CELESTRON

ROWE-ACKERMANN
F/2.2 SCHMIDT ASTROGRAPH

Groß! Schnell! Weit! Scharf!

Die Geschichte des Rowe-Ackermann Schmidt Astrographen

Von Richard Berry und dem Celestron Engineering Team

Version 01, April 2016

Groß! Schnell! Weit! Scharf!

Die Geschichte des Rowe-Ackermann Schmidt Astrographen

1. Einführung

Beim Bau des großen 200-Zoll Hale Teleskops auf dem Mount Palomar planten die Astronomen erstmals auch zwei zusätzliche Großfeld-Teleskope. Das erste war die 18-Zoll-Schmidt-Kamera von 1936. Es war ein radikal neues Instrument: Eine scharf abbildende Kamera zur Überwachung großer Bereiche des Himmels. Mit einer Brennweite von etwas mehr als 900mm bildete das Teleskope ein 8,75° großes Feld auf einem 15 cm großen, runden Stück Film ab. Mit einem Öffnungsverhältnis von f/2 waren sehr kurze Belichtungszeiten möglich, gerade im Vergleich mit anderen Teleskopen dieser Zeit.

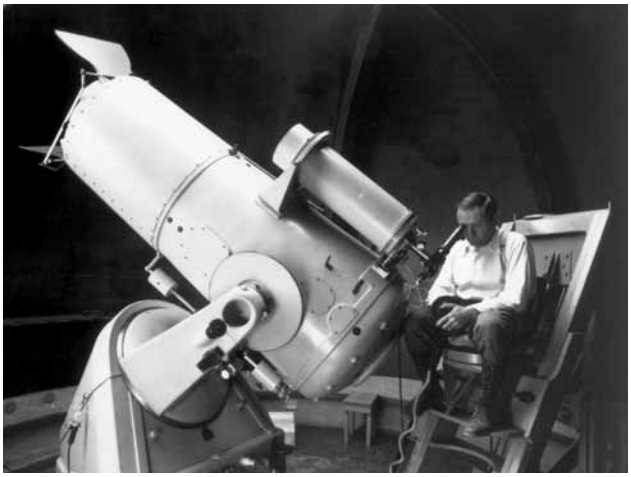


Abb. 1: Mit der Palomar 18-Zoll Schmidt-Kamera konnte der innovative Astronom Fritz Zwicky den Wert lichtstarker Übersichts-Teleskope für die Wissenschaft beweisen. Courtesy of the Archives, California Institute of Technology

Fritz Zwicky, der als Astronom am Cal-Tec tätig war, setzte das neue Schmidt rasch ein. Er konzentrierte sich nicht wie seine Vorgänger auf kleine Bereiche des Himmels, sondern vermaß als erster komplette Galaxienhaufen – dabei fand er zu wenig sichtbare Materie, um den den Zusammenhalt dieser Galaxienhaufen zu erklären. Zwickys Beobachtungen waren die ersten Hinweise darauf, dass das Universum von Dunkler Materie und Dunkler Energie dominiert wird anstelle von normaler, sichtbarer Materie.

Beeindruckt vom Erfolg des 18-Zoll-Schmidt begannen 1938 die Arbeiten an einem noch größeren Modell, die aber durch den 2. Weltkrieg verzögert wurden. 1948 nahmen dann das 48-Zoll-Schmidt- und das 200-Zoll-Hale-Teleskop den Betrieb auf. Obwohl der 200-Zöller viel Licht sammelte, konnte er nur ein winziges Bildfeld zeigen. Mit ihm konnten die Astronomen eine einzelne Galaxie fotografieren, das Spektrum eines einzelnen Sterns aufnehmen oder das HR-Diagramm eines einzelnen Kugenlsternhaufens erstellen. Beobachtungszeit an diesem Teleskop war teuer und stand nur wenigen Astronomen zur Verfügung.

In scharfem Kontrast dazu wurde das viel kleinere 48-Zoll "Big Schmidt" vielleicht zum produktivsten Teleskop der Welt. Von 1949 bis 1958 wurde ein großer Teil seiner Beobachtungszeit für die erste umfassende fotografische Himmelsdurchmusterung in zwei Farben genutzt. Mit 48 Zoll (122cm) Öffnung und 120 Zoll (3m) Brennweite hielt der Big Schmidt 6°×6° große Himmelsbereiche auf quadratischen 14-Zoll (35cm) Glasplatten fest. Jedes Feld wurde in rotem und blauen Licht aufgenommen. Nach sorgfältiger Überprüfung wurden 1:1-Abzüge an die Sternwarten auf der ganzen Welt verteilt, die die Bilder "abonniert" hatten. Für einen Bruchteil der Kosten eines kleinen professionellen Teleskops brachte der National Geographic Society-Palomar Observatory Sky Survey (kurz: POSS) Bilder des gesamten Nordhimmels in die Reichweite jedes Astronomen auf der ganzen Welt.

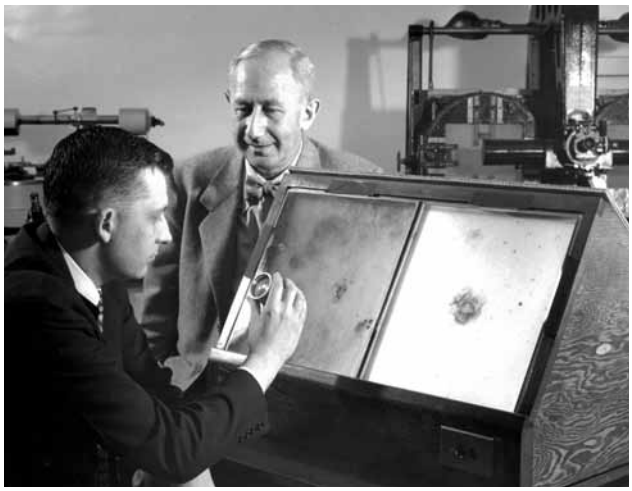


Abb. 2: Der "Big Schmidt" diente einer ganze Astronomen-Generation: Papierabzüge der großen Glasplatten standen Sternwarten weltweit zur Verfügung. Courtesy of the Archives, California Institute of Technology

Zeitsprung in das Jahr 1990: Das Hubble Space Telescope befand sich in der Erdumlaufbahn, CCDs verdängten den Film und Computer konnten endlich große Datenmengen verarbeiten. Neue Großteleskope entstanden in den Anden, den Kanarischen Inseln und auf Hawaii. Die Kosmologie wurde zum treibenden Forschungsgebiet der Astronomie. Sie benötigte eine kontinuierliche Himmelsüberwachung auf der Suche nach Supernovae, um Größenverhältnisse und Expansion des Universums zu bestimmen. Die selben Ansprüche stellten die Suche nach den abertausenden Asteroiden, die die Erdbahn kreuzen könnten sowie die Überwachung von Satelliten und Weltraumschrott im Erdorbit. Diese Himmelsüberwachungen waren gleichermaßen das Arbeitsfeld von Sternwarten auf dem Erdboden wie von Weltraumteleskopen. Die Welt benötigte eine neue Generation leistungsstarker, lichtstarker Großfeld-Teleskope – oder wie die Konstrukteure sagten: Teleskope mit großer Étendue.

2. Was bedeutet Étendue?

Étendue oder Lichtleitwert ist ein vertrautes Konzept für Optik-Konstrukteure. Sie beschreibt die Energie, die durch ein optisches System fließt. In einem Film-Projektor, zum Beispiel, ist Étendue das Produkt von der Fläche des Glühfadens und dem Raumwinkel, den die Kondensorlinsen des Projektors abdecken. Da Étendue in einem System aus Linsen und Spiegeln erhalten bleibt, kann die Helligkeit des Bilds auf der Leinwand nicht durch clevere Optik-Tricks erhöht werden, sondern nur durch einen größeren Glühfaden oder durch einen anderen Raumwinkel.

Auch wenn ein Teleskop Licht eher sammelt als projiziert, ist das Prinzip das selbe: Die Étendue ist das Produkt der lichtsammelnden Fläche des Objektivs mal den Raumwinkel, in dem das Licht gesammelt wird. Die Étendue ε ist somit:

$$\varepsilon = A\Omega$$

mit A als der lichtsammelnden Fläche und Ω dem Raumwinkel des Gesichtsfeldes. Wenn man die Étendue eines großen astronomischen Teleskops beurteilt, wird die lichtsammelnde Fläche meist in Quadratmeter und die das Gesichtsfeld (aus dem ja alles Licht stammt) in Quadratgrad angegeben. Die Étendue wird daher in m^2deg^2 angegeben. Zum Beispiel hat ein Teleskop mit einer lichtsammelnden Fläche von einem Quadratmeter ($A = 1 m^2$), das ein Bild mit einer Kantenlänge von einem Grad an jeder Seite aufnimmt ($\Omega = 1 deg^2$), eine Étendue von 1,00 m^2deg^2. Das originale 48-Zoll Schmidt hat eine Étendue von 46 m^2deg^2.

Die Étendue ist ein hilfreiches Maß für Großfeldteleskope, da für eine große Étendue Öffnung und Bildfeld groß sein müssen, oder wenn einer der Werte klein ist, der andere sehr groß sein muss. Der Vorteil von Teleskopen mit großer Étendue ist die Zeit, die für die Untersuchung eines Himmelsausschnitts benötigt wird. Für den Palomar Observatory Sky Survey wurden 936 Plattenpaare belichtet (die blauen Platten je 20 Minuten und die roten je 40 Minuten), die jeweils 6°×6° abdeckten – wofür acht Jahre nötig waren. Wenn der Schmidt nur 24 Zoll Öffnung gehabt hätte, was die lichtsammelnde Fläche um den Faktor vier verkleinert hätte, wären die Belichtungszeiten entsprechend gestiegen, und für POSS wären 32 Jahre nötig gewesen. Mit der selben Öffnung, aber einem Bildfeld von 2°×2° hätte es 72 Jahre gedauert (und wäre heute noch nicht beendet). Kurz gesagt wäre der POSS ohne den den 48-Zoll Schmidt mit seiner großen Étendue nicht in der (für damalige Verhältnisse) kurzen Zeit abgeschlossen worden.

