

# Die astronomische A-Klasse

## Reisemontierung AstroTrac TT320 im Test

VON SIGHARD SCHRÄBLER

Eindrucksvolle Deep-Sky-Aufnahmen lassen sich nur unter wirklich dunklem Himmel anfertigen, die Ausrüstung muss daher reisetauglich sein. Ist die Masse des Astropäckchens auf einer Fernreise auf etwa 10kg begrenzt, dann wird es schwierig, eine geeignete Montierung zu finden. Richard Taylor von Astrotrac Limited beschreitet mit seiner einachsigen Scherenmontierung innovative Wege. AstroTrac ist eine Art Plattform, die den Himmel anhält, indem sie für eine Kamera oder ein kleines Teleskop die Erddrehung ausgleicht. Software und moderne Elektronik erlauben dabei eine Vereinfachung der traditionellen Mechanik.

**A**stronomische Kleinantriebe arbeiten meist mit Schnecke und Schneckenrad. Deep-Sky-Aufnahmen erfordern dabei eine Drehgeschwindigkeit von einer Umdrehung pro siderischem Tag (23h 56min 4s oder 86164s), entsprechend einer Winkelgeschwindigkeit von 15" pro Sekunde. Hohe Genauigkeit und Gleichmäßigkeit der Nachführung sind wichtig, denn jede Bogensekunde Abweichung kann bei längeren Brennweiten schon zu unerwünschten Strichspuren führen. Je größer das Schneckenrad, desto genauer, aber auch desto schwerer und teurer wird die Nachführung.

### Das AstroTrac-Prinzip

An dieser Stelle setzt das Konzept des AstroTrac an: Statt eines riesigen Schneckenrades von 60cm Durchmesser ist nur ein Segment davon realisiert, das sich mit einer scherenartigen Bewegung öffnet. Um eine teure Verzahnung zu vermeiden, kommt ersatzweise ein linearer Spindel-Gewindtrieb zum Einsatz. Die maximale Scherenöffnung ist mit 35° groß genug für

**Abb. 1: Kreuz des Südens** mit Kohlsack, aufgenommen in Padang Bai, Bali, Indonesien auf 8° südlicher Breite am 2.4.2008. Mond nach letztem Viertel, knapp über dem Horizont, 85mm-Objektiv f/1,8 abgeblendet auf f/2,3, Kamera EOS 20Da mit Timer TC-80 N3, Empfindlichkeit ISO 3200, 4x2min belichtet, Dunkelbilder wurden automatisch nach jeder Aufnahme abgezogen, Überlagerung der Rohbilder im CR2-Format.

einen durchgehenden Betrieb über zwei Stunden; die Montierung beginnt ihren Betrieb aus Stabilitätsgründen erst bei 5°.

Die Konstruktion führt nur angenähert zu einer Kreisbewegung mit konstanter Winkelgeschwindigkeit. Durch Mitzählen der Spindeldrehungen ist die aktuelle Position bekannt, somit kann die nichtlineare Übersetzung auf elektronischem Wege kompensiert werden – Mikrocontroller-Technik macht es möglich. Der Motor beschleunigt dabei seine Geschwindigkeit auf dem gesamten Weg um  $(1 - \cos(35^\circ/2)) / \cos(5^\circ/2) = 4,6\%$ .

Die Größe des virtuellen Rades und die geringe Steigung der Gewindespindel von nur 0,3mm pro Umdrehung bringen einen weiteren Vorteil mit sich: Der antreibende Schrittmotor kann direkt mit der Spindel verbunden werden, die Übersetzung

von anfangs 6177:1 ist groß genug, um auf störende Zwischengetriebe gänzlich verzichten zu können. Eine Spindeldrehung dauert etwa 14s, ein Mikroschritt des Motors von 0,5° (180 Vollschritte bzw. 720 Mikroschritte pro Umdrehung) bewegt die Montierung effektiv um ca. 0,3". Die Mikroschrittfrequenz ist mit ca. 50Hz groß genug, um keine störenden Schwingungen anzuregen und andererseits klein genug für eine angenehme Rückspulzeit von 110s mit 64-facher Nachführgeschwindigkeit.

