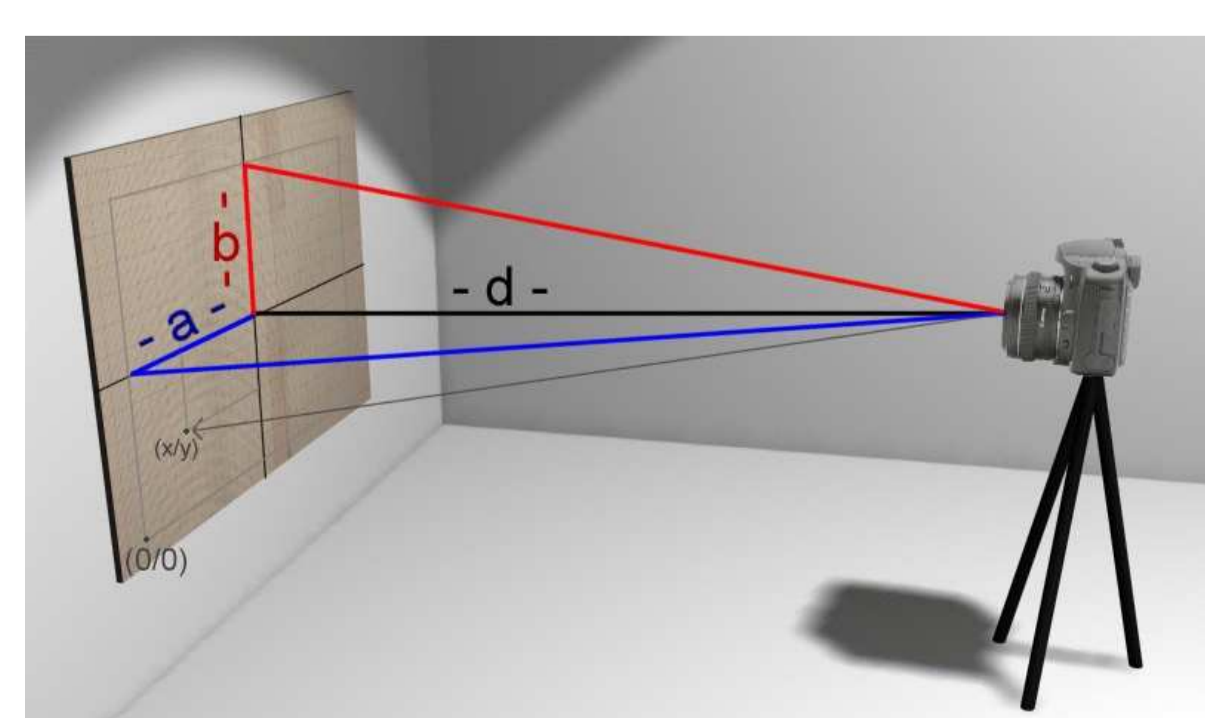


ABB. 2: Versuchsaufbau zur Bestimmung der Abbildungsfunktion der Kamera

## Funktionsprinzip

Die Aufgabe der Software für die Sternkamera besteht darin, die Kamera vollautomatisch fernzusteuern und aus den damit aufgenommenen Bildern in möglichst kurzer Zeit den *Azimutwinkel* und die *Elevation* (horizontale und vertikale Ausrichtung) der Aufnahmerichtung zu berechnen.