Natürlich können Teleskope mehr leisten als „nur“ eine Himmelsdurchmusterung. Viele, wenn nicht gar die meisten sind darauf ausgelegt, von einem spezifischen Objekt wie einem Stern, Quasar, Asteroid oder Komet, einer Supernova oder einer Galaxie detaillierte Aufnahmen zu machen, die Helligkeit zu messen oder ein Spektrum zu gewinnen. Wichtig sind eine große Lichtsammelfläche und eine scharfe Abbildung; das kleine Bildfeld ist kein Problem. Die Durchbrüche in der Astronomie basieren meist auf dem Studium von relativ kleinen, seltenen, ungewöhnlichen oder zeitlich begrenzten Zielen und Ereignissen, und um diese zu suchen, kann man der Verlockung eines großen Fernrohr auch mit kleinem Gesichtsfeld kaum widerstehen. Erst weit nach der Jahrtausendwende erkannten die Astronomen den Bedarf für umfassende Himmelsdurchmusterungen mit lichtstarken Teleskopen mit großem Bildfeld.

3. Die Ära der High-Étendue Teleskope

“Das Universum ist so groß,” denkt mancher Astronom, “und mein Teleskop ist so klein.” Die Aufgabe der wachsenden Anzahl von Teleskopen zur Himmelsdurchmusterung besteht darin, einen Überblick über die Bestandteile unseres Sonnensystems, der Galaxis und des gesamten Universums zu erhalten. Vor allem Asteroide sind eine potentielle Gefahr für unseren Planeten. Weit über 250 000 sind zurzeit bekannt, und noch viele mehr mit Durchmessern über 100 Meter – die unsere Zivilisation auslöschen könnten – müssen erst noch gefunden werden. Unter den Sternen sind jene mit Planeten von besonderem Interesse. Diese Welten müssen in den seltenen Momenten gefunden werden, in denen ein Planet vor seinem Stern vorbeizieht. Und um die Expansion des Universums zu bestimmen, suchen die Astronomen nach den seltenen Supernova-Explosionen, die als „Standard-Kerzen“ dienen, um die kosmischen Entfernungsmessung zu kalibrieren.

Technischer Hinweis zur Étendue

In diesem Whitepaper definieren wir die Étendue ε eines Systems als:

$$\varepsilon = A\Omega$$

mit A als die lichtsammelnde Fläche und Ω als dem Raumwinkel des Bildfelds. Die Gleichung vernachlässigt jedoch die Sensorempfindlichkeit und die Winkelauflösung der Optik. Eine genauere Formel ist:

$$\varepsilon = A\eta\Omega / d\Omega$$

mit η als der Quanteneffizienz des Bildsensors und $d\Omega$ als dem Raumwinkel eines Auflösungselements am Himmel. Bei den besten analogen Filmen lag η gerade einmal bei etwa 3%, während moderne CCDs eine Breitband-Quanteneffizienz von rund 80% erreichen. Das Produkt $A\eta$ ist die effektive lichtsammelnde Fläche des Systems, und der Bruch $\Omega / d\Omega$ gibt die Anzahl der “Punkte” an, die am Himmel aufgelöst werden können. Um rasch Daten zu sammeln, benötigt ein Astrograph eine große lichtsammelnde Fläche über einer großen Menge auflösender Elemente.

Bei großen Durchmusterungsteleskopen wird $d\Omega$ oft durch das Seeing begrenzt, während kurzbrennweitige Weitwinkel-Teleskope wie der RASA durch die Pixelgröße eingeschränkt werden. Die klassischen fotografischen Himmelsdurchmusterungen wurden durch die Filmkörnung beschränkt. Alles in allem ist das Oschin Schmidt mit seiner modernen CCD-Kamera mindestens 100 mal leistungsstärker als in der Zeit, als er noch mit analogen Filmkameras betrieben wurde.

Um diese Aufgaben zu bewältigen, muss ein Teleskop eine große Öffnung haben, um die schwachen Objekte sehen und auflösen zu können, und eine zu den Pixeln der CCD-Kameras passende Brennweite, außerdem muss es über ein großes Bildfeld scharf abbilden. Kurz gesagt, benötigt es eine große Étendue. Tabelle 1 enthält einige aktuelle und geplante Projekte zur Himmelsüberwachung. In dieser Liste ist auch das 48-Zoll Oschin Schmidt, das demnächst mit der großen Zwicky Transient Factory Kamera mit sechzehn 36-Megapixel CCDs ein Gebiet von 47 Quadratgrad abdecken soll. Obwohl das Oschin Schmidt zu den kleineren Geräten gehört, deckt es mit seinem großen Bildfeld in jeder Nacht hunderte Ziele ab, die sofort vom Computer auf Veränderungen gegenüber der letzten Nacht überprüft werden können.

Das LSST – das Large Synoptic Survey Telescope, das gerade in den chilenischen Anden entsteht – wird sogar noch leistungsstärker. Mit einem 8,4-Meter Haupspiegel, einem Bildfeld mit 3,5 Grad Bilddiagonale (9,6 Quadratgrad) und einer Kamera mit 189 16-Megapixel-CCDs für insgesamt 3,2 Gigapixel pro Bild soll es von jedem Punkt vom Himmel zwei Aufnahmen mit 15 Sekunden Belichtungszeit machen, bevor es zum nächsten Bereich schwenkt. In jeder Nacht werden so 30 Terabyte Daten entstehen, die sofort aufbereitet und zur Verfügung gestellt werden.

Tabelle 1: Wide-Field Sky Surveys – Weitfeld-Himmelsdurchmusterungen

Survey Teleskop	Effektive Öffnung (Meter)	Ω (deg^2)	Étendue AΩ (m^2deg^2)
USAF Linear	1,0	2,0	1,5
Catalina Schmidt	0,68	9	3,6
Sloan Digital Sky Survey	2,5	3,9	6,0
CFHT Megacam	3,6	1	8,0
SUBARU-SuprimeCam	8,1	0,2	8,8
ATLAS Project	1,0	54	42
Oschin-ZTF	1,2	47	56
Pan-STARRS	3,7	7	60
LINEAR Space Surveillance Telescope	3,5	6	70
Large Synoptic Survey Telescope	6,5	9,6	319

4. Rich-Field Teleskope: Étendue für den Amateur-Astronom

Die Suche nach schwer fassbaren Objekten ist seit Jahrhunderten eine der wichtigsten Tätigkeiten der Astronomen, vom Amateur bis zum Profi. Charles Messier, der rastlose Kometenjäger des 18. Jahrhunderts, entdeckte neben 13 Kometen auch über hundert andere schwache Nebelfleckchen – die Messier-Objekte, die wir heute als Galaxien, Sternhaufen und Gasnebel identifiziert haben. Caroline Herschel, die Schwester des Astronomen William Herschel und ebenfalls eine begabte Astronomin, fand mindestens sieben Kometen mit einem speziellen, als Kometensucher bekannten kurzbrennweitigen Fernrohr. Kometensucher oder "Richest-Field-Teleskope" sind das visuelle Gegenstück zu einem Astrograph mit großer Étendue. Sie vereinen kurze Brennweite und große Öffnung mit einer geringen Vergrößerung, um ein möglichst helles Bild zu zeigen. So kann man leicht ein großes Himmelsgebiet nach dem verwaschenen Lichtfleckchen eines Kometen absuchen.

Fig. 3: Wenn das 8,4-Meter LSST seinen Betrieb aufnimmt, wird es den gesamten Himmel zweimal pro Woche aufnehmen und so in jeder Nacht tausende interessanter Objekte überwachen.

Im 19. Jahrhundert blühte die Jagd nach den Asteroiden. Am 1. Januar 1801 entdeckte Giuseppe Piazzi den Asteroid (1) Ceres und gab den Startschuss für die Suche nach weiteren Kleinplaneten zwischen Mars und Jupiter. 1891 begann der Berufsastronom Max Wolf in Heidelberg mit der fotografischen Suche nach Kometen, Asteroiden, Novae und allem anderen, was neu am Himmel erstrahlte. Dafür nutzte er einen 16-Zoll f/5 Spiegel-Astrograph mit einer für seine Zeit sehr hohen Étendue. Seine effizienten Suchen und Himmelsdurchmusterungen lieferten Sterne mit hoher Eigenbewegung ebenso wie Supernovae, Dunkelnebel und viele schwache Emissionsnebel. Damit ließ er die Amateurastronomen weit hinter sich.

Als die Astronomie als Hobby immer größere Verbreitung fand, dominierte das benutzerfreundliche Schmidt-Cassegrain in der Astrofotografie, obwohl es lichtschwaches System ist. Das klassische SCT hat ein Öffnungsverhältnis von f/10 und ein relativ kleines Bildfeld. Für die visuellen Beobachter dagegen eröffnete der Dobson eine Ära mit lichtstarken Teleskopen für die Deep-Sky-Beobachtung. Mit Öffnungen von etwa 12 bis 36 Zoll und Öffnungsverhältnissen zwischen f/4 und f/5 sowie niedrig-vergrößernden Weitwinkelokularen suchten und fanden die Beobachter auf einmal viele Deep-Sky-Objekte, die zuvor nur schwer zu beobachten waren. Diese visuelle Deep-Sky-Revolution entfachte erneut das Interesse an der Deep-Sky-Fotografie und führte zu neuen Astrographen mit hoher Étendue auch für Amateurastronomen.