Das Prinzip der Scherenmontierung erinnert stark an die Scharnier- oder Holzklappen-Montierung (auch »Astrofrust« oder engl. »barn door«). Solche Montierungen sind bauartbedingt wenig belastbar, denn die Entfernung von Stativ bis Kugelkopf ist groß im Verhältnis zum Lagerdurchmesser. Meist kommen dünne,



## Kurzbeschreibung

- Einachsige Scherenmontierung mit Schrittmotor-Spindeltrieb zur Nachführung von Kameras mit Weitwinkel-Objektiven bis hin zu kleinen Teleskopen
- Bedienung: Montage auf einem Kamerastativ mit Neigekopf oder fester Polwiege, Ausrichten mit Hilfe des Polsuchers, Ausklappen und Start-Taste drücken. Weitere Bedientasten zum Rückspulen der Spindel und zum Abschalten der Spindelbeleuchtung und des Warngeräuschs beim Erreichen der Endposition.
- Befestigung über 3/8"-UNC Fotogewinde auf beiden Seiten, zusätzlich drei Gewindebohrungen M3, 3×120° auf Teilkreis mit 32mm Radius
- Masse 1340g, Tragfähigkeit bis zu 10kg
- Abmessungen 85mm × 44mm × 437mm (zusammengeklappt)
- Versorgung 7–14V DC, 0,25A bei 12V
- Periodischer Fehler kleiner als 6" ( $4\sigma$ ), aufstellungsbedingter Driftfehler typisch 0,15" pro Sekunde (~1% der Erddrehung)
- Bis zu 90s fehlerfreie Belichtungszeit in der Nähe des Himmelsäquators für eine digitale Spiegelreflexkamera mit 7,4µm-Pixeln und 360mm Objektivbrennweite
- Betriebsdauer ohne Rückspulen bis zu 2 Stunden. Rückspulen mit 64-facher Geschwindigkeit in 110s
- Preis: 625€, Polsucher mit Strichplatte für Nord- und Südhimmel 175€
- zusätzlich benötigt werden Stativ, Polwiege, Versorgung, Kugelkopf und astrofotografische Kameraausrüstung

## interstellarum-Produktvergleich

**Wirklich neutrale Aussagen über Teleskope und Zubehör** – das wünschen sich viele Sternfreunde. Die vielfach veröffentlichten, fälschlicherweise als »Test« ausgegebenen Erfahrungsberichte in Zeitschriften und dem Internet sind nicht dazu geeignet. Oft hat man den Eindruck, dass Händlerinteressen die Artikel prägen.

**interstellarum geht einen anderen Weg:** In Zusammenarbeit mit den Herstellern und Händlern entstehen Produktvergleiche, die eine Relativierung der Aussagen erlauben. Bewusst wird auf subjektive Wertungen verzichtet und dem Leser selbst die Möglichkeit gegeben, anhand der geschilderten Eigenschaften sich für eines der Produkte zu entscheiden.

**Mehr über unsere Test-Grundsätze** und bereits erschienene Berichte können Sie auf [www.interstellarum.de](http://www.interstellarum.de) nachlesen.

nicht spielfreie Klavierband-Lager zum Einsatz. Scharniermontierungen können daher trotz des ähnlichen Antriebsprinzips und einer ähnlichen Geometrie selten mehr als 2kg Nutzlast tragen. Die AstroTrac-Scherenmontierung ist in dieser Hinsicht viel günstiger aufgebaut: Ein axial spielfrei vorgespanntes Kegelrollen-Lager mit 75mm Durchmesser in Verbindung mit einem Abstand Stativ-Kugelkopf von nur 24mm versprechen hohe Tragfähigkeit. Laut Datenblatt kann die Montierung bis zu 10kg Nutzlast aufnehmen – und das bei einem Eigengewicht von nur 1340g. Ist das wirklich möglich? In diesem Fall würde der AstroTrac sogar zehnfach schwereren Montierungen Konkurrenz machen. Man könnte gemäß dieser Aussage damit ein 8"-Cassegrain oder einen lichtstarken Refraktor mit 130mm Öffnung nachführen.