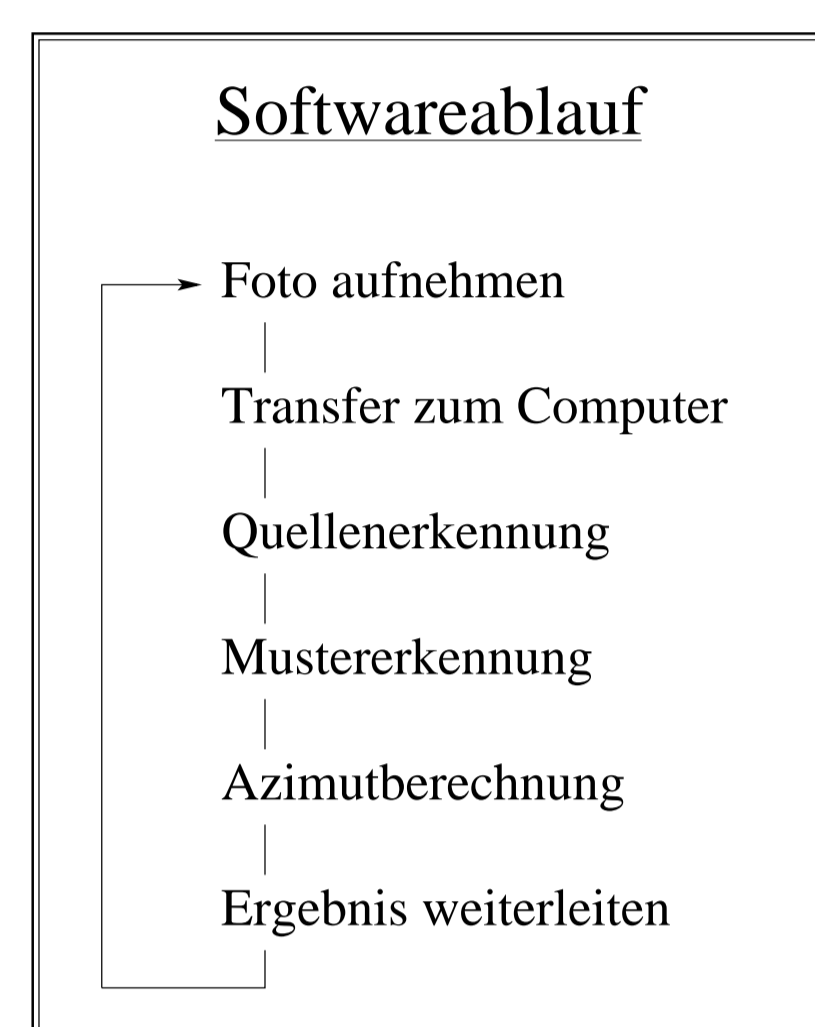


ABB. 3: Ablaufschema der Software für die Sternkamera

Ein kontinuierlich ablaufender Zyklus, bestehend aus der Aufnahme und Auswertung eines Fotos, bildet die Basis für die Steuerungssoftware (s. Abb. 3). Die Sternkamera ist mit dem Bordcomputer durch ein USB-Kabel verbunden, durch welches Befehle zur, bzw. Daten von der Kamera übertragen werden können. Für die Bedienung der Kamera per Computer (das sogenannte *Remote Capturing*) stellt die Firma Canon Software-Entwicklern eine Funktionsbibliothek in diversen Programmiersprachen zur Verfügung.

Im konkreten Fall wird die Aufnahme nach dem Übertragen aus der Kamera in eine zweidimensionale Matrix gelesen, die entsprechend der Fotoauflösung 3072 x 2048 Felder enthält, die jeweils einem *Pixel* (Bildpunkt) im Bild entsprechen. In jedem Feld steht danach der jeweilige Helligkeitswert (eine Zahl zwischen 0 und 65.535) des korrespondierenden Pixels.

Um die Ausrichtung der Kamera zu bestimmen, durchläuft die Matrix die im Folgenden einzeln erläuterten Schritte der Quellen- und Mustererkennung. Schließlich werden die erkannten Sterne noch einer Koordinatentransformation unterzogen, um die Koordinaten des Bildmittelpunktes der Aufnahme errechnen zu können.

Das **Quellenerkennungsmodul** findet die Positionen aller Sterne (und anderer Lichtquellen) in einer Aufnahme. Es basiert auf dem sogenannten *Sliding-Cell*-Verfahren. Im Prinzip wird dabei eine wenige Pixel große Zelle (DC) in Form eines Kreises oder Quadrates zeilenweise über das Bild geschoben und die Helligkeitswerte der in der Zelle enthaltenen Pixel (*counts*) aufaddiert. Diese Summe wird mit einem Hintergrundwert, der in einem umgebenden Kreisring mit gleichem Flächeninhalt (BGC) gewonnen wird, verglichen. Überschreitet das Verhältnis  $\frac{\text{counts}}{\text{Hintergrund}}$  einen festgelegten Schwellenwert, so befindet sich mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit eine Quelle innerhalb der Zelle.