5. Celestrons Schmidt, Fastar und HyperStar

Sowohl Profi- als auch Amateurastronomen wussten um den Nutzen von Schmidtkameras. In den 1970ern stellte Celestron zwei Schmidtkameras für 35mm-Film vor. Die erste hatte eine Öffnung von 5,25 Zoll und ein Öffnungsverhältnis von f/1,65, die zweite 8 Zoll Öffnung und ein Öffnungsverhältnis von f/1,5. Beim 8-Zoll-Modell bildete jede Aufnahme eine Fläche von 4,5° × 6,5° ab. Mit diesen schnellen Öffnungsverhältnissen

Abb. 5: Celestrons 8-Zoll f/1,5 Schmidtkamera ermöglichte auch Amateuren die Großfeld-Astrofotografie mit kurzen Belichtungszeiten und scharfen Bildern auf Kodaks bemerkenswertem Tech-Pan Film. Foto von Kent Kirkley.

Abb. 6: Das 8-Zoll f/2 Fastar trug eine PixCel CCD Kamera vorne an der Schmidtplatte. Bei einem schnellen Teleskop liegt der beste Platz für eine kompakte Kamera im Primärfokus.

konnten Deep-Sky-Objekte mit nur 30 Minuten Belichtungszeit auf feinkörnigen Film gebannt werden! Diese Kameras profitierten von Celestrons Wissen um die Serienproduktion von Schmidtplatten zu einem günstigen Preis. Eine Schmidtkamera hat eine gewölbte Bildebene, und das Bild entsteht auf halber Höhe zwischen Schmidtplatte und Hauptspiegel. Ein spezieller Filmhalter, der den Film sanft in die richtige Form bog, war mit einer Spinne an der richtigen Position platziert. Obwohl das Zurechtschneiden, Einlegen und entwickeln der kleinen „Filmschnipsel“ in absoluter Dunkelheit erfolgen mussten, meisterten mehr als nur ein paar Amateure diese Technik und konnten beeindruckende Weitfeld-Himmelsaufnahmen auf dem sehr feinkörnigen Kodak Tech Pan Film gewinnen.

Als der Film auch im Amateurbereich ab den 1990er von den kleineren aber empfindlicheren CCD-Sensoren verdrängt wurde, stellte Celestron ein neues, wegweisendes Produkt vor: die Fastar-Kamera. Das Fastar-System war ein Hybrid-Instrument, bei dem der Fangspiegel eines normalen C8 Schmidt-Cassegrains entfernt und durch ein System aus Korrektorlinsen ersetzt wurde. Celestrons Bildsensor war eine CCD-Kamera: die PixCel 255. Im Jahr 1999 war die ursprüngliche PixCel dann veraltet und wurde durch die SBIG ST-237 CCD-Kamera ersetzt. Mit einem Öffnungsverhältnis von f/2 war das Fastar-System ähnlich schnell wie eine Schmidtkamera und ermöglichte auch Amateuren Belichtungszeiten von wenigen Minuten. Aber die CCD-Sensoren dieser Zeit waren sehr klein: Die PixCel 255 hatte eine Auflösung von 320 × 240 Pixeln und die ST-237 immerhin schon 640 × 480 Pixel auf einer Fläche von 4,7 × 3,6mm. Damit deckte sie am Himmel ein Gebiet von 40 × 30 Bogenminuten ab – was zu dieser Zeit schon als Großfeld galt.

Abb. 7: Das Starizona HyperStar funktioniert sehr gut mit APS-C DSLR Kameras. Die Kombination aus großer Öffnung, kurzer Brennweite und großem Bildfeld zeigte den Weg für den Rowe-Ackermann Schmidt Astrograph auf.

Abb. 8: In der Zeit des Hale 5-Meter-Teleskops fotografierten die Astronomen den Himmel vom Primärfokus aus. Heute kann eine CCD-Kamera im Primärfokus von Amateurteleskopen montiert werden. Foto: LIFE

Als Celestron das Fastar-System einstellte, verschwand die Idee einer Weitfeldkamera im Primärfokus eines Schmidt-Cassegrains nicht einfach. Celestron stellte weiterhin SCTs mit abnehmbarem Fangspiegel her und übergab die Fackel an das Starizona HyperStar. Anders als Fastar mit seinem kleinen Sensor wurde HyperStar so konstruiert, dass der 27 mm große Sensor von digitalen Spiegelreflexkameras mit APS-C-Sensor bei einem Öffnungsverhältnis von etwa f/2 ausgeleuchtet wurde. Hyperstar ist kompatibel mit den C6, C8, C925, C11 und C14 SCTs. Starizona bietet auch Umbausets für nicht Fastar-kompatible HyperStar SCTs an, ebenso wie Adapter für eine Vielzahl von CCD- und DSLR-Kameras.

Auch wenn Fastar zuerst kam, fand die Weitfeldfotografie mit kurzen Belichtungszeiten erst mit HyperStar Verbreitung in der Amateurszene. In dem Jahrzehnt seit seiner Markteinführung hat HyperStar seine Niche in der Deep-Sky-Fotografie gefunden: Großes Bildfeld und kurze Belichtungszeiten. Trotzdem ist HyperStar nur eine Erweiterung und keine echte Einheit. Da die vorgegebenen Einschränkungen durch Schmidtplatte, Hauptspiegel, Abstände und Befestigungspunkte berücksichtigt werden mussten, war es immer ein gewisser Kompromiss. Was würde ein von Anfang an darauf ausgelegtes System erst alles leisten können?

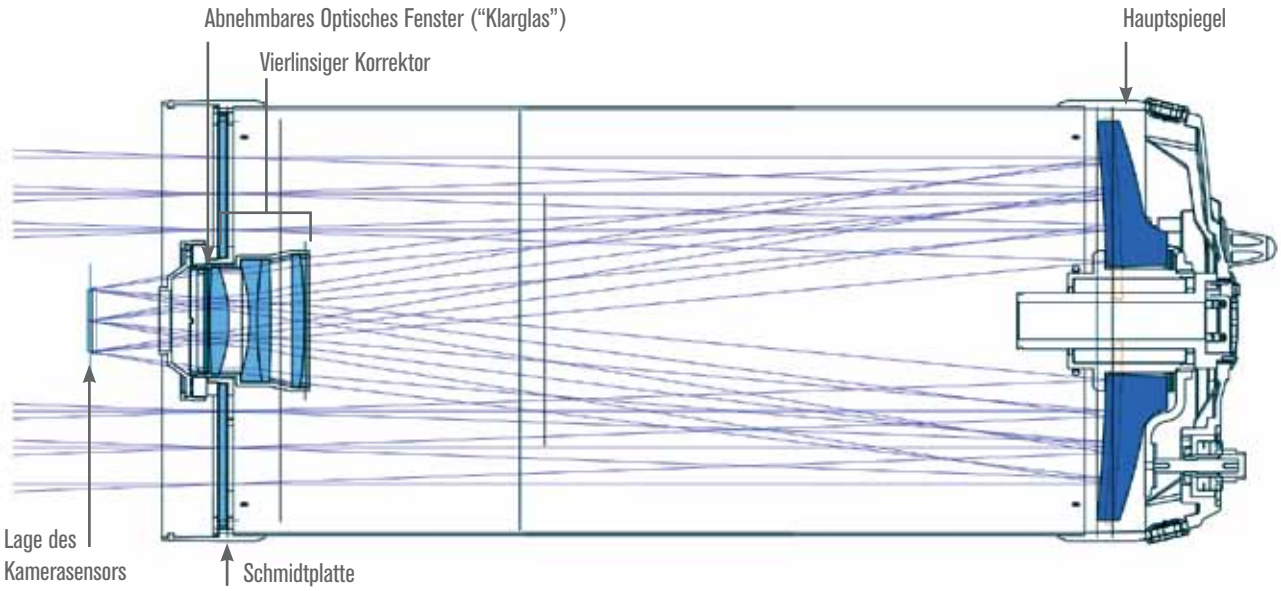


Fig. 9: Der Celestron Rowe-Ackermann Schmidt Astrograph besteht aus der Schmidtplatte, dem Hauptspiegel und einem vierlinsigen Korrektor. Das Licht tritt von links durch die Schmidtplatte in den Tubus ein, wird vom Hauptspiegel zurückgeworfen gelangt durch den Korrektor in den Fokus, der vor dem Tubus liegt.

Matrix Spot Diagram (9 µm Kantenlänge)