## Testarrangement

Der AstroTrac TT320 musste seine Fähigkeiten in drei Disziplinen zeigen:

- **Betrieb unter großer Belastung:** Wie lange kann man einen kleinen Refraktor mit Kamera fehlerfrei in einem Areal des Himmelsäquators nachführen? Erwartungsgemäß ist ein dreizölliger Refraktor schon zu schwer für die Reisemontierung. Gelingt es dennoch unter leichter Windlast unwackelnde Aufnahmen anzufertigen?
- **Messung des Nachführfehlers mit der Webcam bei 1m Brennweite:** Ist der Antrieb mit Feingewindespindel frei vom Periodischen Fehler? Wie groß ist die

Drift aufgrund verbleibender Aufstellungsfehler? Kann die elektronische Geschwindigkeitssteuerung eine konstante Nachführgeschwindigkeit über volle zwei Stunden aufrecht erhalten?

- **Reisetauglichkeit:** Mitnahme im Fluggepäck nach Bali und Übersetzen nach Lembongan (8° südliche Breite), Deep-Sky-Aufnahmen unter südlichen Sternen. Die Aufnahmebrennweite beträgt zwar nur 85mm, durch die Äquatornähe gerät die Aufstellung jedoch zu einem Balanceakt mit maximaler Kragarmbelastung. Um das Balanceproblem zu lösen wurde eigens eine feste Polwiege mit Gegengewichten konstruiert.

## Betrieb unter großer Belastung

Die Leistungsfähigkeit einer Montierung lässt sich am besten am Himmelsäquator testen, hier ist die scheinbare Himmelsbewegung mit 15" pro Sekunde am größten. Es bietet sich an, im Winter ein Gebiet in der Nähe der Gürtelsterne des Orions oder im Frühjahr den Stern Regulus im Löwen (+12° Deklination) zu fotografieren.

Der Testaufbau besteht aus einem massiven Manfrotto-Stativ mit Video-Schwenk/Neigekopf 501 als Polwiege, der AstroTrac-Montierung, einem großen Lin-

**Abb. 2: AstroTrac TT320 auf fester Polwiege** für 50° Breite (Nord und Süd) und schwerem Stativ. Für das Nachführen von Kameras mit Normalobjektiven genügt auch ein deutlich leichteres Stativ.



**Abb. 3: Nordamerika-Nebel NGC 7000**, aufgenommen in der Nähe von Frankfurt am Main mit einem 3"-Refraktor bei 360mm Brennweite. Auf die 3"-Frontlinse wurde behelfsmäßig ein 2"-Ha-Filter gelegt. Kamera EOS 20Da, Empfindlichkeit ISO 3200, 25x75s belichtet und überlagert.

hof Kugelkopf 3675, dem Pentax 75 SDHF-Refraktor mit 0,72x-Reducer (360mm f/4,8), sowie einer digitalen Spiegelreflexkamera Canon EOS 20Da mit Pixeln von 7,4µm Kantenlänge.

Zunächst zeigt sich der Aufbau den Anforderungen nicht gewachsen, immer wieder kommt es zu Strichspuren, jedoch ist nicht der AstroTrac, sondern der Videokopf die Schwachstelle. Videoköpfe sind darauf ausgelegt, auch halb zugespant noch eine gedämpfte Bewegung zuzulassen, damit es beim Filmen zu einem sanften Schwenk kommt. Genau diese Funktion führt bei Verwendung des Videokopfes als Polwiege zu den Strichspuren: Langsam senkt sich der massive Videokopf unter der vereinten Last von Teleskop und Kamera. Die einseitige Belastung ausgleichende Gegengewichte sind nicht vorgesehen. Man muss die Schrauben also sehr fest anziehen.

Je größer die Masse und je länger die Brennweite der Optik, desto leichter kommt es zu Strichspuren. Drift, Periodischer Fehler und Verwackeln durch Windlast sind die wesentlichen Fehlerursachen. Bei sehr genauer Polausrichtung und Windstille gelingen mit dem beschriebenen Aufbau punktförmige Aufnahmen des Orionnebels mit bis zu 90s Belichtungszeit. Da im Experiment alle Aufnahmen der Serie gleich gut gelingen, spielt der periodische Fehler offensichtlich keine Rolle.

### Messung des Nachführfehlers

Um den Nachführfehler sichtbar zu machen, wurde die Brennweite des kleinen Refraktors mit einer Barlow-Linse auf 1000mm verlängert. Die Kleinbildkamera weicht einer Webcam der Bauart ToUCam 740k mit Pixeln von 5,6µm Kantenlänge. In dieser Konfiguration wird ein Abbildungsmaßstab von 1,16"/Pixel erreicht, das theoretische Auflösungsvermögen der dreizölligen Optik liegt bei 1,52".