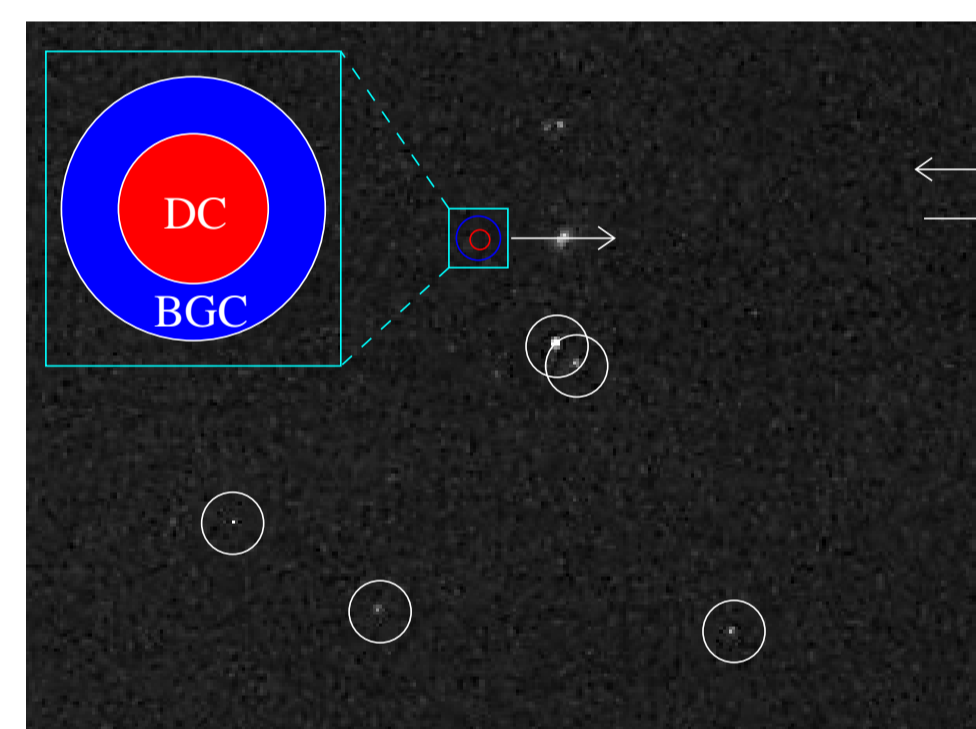
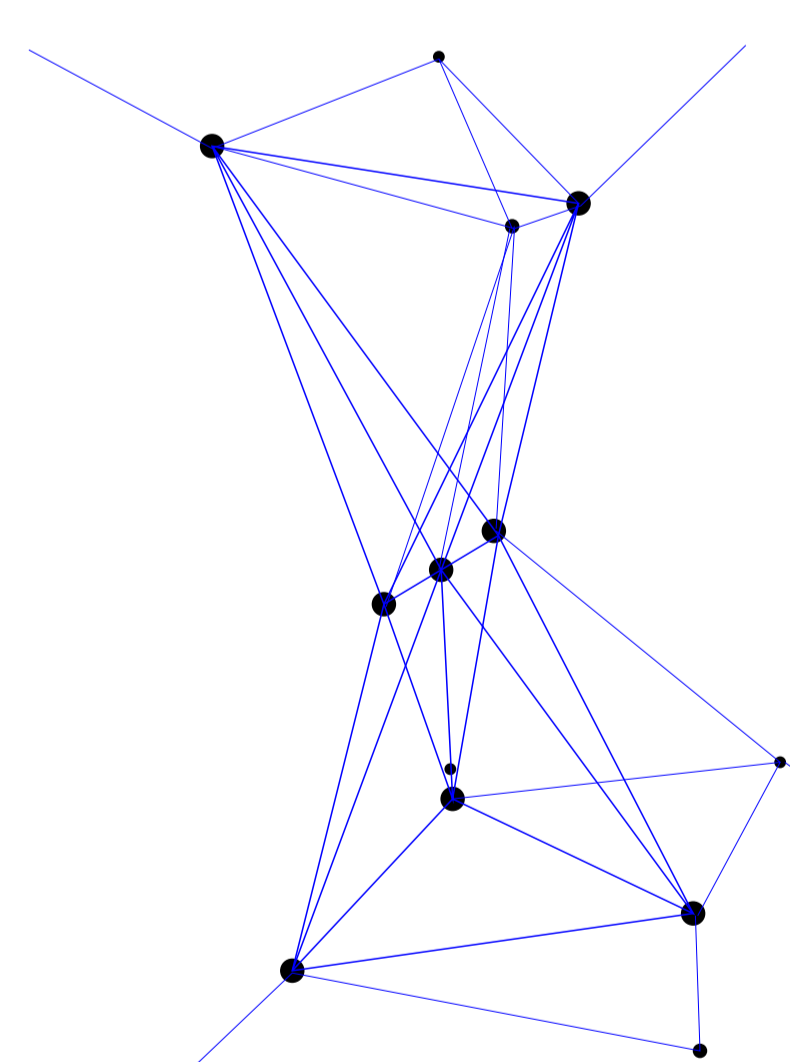