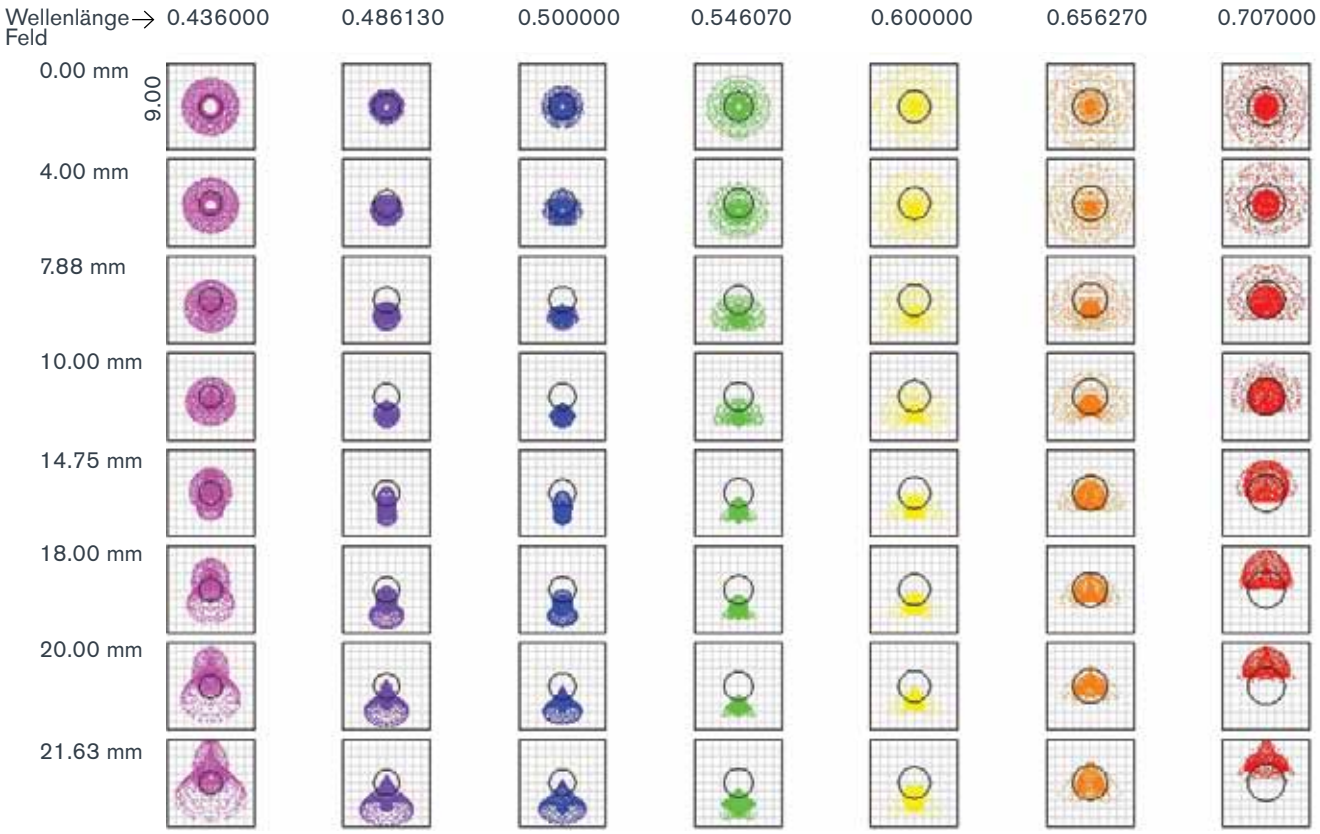


Fig. 10: Das Punkt-Matrix-Diagramm des RASA zeigt, dass das Teleskop über das gesamte sichtbare Spektrum von Tief-Violett (430nm) bis zum nahen Infrarot (700nm) eine bemerkenswert gut definierte Sternabbildung zeigt, vom Zentrum bis zu einem Abstand von mehr als 21mm zur Achse. In der Praxis kann ein Feld mit bis zu 52mm Durchmesser genutzt werden. Die Kästchen haben eine Kantenlänge von 9 Mikrometer.

6. Der Weg zum RASA

Der Rowe-Ackermann Astrograph ist nach den beiden Astronomen und Erfindern benannt, die die Konstruktion erdacht und optimiert haben: David Rowe und Mark Ackermann. 2012 arbeitete Rowe als Berater für Celestron und traf sich regelmäßig mit den „Produkt-Gurus“ der Firma. “Ich riet ihnen, sie sollten ein Teleskop ähnlich der Schmidt-Kamera anbieten, jedoch mit einer flachen Bildebene,” erinnert sich Dave, “aber ich hatte das Gefühl, dass die Bildebene auf jeden Fall außerhalb des Tubus‘ liegen müsse.”

Bei einer klassischen Schmidtkamera entsteht das Bild im Tubus auf halber Höhe zwischen Schmidtplatte und Hauptspiegel. “Wenn man eine CCD-Kamera in einen geschlossenen Tubus einsetzt, handelt man sich alle möglichen Probleme ein, und mit den meisten DSLRs würde es einfach nicht funktionieren. Ein Umlenkspiegel wie in einem Newton klingt nach einer guten Idee, aber bei einer so schnellen Optik müsste der Spiegel so groß sein, dass er viel zu viel Licht blockieren würde.”

Rowe spielte an seinem Computer verschiedene Idee durch. Ein zweilinsiger Korrektor kurz vor dem Fokus würde das Bild der klassischen Schidtkamera zwar ebnen, aber die Bildebene wäre immer noch innerhalb des Tubusrohrs. Um die Kamera außerhalb des Tubus zu platzieren, müsste sie wie beim Hyperstar vor der Schmidtplatte sitzen. “Ich diskutierte das bei Celestron mit Corey Lee, Eric Kopit und Dan Medley durch, und wir kamen alle zu dem Schluss, dass ein Achtzöller zu klein für eine DSLR wäre – das Kameragehäuse würde zu viel Licht blockieren. Das Design müsste auf einem Standard 11 Zoll SCT basieren.” Rowe setzte sich wieder an seinen Computer und spielte Raytracing-Modelle durch, auf der Suche nach einer guten Lösung.

Einen Monat später hatte er ein Design entworfen, das aus einer Schmidtplatte, einem sphärischen Spiegel und einem dreilinsigen Korrektor bestand. Der Fokus lag vor der Schmidtplatte. Für die beste optische Leistung wären jedoch Änderungen an der Schmidtplatte nötig gewesen. “Celestron wollte die Schmidt-Korrektorplatte nicht verändern,” sagte Rowe, “weil ihre in Serie hergestellten Schmidtplatten perfekt für die SCs waren. Stattdessen schlugen sie vor, einmal durchzurechnen, was mit der Standard-Schmidtplatte des C11 und einem anderen sphärischen Spiegel möglich wäre.” Ein Spiegel mit einer anderen Krümmung könnte aus den selben Spiegelrohlingen gefertigt werden wie das normale C11 SCT. Ohne Änderungen an der Schmidtplatte wären günstigere Endpreise möglich, gleichzeitig bliebe eine erstklassige optische Qualität möglich.

“Also entwickelte ich ein neues Design mit einem langbrennweitigeren Hauptspiegel, der Standard C11 Schmidtplatte und einem dreilinsigen Korrektor

aus gängigen Glassorten. Das Ergebnis war ein gut auskorrigiertes, 43 mm großes Bildfeld bei f/2,2 mit 55 mm Backfokus, das mit DSLR-Kameras kompatibel war. Dabei beließ ich es dann." Ein Jahr später besuchte Dave die Büros von Celestron und sah dort einen ersten funktionsfähigen Prototyp des RASA!

Ohne Daves Wissen hatte Celestron Mark Ackermann (Sandia National Laboratories, University of New Mexico) beauftragt, das zu Design zu überprüfen. "Es war Daves Idee," sagte Mark, "und als Celestron mich bat, es zur Produktreife zu bringen, übernahm ich das Projekt." Mark ist Spezialist für Weltraum-Überwachungssysteme und in seiner Freizeit begeisterter Amateurastronom. Er war es gewohnt, mit Optiken im Meterbereich zu arbeiten, und war von dem lichtstarken Entwurf mit seiner vergleichsweisen kleinen Öffnung fasziniert: Es könnte perfekt sein, um den niedrigen Erdorbit nach Weltraumschrott und schnellen Satelliten zu überwachen – eine Aufgabe, die am besten durch eine Anzahl kleiner Teleskope zu bewältigen ist.

"Ich überlegte, was mit diesem Design noch möglich sein könnte," erinnert er sich. "Ich optimierte es für einen größeren Spektralbereich – das gesamte sichtbare Spektrum von 400 bis 700 nm – und rechnete mit einer vier- statt dreilinsigen Korrektorlinse, für die ich niedrigbrechende Sondergläser verwendete, um eine noch schärfere Sternabbildung zu erreichen. Für geringe Mehrkosten erzielten wir im gesamten Feld mit 43,3 mm Durchmesser Sterne mit weniger als 4,5 µm RMS." Außerdem vergrößerte Ackermann die Durchmesser der optischen Elemente, um Vignettierungen zu beseitigen. "Das System erfüllt Universitätsstandards," sagte er, "ein sehr leistungsstarkes System zu einem sehr attraktiven Preis."

7. Wie der RASA funktioniert

Der RASA ist eine Weiterentwicklung der ursprünglichen Schmidt-Kamera, die auch in den bahnbrechenden 18-Zoll- und Oschin-Schmidt-Kameras realisiert wurde, und nun in der modernen Inkarnation an die zeitgemäßen, hochempfindlichen CCD-Sensoren angepasst wurde. Schmidt-Kameras basieren auf einer optischen Eigenschaft sphärischer Spiegel: Licht, das durch das Zentrum eines Kugelspiegels verläuft, formt immer ein gleich gutes Bild – unabhängig davon, aus welcher Richtung es ursprünglich kommt. Daher können sphärische Spiegel ein großes Bildfeld liefern, aber sie können kein gleichmäßig gutes Bild unabhängig von der Richtung des einfallenden Lichts liefern. Der deutsche Optiker Bernhard Schmidt erkannte jedoch, dass mit einer dünnen Korrektorplatte im Brennpunkt des Spiegels die einfallenden Lichtstrahlen so gelenkt werden können, dass ein hervorragendes Bild entsteht.

Schmidts dünne Korrekturlinse, die Schmidtplatte, ist im Zentrum schwach positiv gekrümmt und am Rand schwach negativ gekrümmt. Schmidt erfand nicht nur diese Form, sondern auch eine Möglichkeit, um eine Glasplatte in diese polynomische Kurvenform zu schleifen und polieren. Der sphärische Spiegel bildet das Bild innerhalb des Tubus auf halber Strecke zwischen Schmidtplatte und Spiegel ab, und ein fotografischer Film an dieser Stelle nahm das Bild auf. Ein Jahrzehnt später revolutionierte die Schmidt-Kamera die praktische Astronomie.

Zu Beginn des 21. Jahrhunderts wurde der klassische Film obsolet. Allerdings war es entweder unpraktisch oder gar unmöglich, die sperrige Elektronik rund um einen CCD-Sensor im Tubus zu platzieren. Wie Dave Rowe festgestellt hatte, ist der beste Platz für eine Kamera vor dem Tubus. Richtig umgesetzt würde die Kamera wenig Licht blockieren, und zumindest optisch war das die beste Lösung.

Wenn der RASA in den Himmel gerichtet wird, erreichen ihn von jedem Stern parallele Lichtstrahlen. Wenn sie durch die Schmidtplatte kommen, werden sie minimal abgelenkt, sodass sie nach der Reflektion durch den Hauptspiegel zu einem Punkt zusammenlaufen. Auf dem Weg zum Brennpunkt passieren sie den vierlinsigen Korrektor. Die Lichtstrahlen auf der optischen Achse werden von ihm kaum beeinflusst, während die weiter abseits verlaufenden Lichtstrahlen so abgelenkt werden, dass die Sterne als saubere, kleine Lichtpunkte abgebildet werden. Das Bild entsteht auf einer ebenen Oberfläche vor dem Tubus des RASA, und in dieser Ebene wird der Kamerasensor positioniert. Der Sensor sammelt und speichert die Photonen, bis sie am Ende der Aufnahme ausgelesen und als digitales Signal auf Ihren Computer übertragen werden.