Zur Messung des Nachführfehlers eignet sich insbesondere der »Drift Explorer« in der Software K3CCD. Die Aufbereitung der Messdaten übernimmt ein Skript in der Programmiersprache Matlab. Von der gemessenen Positionsabweichung über der Zeit in x- und y-Richtung des Bildsensors, die dank Korrelationsprinzip in K3CCD Sub-Pixel-Auflösung erreicht, interessiert nur der Betrag. Aus dessen zeitlichem Verlauf folgt durch statistische Auswertung die Drift (Steigung der Ausgleichsgeraden) und der Periodische Fehler (Vierfaches der Standardabweichung  $\sigma$  enthält 95% der Abweichungen von der Ausgleichsgeraden). Aus der Fast Fourier Analyse erhält man zusätzlich die zeitliche Fehlerperiode. Das Ergebnis einer der Messreihen zeigt exemplarisch die Abbildung im Kasten zur Genauigkeit.

Die Messungen bestätigen die praktischen Versuche. Der periodische Fehler fällt mit knapp 6" für eine statistische  $4\sigma$ -Bewertung sehr klein aus. 20" bis 50" sind für zehnfach schwerere Deutsche Montierungen der Normalfall. Die Periode des Fehlers von 14s entspricht der visuell beobachteten Drehgeschwindigkeit der Spindel. Entscheidend für die maximale Belichtungszeit ist jedoch der Driftfehler. Da alle Messreihen mit geringer, mittlerer und fast voll geöffneter Scheinstellung zu ähnlich guten Ergebnissen bezüglich der Drift kommen, kann man sagen, dass diese kleine Reisemontierung ihre Motorgeschwindigkeit den geometrischen Verhältnissen korrekt anpasst und über die vollen zwei Stunden gleich gut nachführt.

Mögliche Ursachen für den verbleibenden Driftfehler sind eine falsche Geschwindigkeit, Refraktion der Atmosphäre und in den meisten Fällen schlichtweg ungenaue Aufstellung. Es lohnt sich daher auf



**Abb. 4: Spiralgalaxie M 101 mit Nachbargalaxie NGC 5474 (unten).** Deutlich ist die Auswirkung einer früheren Begegnung mit M 101 zu erkennen, der Kern der kleineren Galaxie erscheint verschoben. Belichtung 26x80s bei ISO 1600 mit 3"-Refraktor bei 360mm Brennweite und 5x60s bei ISO 3200 mit 300mm-Teleobjektiv bei f/5,6.



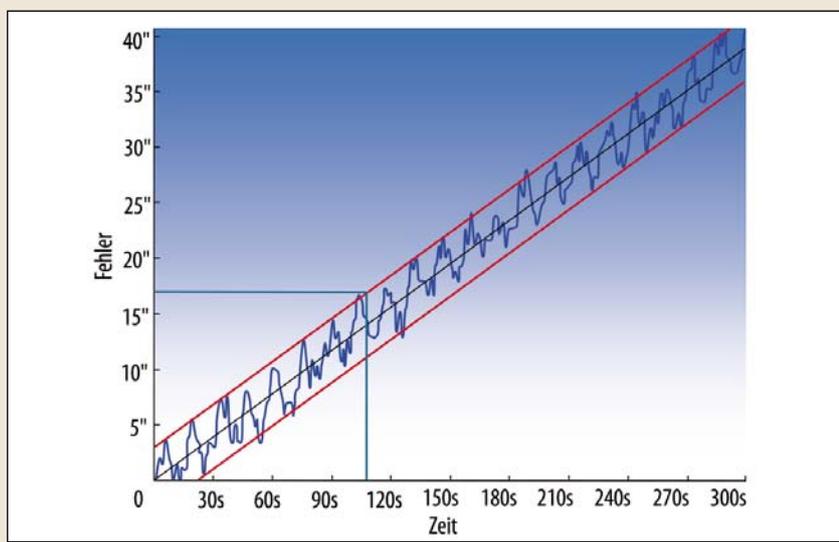
## Die erforderliche Genauigkeit

Um die maximale Belichtungszeit für ein Areal des Himmelsäquators abzuleiten, muss zunächst der zulässige Nachführfehler abgeschätzt werden. Dabei darf ein Stern während der unkorrigierten Nachführzeit nicht weiter wandern als über ein »effektives« Pixel. Das Verhältnis von Bogensekunden am Himmel und  $\mu\text{m}$  auf dem Chip entspricht für kleine Winkel einfach der Brennweite der Optik, allerdings müssen dafür die Winkel noch von Radianten in Bogensekunden umgerechnet werden. Es folgt demnach:

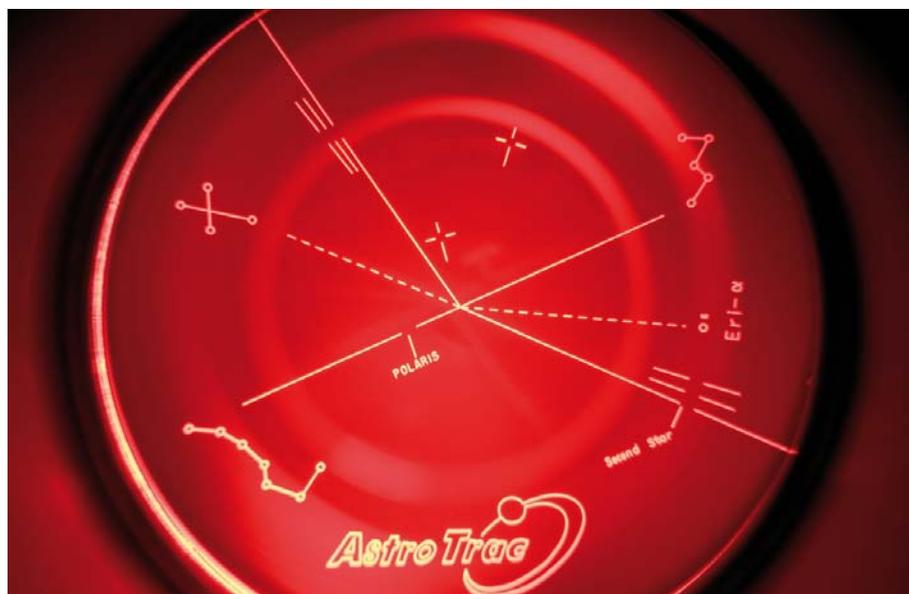
$$\text{zulässige Abweichung} = \text{effektive Pixelgröße} / \text{Brennweite} \times 180 / \pi \cdot 60 \cdot 60''$$

Im dargestellten Beispiel wurden für die Kombination aus EOS 20Da (effektive Pixelgröße  $4 \times 7,4 \mu\text{m}$ ) und einem Refraktor von 360mm Brennweite eine zulässige Abweichung von  $17''$  berechnet. Daraus folgt (siehe orange farbigen Pfeil) eine mögliche Belichtungszeit gemäß dieser Messung von bis zu 105 Sekunden bei optimaler Aufstellung.

**Auswertung** des Nachführfehlers in K3CCD und Matlab. Bei nicht exakt ausgerichteter Montierung driftet ein Stern (hier: Regulus) mit konstanter Geschwindigkeit. Die Schwankungen um die Mittelposition kennzeichnen den periodischen Fehler, der hier  $5,97''$  beträgt und sich etwa alle  $13,95\text{s}$  wiederholt.



**Abb. 5: Die beleuchtete Strichplatte im AstroTrac Sucher:** Durch grobe Ausrichtung anhand der Sternbilder und Feinausrichtung gemäß den Passmarken gelingt die Aufstellung auch ohne Kenntnis von Datum und Uhrzeit.



jeden Fall, den Polsucher mitzubestellen, auch wenn er nicht billig ist, denn ohne Polsucher wird man die Montierung kaum so gut aufstellen, dass der Driftfehler unter  $0,15''/\text{s}$  bleibt. Um mit dem Polsucher genau ausrichten zu können, müssen mindestens zwei Sterne mit den Passmarken der Strichplatte zur Deckung gebracht werden.

## Reisetauglichkeit

Mit dem AstroTrac im Handgepäck ist Ihnen die Aufmerksamkeit der Sicherheitskontrolleure am Flughafen gewiss, Vergleichbares hat man noch nie unter dem Röntgenapparat gesehen. Es könnte hilfreich sein, die Anleitung mitzunehmen, um letzte Zweifel auszuräumen, dass es sich nicht um eine Waffe handelt. Nach einer Vorführung dürfen Sie die Nachführung schließlich mit in die Kabine nehmen.