ABB. 4: *Sliding-Cell*-Verfahren zur Quellenerkennung

Die **Quellenidentifizierung** beruht auf einem Mustervergleich zwischen den in einer Aufnahme detektierten Quellen und jenen im Sternkatalog. Dazu werden zunächst für alle in der Quellenerkennung gefundenen Sterne, die leuchtkräftiger als  $5^m.00$  sind, die Abstände (in Pixeln) zueinander berechnet. Mittels der mit dem Aufbau in Abb. 2 bestimmten Abbildungsfunktion werden dann jeweils die Abstände zu den fünf nächsten Nachbarsternen in Winkelabstände am Himmel umgerechnet.

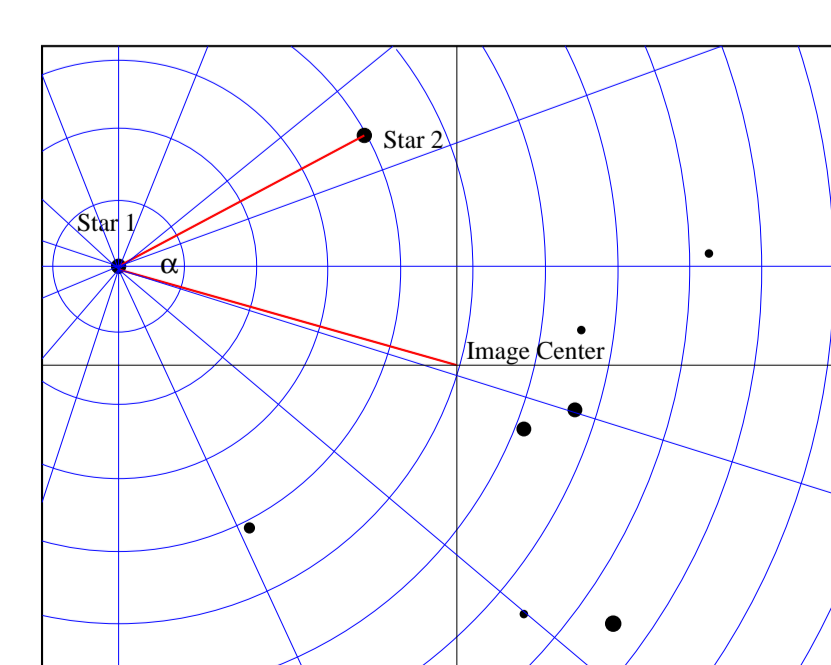
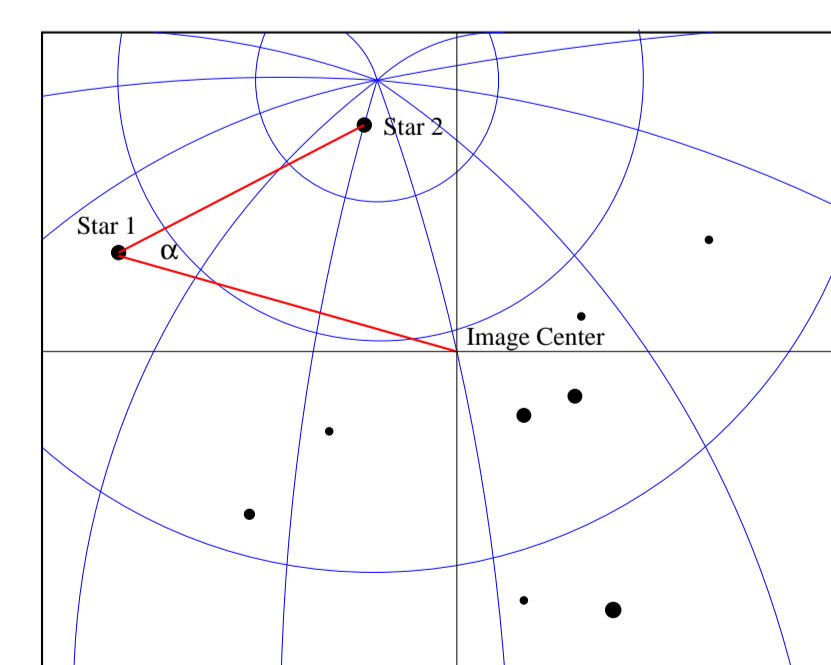