Abb. 11: Die Schmidtplatte ist keine einfache Glasscheibe, sondern eine asphärische Linse. Tom Johnson, der Gründer von Celestron, fand und patentierte eine Möglichkeit, um sie in Serie herzustellen, und die auch heute wird die Schmidtplatte des RASA auf die selbe Art hergestellt.

8. Der RASA erblickt das Licht: Serienfertigung eines bahnbrechenden Produkts

Um den RASA für den Amateurmarkt bereit zu machen, mussten die Ingenieure von Celestron noch einige Probleme lösen. Obwohl das Prinzip den alten Fastar-Geräten ähnelt, gibt es doch einige wichtige Unterschiede. Die Brennweite des Hauptspiegels ist länger als bei einem normalen SCT. Auch wenn die Schmidtplatte mit der eines Standard-SCT identisch ist, muss sie anstelle des Sekundärspiegels auf der Innenseite einen massiven vierlinsigen Korrektor tragen und auf der Außenseite die Anschlussmöglichkeiten für eine DSLR oder CCD-Kamera bereitstellen. Das schnelle Öffnungsverhältnis bedeutet außerdem, dass die Tiefenschärfe nur wenige Mikrometer beträgt – der Sensor muss also sehr exakt positioniert werden, damit das System seine Leistung auch ausspielen kann und die Sterne nicht unscharf werden.

"Wir machten uns etwas Sorgen darüber, ob die Schmidtplatte das Gewicht des Korrektors und einer Kamera tragen würde," erzählt Eric Kopit, Celestrons Director of Product Development, "also testeten wir es. Wir stellten eine Schmidtplatte auf und hingen immer schwerere Gewichte daran." Die Schmidtplatte brach letztlich, als 80 Pfund (36,3 kg) an ihr hingen. "Danach," sagt er, "machten wir uns keine Sorgen mehr."

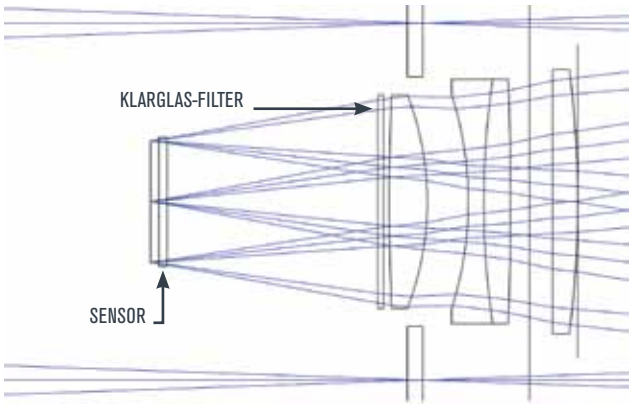


Abb. 12: Diese Raytracing-Darstellung zeigt den Weg des Lichts durch die Korrekturoptik des RASA. Jede Obstruktion zwischen dem Klarglasfilter und dem Sensor blockt Licht ab und verursacht Vignettierung.

"Wir verbesserten die Hauptspiegelfokussierung, indem wir die Toleranzen verkleinerten und bessere Materialien verwendeten," erzählt Kopit. "Das neue System verwendet das selbe Prinzip wie die EdgeHD-Teleskope, aber da wir auf das hohle Cassegrain-Blendrohr verzichten konnten, konnten wir ein dickeres Führungsrohr verwenden, was deutlich geringere Toleranzmaße ermöglicht." Außerdem bewegt sich der Hauptspiegel nun auf einer Messingoberfläche statt auf Aluminium, was eine glattere Lagerung und eine gleichmäßigere Bewegung zur Folge hat.

Der RASA hat eine Hauptspiegelfokussierung. Anstelle des einfachen SCT-Fokussierrads verbaut Celestron hier den Feather Touch von Starlight Instruments. Er bietet Grob- und Feintrieb (1:10), was bei manueller Fokussierung und diesem Öffnungsverhältnis sehr

Abb. 13: Der Feather Touch Fokussierer gehört zum Standard-Lieferumfang des 11-Zoll RASA.

angenehm ist. Kopit weist darauf hin, dass der Feather Touch von Haus aus ein exzellenter Fokussierer ist, für den auch ein optionaler Motorantrieb erhältlich ist. So kann der RASA im Remote-Betrieb fokussiert werden. "Bei vielen Beobachtungsprojekten," so Kopit, "würde der RASA jede Nacht genutzt werden, die ganze Nacht über, sodass eine Remote-Fokussierung kein Luxus ist, sondern wirklich eine Notwendigkeit."

Damit das Teleskop seine volle Leistung bringen kann, muss die Optik im Tubisinneren die selbe Temperatur haben wie die Umgebung. Kopit erklärte dazu: "Es ergibt sehr viel Sinn, einen Lüfter dort im Tubus anzubringen, wo bei einem Cassegrain der Okularstutzen sitzt. Der Lüfter saugt die Luft aus dem Tubus, sodass sie um den Hauptspiegel herum strömt. Wir haben das Lüftungsgitter überarbeitet, um den Luftstrom zu optimieren." Während einer Beobachtungsnacht würde man den Lüfter permanent laufen lassen, um die Optik auf Umgebungstemperatur zu halten.

Abb. 14: Der 12VDC MagLev Lüfter mit verbessertem Lüftungsgitter ermöglicht einen guten Luftfluss im Tubus. So wird das Teleskop auf Umgebungstemperatur gebracht.

Die Herstellung der Optik war ebenfalls eine neue Erfahrung für Celestron. "Für unsere klassische SCTs und EdgeHDs fertigen wir Schmidtplatten und Hauptspiegel so exakt wie möglich, aber es gibt immer kleine Abweichungen. Daher stellen wir die beiden auf eine optische Bank, und dann wird der Sekundärspiegel handretuschiert, um ein beugungsbegrenztes Bild zu erhalten," erzählte Kopit. "Beim RASA geht das nicht. Wir testen daher den Hauptspiegel mit einem Interferometer,

Abb. 15: Alle RASA-Hauptspiegel werden auf der optischen Bank mittels Laserinterferometrie getestet. Auf diesem Bild warten einige Stapel polierter Spiegel auf Ihre Tests.

ob er den Vorgaben entspricht. Jede der acht Oberflächen des Korrektors wird mit Match Plates getestet, sodass sie innerhalb der engen Toleranzen liegen." Wenn alles innerhalb der engen Toleranzen liegt, muss nichts mehr nachretuschiert werden. "Der RASA hat die selbe Schmidtplatte wie ein EdgeHD, aber bei den EdgeHD werden sie auf das fertige Teleskop abgestimmt, indem der Sekundärspiegel handretuschiert wird. Da der RASA keinen Sekundärspiegel hat, kann dieser auch nicht angepasst werden. Stattdessen greifen wir zu den Schmidtplatten, bei unsere Tests zeigen, dass sie im RASA die besten Ergebnisse liefern werden," sagt er. In dieser Hinsicht ähnelt die Fertigung eines RASA eher der eines hochwertigen Kameraobjektivs als der eines Teleskops: Da jede Komponente innerhalb der engen Vorgaben liegt, muss nicht manuell retuschiert werden.

Die Fassung des Korrekturobjektivs ist ein weiteres typisches Beispiel: "Wir fertigen das Metallgehäuse mit sehr engen Toleranzen, genau wie Durchmesser und Dicke der Linsen," merkt Kopit an. Letztlich werden Hauptspiegel, Schmidtplatte und Korrektor in einem Tubus montiert und mit Hilfe eines Lasers kollimiert.

Bevor es ausgeliefert wird, muss jedes RASA einen letzten Test bestehen: den Final Acceptance Test, kurz FAT. Der FAT wird auf einer optischen Bank durchgeführt. Es ist der selbe Aufbau, den Celestron auch für die Tests der EdgeHD verwendet. "Wir benutzen eine Canon 5D Mark III mit Vollformatsensor. Wir stellen auf einen künstlichen Stern in der Bildmitte scharf," so Kopit, "und schwenken den RASA dann so, dass wir den Stern einmal in jeder Bildecke fotografieren. Die Abbildung muss in der Bildmitte und an den vier Ecken praktisch identisch sein." Wenn die Abbildung in einer Ecke nicht so klein und scharf ist wie im Zentrum, wird die Justage des Korrektors korrigiert, bis die Abbildung auf und neben der optischen Achse bei der selben Schärfeeinstelung scharf ist. "Wenn ein RASA das Werk verlässt, ist er sauber justiert," erzählt Kopit. "Auch wenn ein Benutzer die Neigung des Korrektors selbst einstellen kann, ist das normalerweise nicht nötig."

9. Der RASA als optisches High Étendue System

Astronomen geben das Lichtsammelvermögen eines optischen Systems mit der Étendue (dem Lichtleitwert) an. Die Étendue ε ist das Produkt der lichtsammelnden Fläche des Systems A multipliziert mit dem Bildfeld Ω des Sensors. Es gilt also $\varepsilon = A\Omega$. Die Étendue eines Teleskops ist eine gute Angabe für seine Lichtsammelfähigkeit und die Eignung für Himmelsdurchmusterungen.

Fig. 16: Der abschließende Final Acceptance Test (FAT) stellt sicher, dass jeder RASA das Werk sauber justiert verlässt und im ganzen Bildfeld sauber, scharfe Sterne zeigt.

Wie geeignet sind die verschiedenen gängigen Amateurteleskope für die Deep-Sky-Fotografie? In Tabelle 2 finden Sie für verschiedene Optiken Öffnung und Brennweite sowie das Bildfeld eines Vollformat-Sensors (36 × 24mm) und die errechnete Étendue.