Bali und Lembongan liegen auf gut  $8^\circ$  südlicher Breite, und im Frühjahr steht der schönste Teil der südlichen Milchstraße von Skorpion bis Achterschiff hoch am Himmel, meist hüllt sich der südliche Pol in Äquatornähe jedoch in Wolken. Da die meisten Aufnahmen in Südrichtung geplant sind, muss insbesondere der Azimut der Polausrichtung stimmen. Die unkritische Elevation folgt für bewölkten Pol aus der vorgegebenen Schräge der festen Polwiege. Die flache Oberfläche der Polwiege muss dazu grob eine Parallele zum Horizont bilden, alternativ leistet eine Wasserwaage auf der Polwiege gute Dienste. Aufpassen muss man nun bei der Inbetriebnahme der Montierung: Auf der Südhalbkugel wird sie ungewohnter Weise rechtsherum ausgeklappt, die Gravur auf der Deckplatte erinnert daran. Der Polsucher zeigt für den südlichen Himmelpol zwei kreuzförmige Marken für Sterne des Sternbildes Oktans und – sehr hilfreich für die Orientierung – zusätzlich die Richtung zum Kreuz des Südens bzw. zum hellen Stern Achernar, auch bekannt als  $\alpha$  Eridani, nahe der Grenze zum Sternbild Hydrus. Wenn es draußen richtig dunkel wird, ist die mitgelieferte Beleuchtung allerdings auch auf der kleinsten Stufe noch deutlich zu hell. Außerdem verschiebt sich die Lage der Sterne geringfügig gegenüber

### Surftipps

**AstroTrac Homepage:**

[www.astrotrac.com](http://www.astrotrac.com)

**K3CCD-Software:** [www.pk3.org/Astro/index.htm?k3ccdtools.htm](http://www.pk3.org/Astro/index.htm?k3ccdtools.htm)

**Homepage des Autors:**

[de.geocities.com/Astrourlaub2008/](http://de.geocities.com/Astrourlaub2008/)

**Abb. 6: Milchstraße im Skorpion** mit Sternhaufen NGC 6231 (rechts) und Katzenpfoten-Nebel NGC 6334 (oben), Daten wie Abb. 1, jedoch 7×2min ohne Filter und 5×2min durch ein 15nm H $\alpha$ -Filter belichtet.

der Strichplatte, wenn man das Auge relativ zum Okular bewegt. Man achte daher auf einen mittigen Einblick in den Sucher.

In der Anleitung steht, man betreibe den AstroTrac mit 12V Gleichspannung. Erfreulicherweise genügen aber schon die 7,4V des Li-Ionen-Akkus einer Canon EOS-Kamera. Die Akkus der Bauart BP-511A besitzen ein eigenes, kameraunabhängiges Sicherheitsmanagement. Die mittlere Stromaufnahme der Kamera während der Langzeitbelichtung ist etwa zwei Mal größer als die der Nachführung. Es ist daher gefahrlos möglich, die Nachführung aus den Akkus zu speisen. Das ist ein großer Vorteil, denn der Akku ermöglicht bei 25°C bis zu 3×2h Nachführbetrieb. Entsprechende Reserveakku und das passende Ladegerät hat man auf Reisen ohnehin dabei. Das Ladegerät besitzt die passenden Kontaktfedern, um den Akku anzuzapfen. Es muss lediglich um ein zusätzliches Kabel zum TT320 ergänzt werden. Es bleibt zu erwähnen, dass mit einem Eingriff in das Ladegerät dessen Garantie erlischt.

Für Temperaturen unter 0°C sind Li-Ionen-Akkus mit wasserbasierten Elektrolyten allerdings nicht die beste Wahl. Aus dem Warmen kommend friert der Elektrolyt im Akku bei -5°C nach ca. 50 Minuten ein, der Stromfluss kommt reversibel zum Erliegen, bis es wieder wärmer wird.

## Fazit

Die AstroTrac-Montierung kann begeistern – noch nie zuvor sind mit einer so leichten Ausrüstung derartig tiefe Astroaufnahmen gelungen. Auch wenn diese Reisemontierung plus Zubehör nicht billig ist, so muss man doch anerkennen, dass sie aufgrund ihrer genialen Konstruktion den Gleichlauf und die Tragfähigkeit einer viel größeren, klassischen Montierung bietet. Die Montierung erfüllt zudem den Grundsatz, dass an einem guten Design nicht zu viel Ding sein darf.