Mit dem auf diese Weise für jede Quelle erhaltenen Datensatz wird nun der Referenzkatalog nach einer Übereinstimmung durchsucht. Außer den Winkelabständen werden auch die Helligkeiten der Sterne in die Mustererkennung miteinbezogen. Um den Datenabgleich zwischen Foto und Katalog bei der Identifizierung möglichst effizient zu gestalten, ist der Katalog an die Kamera (Belichtungszeit) und an die tatsächliche Aufgabe anzupassen. So können z.B. Einträge von Objekten, die für die Kamera nicht sichtbar sein werden, weil sie sich während des gesamten Ballonexperimentes unterhalb des Horizonts befinden, entfernt werden.

ABB. 5: Referenzsterne und Nachbarn zur Illustration der Mustererkennung im Sternbild Orion. Für jede detektierte Quelle werden Entfernung und Helligkeitsverhältnis zu den nächstliegenden Nachbarn in der Aufnahme gemessen und mit dem Katalog verglichen.

Aufgabe der **Azimutbestimmung** ist es, unter Zuhilfenahme der Katalogkoordinaten der nunmehr identifizierten Sterne die Koordinaten des Bildmittelpunktes zu errechnen, also die Ausrichtung der Kamera und damit die des Detektors, bzw. des Teleskopes. Die Schwierigkeit dabei besteht darin, dass zwar mit den identifizierten Sternen einzelne Punkte des Koordinatensystems und damit dessen Lage in der Aufnahme bekannt sind, diese Lage jedoch beliebig kompliziert sein kann (Abb. rechts oben). Insbesondere kann sich der *Zenit* (Himmelspol) in der Aufnahme befinden, so dass selbst mittels nahe am Bildmittelpunkt gelegener Sterne dessen Koordinaten nur schwer zu interpolieren sind.

Für je ein Paar der identifizierten Sterne kann der Azimut und die Elevation des Bildmittelpunktes dennoch errechnet werden. Die zugrunde liegende Idee besteht darin, eine Koordinatentransformation weg von der Aufnahme zum *Fußpunkt* von Stern 1 (Punkt auf der Erde, an dem Stern 1 im Zenit steht) durchzuführen. An diesem Punkt ist bekannt, wie das lokale Horizontsystem auf einer Aufnahme, die diesen Stern enthält, aussehen würde (Abb. unten). Nun lassen sich Azimut und Elevation einfach aus der Aufnahme entnehmen, müssen dann jedoch auch wieder rücktransformiert werden.



## Erreichbare Präzision

Die mit der Sternkamera erreichbare Ausrichtungsgenauigkeit wird durch mehrere Faktoren eingeschränkt. Dabei ist vor allem die Bewegung des Ballons / der Erde während der Belichtung der Aufnahme zu nennen, die die Position der Sterne über mehrere Pixel verwischt. Dieser Effekt kann jedoch durch die Verwendung eines lichtstarken Objektivs und kurzer Belichtungszeiten ( $< 1$  Sekunde) gering gehalten werden.

Auch die Auflösung der Kamera ist eine kritische Eigenschaft (ca. 3 Megapixel erforderlich). Hier kann aber durch leichtes Defokussieren und anschließende Ladungsschwerpunktberechnung die Positionsbestimmung der Quellen über die reine Pixelauflösung hinaus verbessert werden.