Tabelle 2: Étendue von Amateur-Teleskopen

Teleskop	Öffnung (mm)	Brenn-weite (mm)	Flächen-abdeckung* (deg^2)	Étendue** cm^{2}deg^2
14 Zoll RASA***	356	790	9,506	10120
11 Zoll RASA	279	620	7,380	4779
10 Zoll Foto-Newton	250	1000	2,837	1662
6 Zoll Foto-Newton	150	750	5,043	1064
FSQ 106ED	106	530	10,099	1135
TSA 102S	102	610	7,624	793
AT 115EDT	115	805	4,378	579
10 Zoll Ritchey-Chretien	250	2000	0,709	395
11-Zoll Edge HD	279	2788	0,365	253
Classic C8	203	2032	0,687	252
14 Zoll Edge HD	356	3857	0,191	217

* Bildfeld in Quadratgrad für einen 36 x 24mm "Vollformat" Sensor. Ausnahme: Der 14 Zoll RASA wurde mit einem 49,1 x 36,8 mm KAF-50100 Sensor gerechnet.

** Étendue wird in cm^{2}deg^2 gemessen. Die Öffnung wurde bezüglich der zentralen Obstruktion korrigiert. Zur Umrechnung in m^{2}deg^2 einfach durch 10 000 teilen.

*** Designentwurf.

Die überzeugende Kombination von Öffnung und Gesichtsfeld der RASA sichern ihm einen Platz ganz oben in der Liste. Als nächstes kommen Foto-Newtons mit Komakorrektor, da sie eine große Öffnung mit einem noch ordentlichen Bildfeld vereinen. Apochromatische Refraktoren bieten zwar ein großes Bildfeld, haben nur vergleichsweise wenig Öffnung im Vergleich zum RASA, was zu stundenlangen Belichtungszeiten führt. Konventionelle Ritchey-Chrétien und Schmidt-Cassegrain Teleskope haben eine große Öffnung, wegen der langen Brennweite aber nur ein kleines Bildfeld und ein langsames Öffnungsverhältnis. Nur mit Bildfeld oder Öffnung alleine ist keine große Étendue möglich. Die einzigartige Verbindung von großer Öffnung und großem Bildfeld im RASA bringt ihn ganz nach vorne.

Die Wahl des richtigen Kamerasensors ist ebenfalls wichtig für die Fotografie. Die Abmessungen des Sensors – sei es CCD oder CMOS – bestimmt das Bildfeld und damit auch die Étendue des Gesamtsystems. Wenn Sie den RASA mit einem kleineren Sensor nutzen, ist das Feld am Himmel kleiner – aber Sie haben immer noch alle Vorteile der großen Öffnung und des schnellen Öffnungsverhältnisses. Und, so erstrebenswert ein großer Sensor auch ist, kostet er nun einmal auch deutlich mehr als ein kleinerer. Da der RASA so viel Leistung zu einem so günstigen Preis bietet, ist es kein Wunder, dass eine große Kamera sogar teurer sein kann als der RASA selbst.

10. Kameraanschluss an den RASA

In einer idealen Welt wäre es kein Problem, einfach einen Kamerasensor in die Bildebene des RASA zu setzen. In der Realität ist es leider etwas komplizierter. Der Bildsensor muss fest am richtigen Ort montiert werden, und das Licht muss unbehindert durch den Korrektor zum Sensor gelangen. Problematisch wird es, wenn das Kameragehäuse in den Strahlengang ragt und so Licht abblockt. Die so entstehenden Vignettierung kann zwischen „stört kaum" und „sehr problematisch" liegen. Um den Sensor auszureizen, stellen Sie sich den Bereich zwischen RASA und Sensor als "Do Not Obstruct" Zone vor, die frei von Hindernissen bleiben muss.

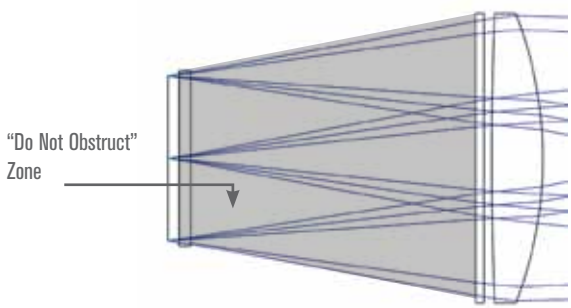


Abb. 17: Die "Do Not Obstruct" Zone ist der Bereich zwischen Korrektor und Sensor. Jedes Hindernis in desem Bereich verursacht Lichtverlust.

Im Inneren des RASA kommt es zu einer leichten Vignettierung. Nachdem das Licht durch die Schmidtplatte gelangt, geht ein kleiner Teil der randnahen Strahlen am Hauptspiegel vorbei und ist verloren. Etwas Licht wird auch durch das Gehäuse des Korrektors abgeschnitten. Diese Lichtverluste sind Teil des Designs des RASA, die Vignettierung verläuft sanft und kann mit einem Flatfield leicht ausgeglochen werden. Sogar am Rand eines Vollformatsensor (21,65 mm neben der optischen Achse) beträgt die Vignettierung nur bescheidene 23%. Abb. 18 zeigt das „sanfte" Vignettierungsprofil des RASA.

Der Bildsensor liegt außerhalt des Teleskoptubus, seine Position muss die folgenden drei Bedingungen erfüllen:

1. Er muss eine Entfernung von 72.8 $\pm$ 1mm vom Neigekragen des RASA einhalten.
2. Der Sensor sollte nicht mehr als 0,01° gegenüber der optischen Achse des RASA verkippt sein.
3. Lichtstrahlen des RASA sollten den Sensor ungehindert erreichen können.

Die ersten beiden Bedingungen sind recht einfach umzusetzen. Wenn der Adapter aus Metall gefertigt wird, sind Abstände und Ausrichtung in diesen Toleranzen einfach zu realisieren. Das RASA-seitige Ende des Adapters sollte zu den Adaptern passen, die Celestron zu jedem RASA ausliefert, und das sensorseitige Ende sollte entweder ein Gewinde haben oder eine Ringschwalbe bzw. das entsprechende Kamerabayonett.

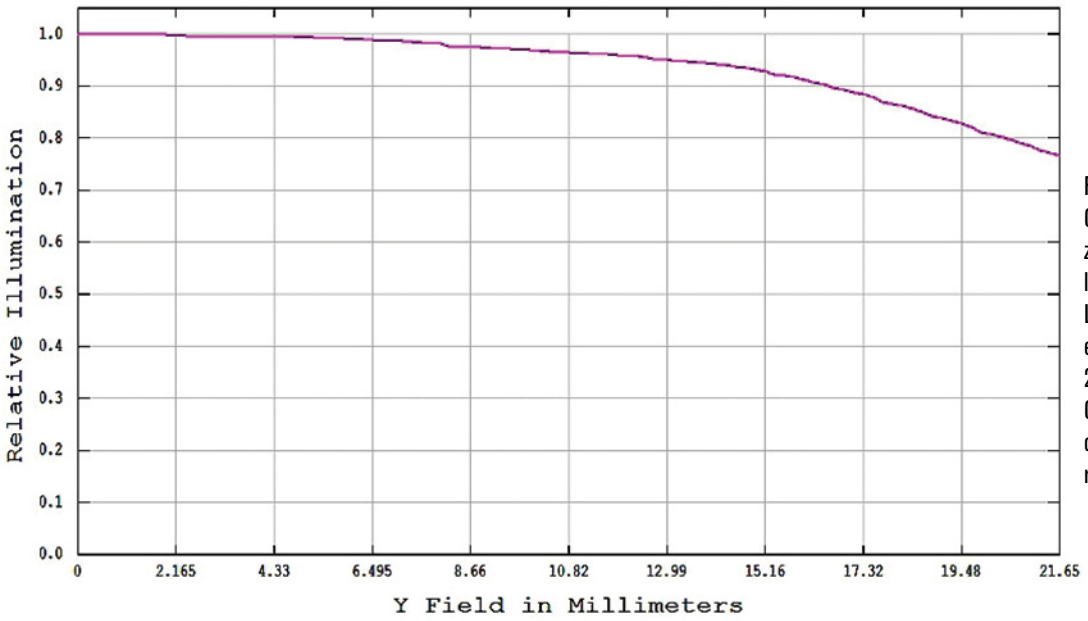


Fig. 18: Ohne weitere Obstruktion von außen zeigt der RASA nur einen leichten und sanften Lichtverlust, der am Rand eines Vollformatsensors 23% beträgt. Zusätzliche Obstruktion führt zu einem deutlichen Abfall am rechten Rand der Kurve.

"Ästhetische Fotografie" mit dem RASA

Was bietet Ihnen der RASA, was andere Astrographen mit der selben Brennweite nicht können? Der RASA hat eine extrem scharfe Abbildung über ein großes, ebenes Bildfeld. Das gilt natürlich auch für einen apochromatischen High-End Flat-Field Astrograph. Ein Foto-Newton mit Koma-Korrektor bietet ebenfalls eine akzeptable Abbildung etwa für das Vollformat. Die Farbkorrektur des RASA ist vielleicht etwas besser, und seine Randabbildung einen Hauch schärfer, aber letztlich ist ein Teleskop mit 620mm Brennweite immer eines mit 620mm Brennweite. Oder etwa nicht?

Versuchen Sie es einmal selbst: Nehmen Sie Ihre DSLR und ein hochwertiges Objektiv mit 28 bis 55 mm Brennweite. Nehmen Sie am besten das selbe Objektiv, das Sie auch für Sternfeldaufnahmen der Milchstraße verwenden. Montieren Sie die Kamera auf einer Nachführung, stellen Sie die ISO auf 1600 und die Blende auf 2,5. (Obwohl der RASA f/2,2 hat, ist er durch die zentrale Obstruktion etwas langsamer. Das ist die so genannte T-Wert – er ist das selbe wie der f-Wert, nur dass er auch die Transmission berücksichtigt. Der RASA hat T/2,5.) Fokussieren Sie sorgfältig und belichten Sie 60 Sekunden lang. Sie werden ein Foto voller Sterne, Sternwolken, Nebel, Sternhaufen und Dunkelwolken haben, das gut ausbelichtet ist.