### Astrogepäck mit AstroTrac

Anzahl	Ausrüstung	Gewicht
1×	AstroTrac TT320	1340g
1×	AstroTrac Polsucher	130g
1×	Kamera Canon EOS 20Da + Li-Ionen-Akku + CF-Karte	770g
1×	modifiziertes Ladegerät CB-5L	120g
1×	Serien- & Langzeittimer TC-80N3	83g
3×	Li-Ionen-Akku BP511A 7,4V, 1390mAh für Kamera und Nachführung	243g
1×	Objektiv 15mm f/2,8 Fisheye	336g
1×	Objektiv 35mm f/1,4 + Blende	691g
1×	Objektiv Nikkor 85mm f/1,8 + Adapter + 15nm H $\alpha$ -Filter + Blende	508g
1×	Gitzo Carbon-Stativ, 5 Elemente	980g
1×	Eigenbau-Polwiege	565g
1×	Linhof Kugelkopf 3675 (Typ III)	1018g
2×	Gegengewichte	1160g
1×	Zubehör für die Sensorreinigung	300g
1×	mobile Festplatte EPSON P-3000 + Sternkarten digital gespeichert	455g
1×	passendes Ladegerät A351H + Kabel	212g
1×	LED-Taschenlampe	156g
5×	Fototaschen und wasserdichte Beutel	1250g
1×	Fernglas Pentax 8×42	802g
1×	Refraktor 75 SDHF + Rohrschelle + 0,72× Reducer + EOS-Adapter	2,5kg
Summe	Gesamtes Astrogepäck	13,6kg



**Abb. 8: Das Zentrum der Milchstraße** liegt hinter dichten Dunkelwolken, die sichtbares Licht nicht zu durchdringen vermag. Die Dunkelwolke auf der rechten Seite erstreckt sich bis in die Gegend des Sterns Antares im Skorpion und ist als Pfeifen-Nebel bekannt, Daten wie Abb. 1, jedoch 4x2min belichtet.



**Abb. 7: Der  $\rho$  Ophiuchi-Komplex und Stern Antares im Skorpion**, keine Region zeigt mehr Farbe am Himmel als diese. Daten wie Abb. 1, jedoch 8x2min belichtet.

Unter großer Last gibt eher die Polwiege als die Montierung nach, daher wird eine feste Polwiege passend zur geographischen Breite empfohlen. Für eine feste Polwiege

genügt ein Alu-Winkel, ein Frästeil oder eine verschraubte Holzkonstruktion als guter Ersatz für teure und wenig geeignete Video-Schwenk-Neigeköpfe. Die benötigten Verstellelemente für Azimut und Elevation des Pols sind bereits am Stativ vorhanden. In Äquaturnähe und für schwere Instrumente empfiehlt sich aus Balancegründen der Einsatz von Gegengewichten an der Polwiege.

Zur Versorgung eignen sich insbesondere die in der Kamera verwendeten Li-Ionen-Akkus. Obwohl die Mindestspannung von 7,4V deutlich unter den geforderten 12V liegt, lässt sich der TT320 bis zu 3x2 Stunden mit dem zur Canon EOS 20Da gehörenden Akku BP-511A (Kapazität 1390mAh) betreiben. Der Polsucher sollte auf jeden Fall mitbestellt werden, denn ohne genaue Ausrichtung ist der Driftfehler deutlich größer als die erreichbaren 0,15" pro Sekunde.

#### Literatur

- [1] Stubinitzky, J.: Eine einfache Montierung für Astrofoto-Einsteiger, *interstellarum* 24, 66 (2002)
- [2] Beinert, U.: Technik-Wissen: Wie lang kann belichtet werden, um noch punktförmige Sterne zu erhalten? *interstellarum* 58, 65 (2008)
- [3] Martin, A., Kleemann-Böker, K.: CCD-Astronomie in 5 Schritten, Oculum-Verlag, Erlangen (2004)
- [4] Roth, G. D.: Handbuch für Sternfreunde, Band 1 Technik und Theorie, 4. Auflage, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York (1989)