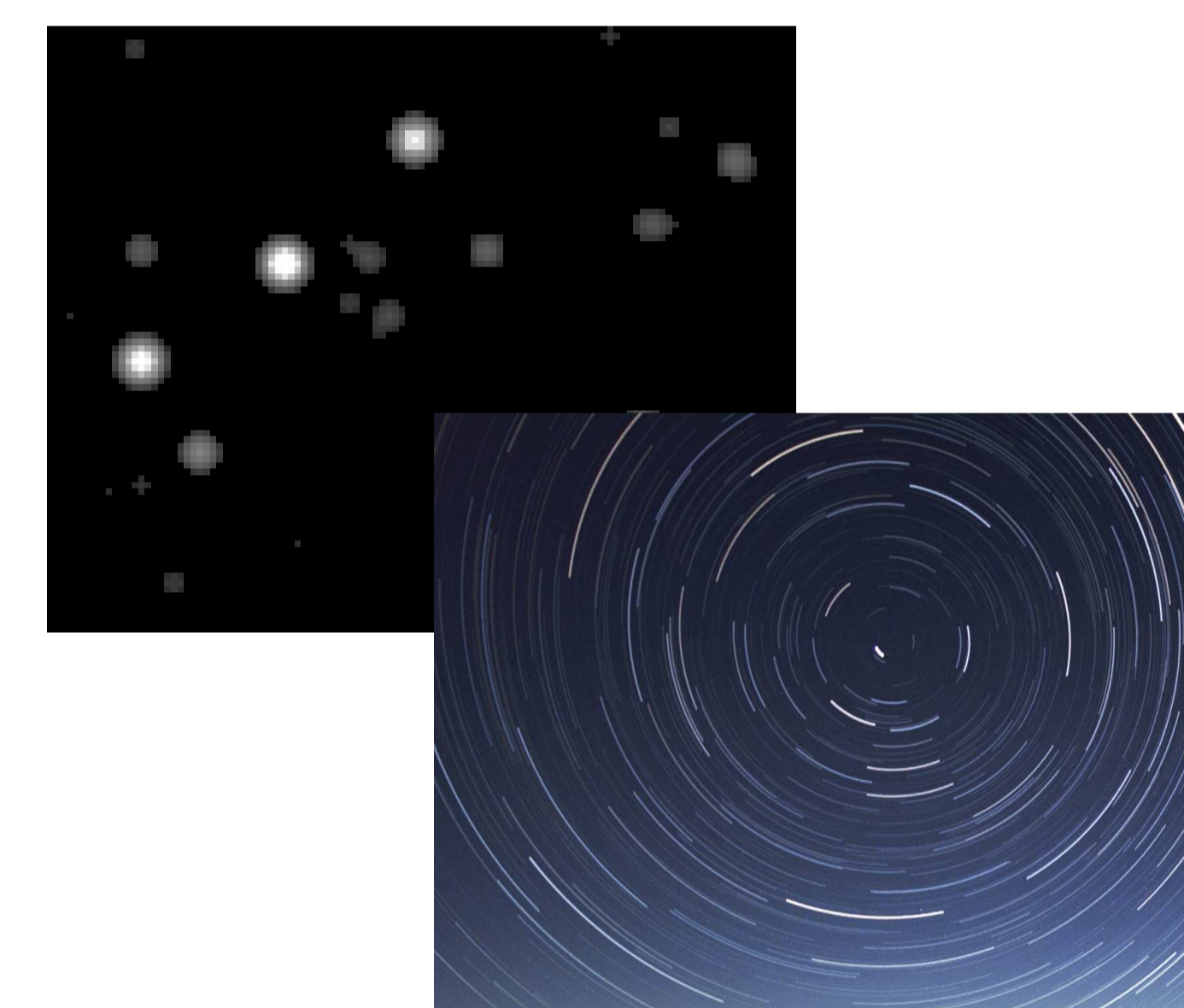


ABB. 6: Simulierte Defokussierung. Bewegung der Sterne in einer Aufnahme mit Langzeitbelichtung.

Mit der hier vorgestellten Sternkamera konnte die Aufnahmerichtung im Verlauf einer Aufnahmeserie auf etwa  $1/60^\circ$  genau rekonstruiert werden. Dies ist für den geplanten Einsatz auf einem Ballonexperiment mehr als ausreichend.

## Einsatzmöglichkeiten

Neben dem HEXIS-Ballonexperiment, dessen Start für den Herbst 2007 vorgesehen ist und für das die Sternkamera ursprünglich im Rahmen einer Diplomarbeit entwickelt wurde, ist auch ein Einsatz z.B. am 80 cm - Teleskop des Instituts denkbar.