Und nun wiederholen Sie das ganze, aber mit dem Blendenwert des Teleskops, das Sie für die Astrofotografie bevorzugen. Im Zweifel für den Angeklagten: Ignorieren Sie ruhig die zentrale Obstruktion und gehen Sie davon aus, dass Sie die volle Öffnung nutzen. Für einen typischen Foto-Newton liegen Sie bei einer Blende von rund f/4,5, bei einem Apochromat zwischen f/5 und f/7. Für einen Ritchey-Chretien oder Schmidt-Cassegrain setzen Sie die Blende auf f/8, f/10 oder f/11. Nehmen Sie jetzt wieder ein 60-Sekunden-Bild auf, mit der selben ISO. Das Bild wird wieder scharf sein, und sauber nachgeführt, aber es wird viel weniger zeigen, weil es vergleichsweise unterbelichtet ist. Sie können das ausgleichen, indem Sie die ISO erhöhen, aber damit steigt auch das Bildrauschen. Was können Sie tun?

Sie können natürlich die Belichtungszeit erhöhen. Versuchen Sie Belichtungszeiten von 120, 180, 300 und 600 Sekunden. Sie werden sehen, dass Sie bei f/4,5 180 Sekunden benötigen, um genauso viele Details zu sehen wie bei f/2,5. Bei f/5,5 benötigen Sie schon 300 Sekunden, und bei f/10 eine geschlagene Viertelstunde. Mit anderen Werten: Blende bzw. Öffnungsverhältnis ist wichtig!

Diese Aufnahme des Herz-Nebels (IC 1805) gelang Jimmy Walker, einem Team Celestron Mitglied, mit einer FLI Microline 11002 Farbkamera am RASA 11". Sie besteht aus zwölf 5-Minuten-Aufnahmen, die überlagert wurden.

Wenn Sie eine hochwertige DSLR an den RASA anschließen, können Sie mit nur 60 Sekunden Belichtungszeit schöne Aufnahmen der berühmten Deep-Sky-Objekte schießen. Sie müssen sich nicht einmal um eine Nachführkontrolle kümmern! Setzen Sie die ISO auf moderate 400, norden Sie die Montierung sauber ein und belichten Sie fünf Minuten – dann erhalten Sie ein „tiefes", rauschfreies Bild von fast jedem Deep-Sky-Objekt, das Ihnen einfällt. Nehmen Sie ein dutzend 5-Minuten-Bilder auf und überlagern Sie sie, dann erhalten Sie ein Bild, für das Sie mit einer f/4,5-Optik drei Stunden benötigen würden, oder fünf Stunden mit einem durchschnittlichen Apo, oder gar zwei Nächste mit einem konventionellen RC oder SCT.

Das ist es, was der RASA den Deep-Sky-Fotografen anbietet: Eine effiziente und erfolgreiche Nutzung der wenigen klaren Nächte, in denen Sie einen dunklen Himmel nutzen können. Das außergewöhnliche Lichtsammelvermögen des RASA – die Kombination aus großer Öffnung und kurzer Brennweite – schickt viele Photonen auf Ihren Kamerasensor. Der RASA zeigt nicht mehr als andere Teleskope mit der selben Brennweite und dem selben Bildfeld, aber er liefert die Ergebnisse viel schneller. Fünf Minuten mit dem RASA entsprechen einer Stunde Arbeit mit einem hochwertigen Apochromat. Außerdem sind die Bilder des RASA scharf, sauber definiert und ohne Farbfehler – im ganzen Bildfeld eines Vollformat-Sensors.

Die dritte Bedingung ist nicht ganz so einfach. Bei f/2,2 ist der Lichtkegel des RASA sehr breit, wenn er den Korrektor verlässt, sodass ihn die üblichen zylindrischen Verlängerungshülsen vignettieren würden. Stattdessen müssen Sie möglichst viel Volumen haben, um Vignettierung zu vermeiden – ein möglichst großer Zylinder oder ein Konus ist hier zu bevorzugen.

Im folgenden finden Sie die verschiedenen Adapter für die wichtigsten Kamera- und Sensor-Typen:

A. Spiegelreflexkameras (DSLRs)
DSLR-Kameragehäuse haben ein eingebautes Hindernis, das sich nicht beseitigen lässt: Den Spiegel. Er sitzt im tiefen, engen Spiegelkasten. Normale Kameraobjektive sitzen direkt vor dem Kameragehäuse, sodass das Licht sich vom Objektiv ausgehend ausbreitet und nicht vom Spiegelkasten blockiert wird. Das breite, konvergierende Lichtbündel des RASA dagegen wird an allen vier Kanten beschnitten, am stärksten an der Längkante mit dem Spiegel. Celestron liefert mit jedem RASA zwei Kameraadapter für DSLRs aus.

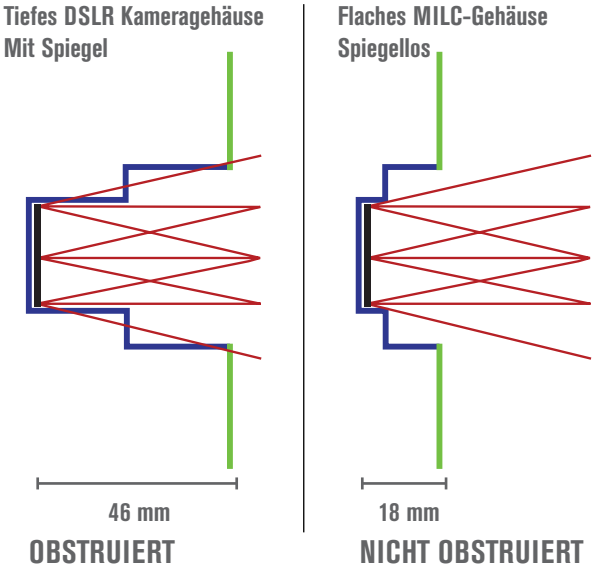


Abb. 19: Durch den weit nach hinten versetzte Sensor und die Spiegelbox kommt es bei einer DSLR zu Vignettierung: Das Licht des RASA kann die Ecken eines Vollformatsensors nicht erreichen. Eine MILC hat dieses Problen nicht.

B. Spiegellose Systemkameras (MILC)
Spiegellose Systemkameras (MILC – Mirrorless interchangeable-lens cameras) sind relativ neu auf dem Markt. Sie haben keinen Spiegel, stattdessen wird der Sensor permanent ausgelesen und das Bild im Sucher oder auf dem Display angezeigt. Da es keinen Spiegelkasten gibt, ist das Gehäuse dünner, und der Zugang zum Sensor ist einfacher. In Zukunft dürften diese Kameras wesentlich verbreiteter werden. Sie können am RASA entweder mit einem Standardadapter und etwas Vignettierung montiert werden, oder mit eigens angefertigten Adaptern (mit wenig oder keiner Vignettierung).

C. Astronomische CCD Kameras
Zweifellos können Kameras, die speziell für Deep-Sky-Aufnahmen mit langen Belichtungszeiten konzipiert sind, das Potential des RASA am besten ausschöpfen. Sie bieten die höchste Quanteneffizienz, das geringste Rauschen und die besten Möglichkeiten, um Dunkelstrom und Flats abzuziehen. CCD-Sensoren gibt es sowohl in Schwarz-Weiß (Monochrom) als auch als Farb-Version. CCD-Kameras mit relativ kleinen Sensoren können mit dem Standard-DSLR-Adapter von Celestron montiert werden. Für CCD-Sensoren mit mehr als 16 mm Diagonale sollten sie einen eigens dafür angefertigten Adapter verwenden. Wenn der Sensor nicht tief im Kameragehäuse sitzt, sollten Sie leicht eine weitestgehend vignettierungsfreie Lösung finden – meist auch eine ganz ohne Vignettierung.

D. Videomodule und Echtzeit-Kameras
Durch seine große Lichtstärke ist der RASA ideal für Echtzeit- oder Live-Aufnahmen des Himmels, mit bis zu vier Bildern pro Sekunde. Da Videomodule meist kleine Sensoren haben, funktionieren auch die Standard-Adapter von Celestron gut mit ihnen.

Zum Lieferumfang des RASA gehören zwei universelle Adapter. Der erste ist ein T-Adapter. Für viele Kameras gibt es T-Adapter: Ein weibliches 42 × 0,75mm Gewinde mit 55 mm Auflagemaß (Abstand zum Sensor). Der RASA-Adapter von Celestron hat das passende männliche 42 × 0,75mm Gewinde. Jede mit einem T-Adapter angeschlossene Kamera hat so automatisch den richtigen Abstand zum Korrektor. Leider ragt der T-Adapter durch seinen schmalen Innendurchesser in die “Do Not Obstruct” Zone hinein und verursacht etwas Vignettierung am Bildrand.

Der zweite Celestron-Adapter ähnelt dem T-Adapter, hat aber ein männliches “T-wide”-Gewinde mit 48 × 0,75 mm (M48). Die größere Öffnung reduziert die Vignettierung deutlich, allerdings nicht vollständig.

Weitere gängige Adapter wie T-Gewinde, T-Wide, T-auf-C, C-Mount oder Adapter für spezielle astronomische CCD-Kameras sind im astronomischen Zubehörhandel erhältlich.

Für spezielle Adapter kontaktieren Sie am besten den Hersteller oder Händler Ihrer CCD-Kamera. Viele bieten entweder spezielle Adapter direkt an oder können Ihnen eine Werkstatt nennen, die diese Zubehörteile anfertigt.