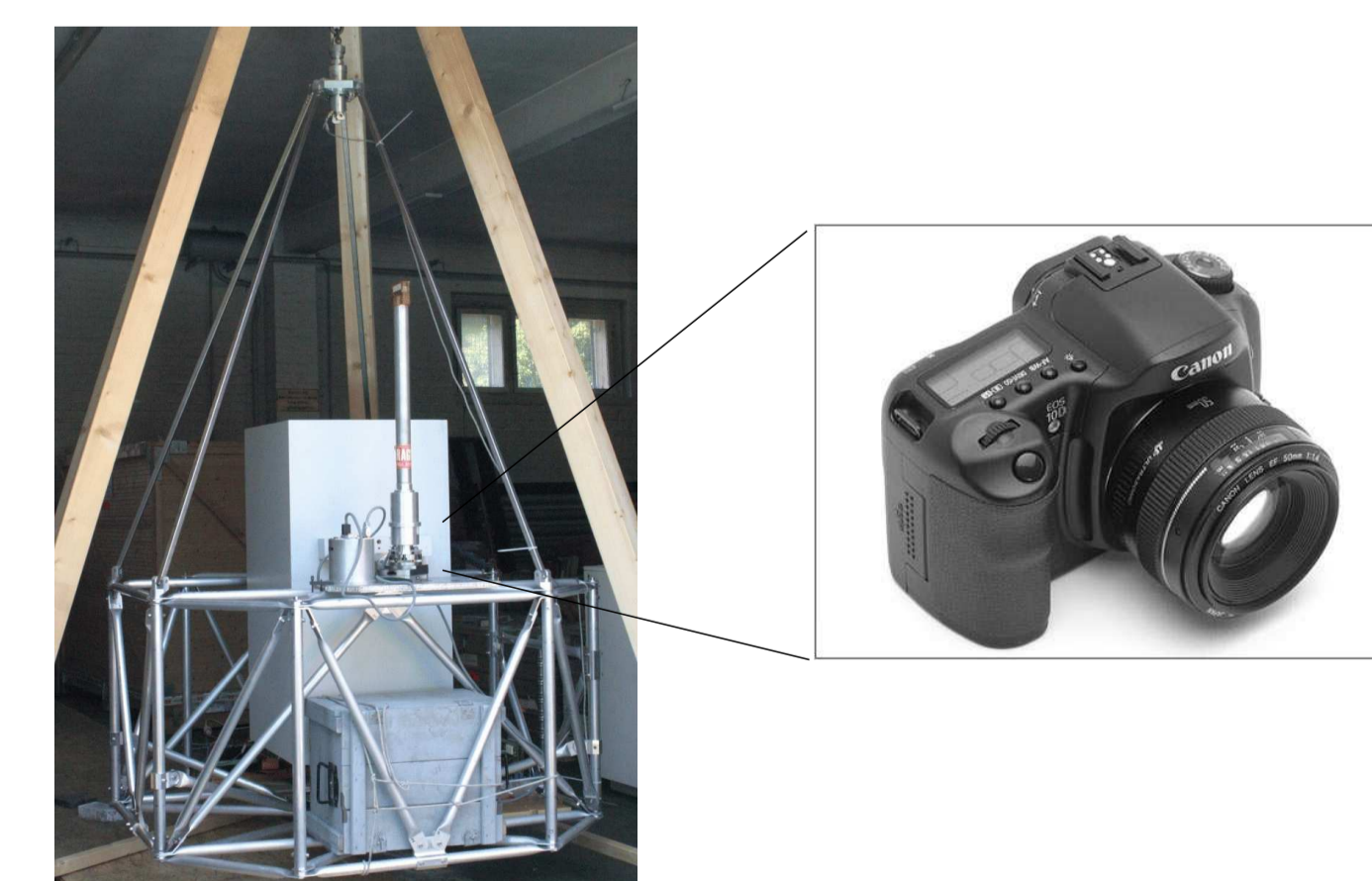


ABB. 7: HEXIS Ballongondel mit Sternkamera (ohne Gehäuse)

Eine solche Sternkamera ist auch geradezu prädestiniert zur Ausrichtung sogenannter robotoischer Teleskope, welche sich weitab beleuchteter Städte an günstigen Beobachtungspositionen befinden und die z.B. über das Internet ferngesteuert werden können. Hierbei könnte zu diesem Zweck auch eine hochauflösende Webcam eingesetzt werden.