Auch wenn es verlockend ist: Greifen Sie nicht gleich zum ersten Adapter mit den passenden Gewinden, sondern achten Sie auch darauf, dass er einen möglichst großen Lichtdurchlass hat und nichts in die “Do Not Obstruct” Zone hineinragt. Als Richtwert haben geeignete Adapter RASA-seitig einen möglichst großen Innendurchmesser und laufen dann konisch oder glockenförmig zu; auch kameraseitig haben sie eine möglichst große Öffnung. Weitere Details finden Sie in Anhang B.

11. Fotografieren mit dem RASA

Das schnelle Öffnungsverhältnis und das große Bildfeld machen ihn für Amateurastronomen zum idealen Gerät für die Fotografie von farbenprächtigen Wasserstoffnebeln und Sternentstehungsgebieten. Plejaden, Orionnebel, Trifid- und Lagunnebel, Markarians Kette in der Jungfrau, Eta Carinae oder die Große Magellansche Wolke sind die Paradeobjekte für dieses Gerät!

Bei der Fotografie von Deep-Sky-Objekten mit dem RASA sollten Sie die folgenden Punkte beachten:

A. Abschattung

Da die Kamera vor dem Teleskop sitzt, sollte sie möglichst kompakt sein. Das Gehäuse des Korrektor hat einen Durchmesser von 114 mm; daher wird eine Kamera, die in diesen 114-mm-Kreis hinein passt, kein weiteres Licht blockieren. Trotzdem beeinflussen auch große DSLR-Gehäuse das Bild kaum merklich. Optimal sind CCD-Kameras in runden Gehäusen bis etwa 125 mm Durchmesser, sie verursachen keine oder nur geringe zusätzliche Abschattung.

B. Obstruktion

Der Adapter für das Kameragehäuse sollte so wenig wie möglich in die "Do Not Obstruct" Zone hineinragen (s. Abb. 17). Ein guter Adapter wird so wenig Vignettierung wie irgend möglich verursachen.

C. Sensorgröße

Sowohl Farb- als auch Monochrom-CCD-Kameras sind gut geeignet, vor allem solche mit einem schlanken Kameragehäuse. Alle DSLR- und Systemkameras funktionieren! Vollformat, APS-C und Four-Thirds-Kameras sind alle geeignet. Die Vignettierung fällt bei den größeren Vollformat-Sensoren jedoch stärker auf, sodass die günstigeren APS-C- und Four-Thirds-Sensoren trotz des kleineren Bildausschnitts reizvoller sind.

Tabelle 3: Sensorgrößen am RASA-11

Format	Größe (mm)	Fläche (mm^2)	Bildfeld	Bild-fläche
KAF-16803	36,8 x 36,8	1354	3,4° x 3,4°	11,6°
35mm "Vollformat"	36,0 x 24,0	864	3,3° x 2,2°	7,4°
KAI-11002	36,0 x 24,0	864	3,3° x 2,2°	7,4°
APS-H (Canon)	28,7 x 19,0	548	2,7° x 1,8°	4,7°
APS-C (Nikon, Sony, ...)	23,6 x 15,7	370	2,2° x 1,5°	3,2°
APS-C (Canon)	22,2 x 14,8	329	2,1° x 1,4°	2,8°
KAF-8300	18,0 x 13,5	243	1,7° x 1,1°	1,8°
KAI-10100	17,9 x 13,5	241	1,7° x 1,1°	1,8°
Four-Thirds (Olympus, ...)	17,3 x 13,0	225	1,6° x 1,1°	1,7°
KAF-3200	14,9 x 10,2	152	1,4° x 0,9°	1,3°
Nikon 1	13,2 x 8,8	116	1,2° x 0,8°	1,0°

D. Fotografie mit Kabel

Alle CCD-Kameras werden über ein (USB) Kabel und einen Computer gesteuert. DSLRs und Systemkameras können auch manuell gesteuert werden, was aber meist unpraktisch ist. Stattdessen wird die Kamera meist über PC oder Mac und USB-Kabel gesteuert. Die Steuersoftware sollte sowohl den Bulb-Modus für beliebige Belichtungszeiten unterschützen als auch einen Intervallmodus (für Serienaufnahmen mit vogegebenen Bilichtungszeiten) und einen Live View, um das Bild der Kamera live auf dem Monitor zu sehen. Viele Kameras haben bereits eine brauchbare Steuersoftware im Lieferumfang. Für Canon und Nikon gibt es auch hervorragende und günstige Software von Fremdherstellern für die Fernsteuerung.

E. Stromversorgung

Betreiben Sie Ihre Kamera möglichst mit einer externen Stromversorgung. Eine Beobachtungsnacht kann leicht sechs oder acht Stunden dauern – die Akkus der DSLR müssen also mindestens ebenso lange zuverlässig funktionieren. Wenn Sie auf Akkus angewiesen sind, halten Sie auf jeden Fall ausreichend vollständig aufgeladene Ersatzakkus bereit.

F. Taukappe

Absolut notwendig! Sie schützt das Kameragehäuse vor Streulicht, das ansonsten auf den Sensor gelangen könnte und den Kontrast der Bilder herab setzt. Eine mindestens 30 cm lange Taukappe verhindert auch, dass sich Tau auf der Schmidtplatte niederschlägt und die Bildqualität beeinträchtigt.

G. Heizmanschette

Zusätzlich zur Taukappe können Sie auch eine Heizmanschette verwenden. Ein paar Watt verhindern zuverlässig, dass Tau auf der Schmidtplatte entsteht. Es ist besser, wenn er gar nicht erst entsteht, als wenn Sie eine beschlagene oder zugefrorene Schmidtplatte wieder freimachen müssen.

Natürlich müssen Sie Ihre Ziele auch finden, am besten mit einer Goto-Montierung und/oder einen guten Sucher. Für lange Belichtungszeiten können Sie ein Leitrohr mit Guiding-Kamera auf der oberen Prismenschiene des RASA montieren. Wenn alles eingerichtet ist, sind die Belichtungszeiten angenehm kurz, sodass schöne Aufnahmen ein Kinderspiel sind.

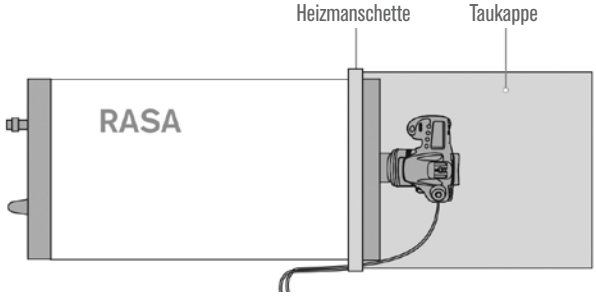


Abb. 20: Die Taukappe erfüllt drei wichtige Aufgaben: 1) Sie verhindert Tau auf der Schmidtplatte, 2) sie schützt die Kamera vor Streulicht, das in den RASA-Tubus und so in das Kameragehäuse gelangen könnte, und 3) sie schützt vor Streulicht, das den Bildkontrast senken könnte.

12. Fotografieren mit einer DSLR

Mehrere Jahre lang war die Canon 60Da ein Liebling der Astrofotografen – das "a" in der Typenbezeichnung bedeutet, dass der kamerainterne Filter eine erhöhte H-Alpha-Transmission hat. Obwohl sie teurer ist als die normale Canon 60D, hat sie einen 18 Megapixel Sensor im APS-C-Format und ihre Leistungsfähigkeit schon oft bewiesen.

Die Nikon D810A ist die astronomische ("A") Version der High-End-Kamera Nikon D810 und hat von Haus aus eine erhöhte H-Alpha-Empfindlichkeit. Mit 36 Megapixels hat sie eine hohe Auflösung, aber die Spiegelbox verursacht Vignettierung am Bildrand, genau wie bei anderen Vollformat-DSLRs.

Damit Sie von einer erhöhten H-Alpha-Empfindlichkeit profitieren können, ohne gleich einen Premium-Preis dafür zu bezahlen, bieten einige Firmen eine H-Alpha-Modifikation normaler Spiegelreflexkameras an, vor allem von Canon. Wenn der Filter ersetzt wird, wie bei den Umbauten mit einem Filter von Baader Planetarium GmbH, bleibt auch der Fokuspunkt erhalten. Für ein paar hundert Euro ist ein kompletter Umbau möglich, und vor allem astromodifizierte Canon-EOS-Kameras sind sehr weit verbreitet, gefolgt von Nikon-Kameras.

Am RASA funktionieren gewöhnliche APS-C-DSLRs sehr gut. Auch wenn der Umbau, also der Ausbau des Infrarot-Sperrfilters, der ansonsten die H-Alpha-Empfindlichkeit einschränkt, die H-Alpha-Empfindlichkeit der Kamera extrem steigert, erzielen Sie auch mit unmodifizierten Kameras beeindruckende Aufnahmen von Galaxien wie der Andromedagalaxie, Reflexionsnebeln wie dem rund um die Plejaden, Sternhaufen wie h & χ Persei oder Galaxiengruppen wie dem Virgo-Haufen. Bei einer nicht modifierten Kamera erscheinen Gasnebel dezenter als bei einer modifizierten Kamera; die Gase erscheinen eher in einem „strahlenden rosa" als in dem gesättigten karminrot. Bevor Sie das Geld in einen Umbau investieren, fotografieren Sie ruhig erst einmal mit der normalen Kamera – so können Sie sie auch für die normale Fotografie verwenden, und ein Umbau ist auch später noch möglich.

Abb. 21: Eine DSLR am RASA. Die orangefarbene Schwalbenschwanzschiene oben auf dem Tubus ermöglicht die Montage von weiterem Zubehör.

13. Fotografieren mit spiegellosen Systemkameras

Spiegellose Systemkameras (MILCs oder Mirrorless Interchangeable-Lens Cameras) werden immer beliebter. Alle DSLRs haben einen Spiegel, der kurz vor der Aufnahme aus dem Lichtweg geklappt wird. Spiegellose Kameras lesen stattdessen den Sensor kontinuierlich aus und zeigen das Bild auf einem Display. Systemkameras mit Wechselobjektiven bieten den Vorteil verschiedener Objektive, ohne die Nachteile des tiefen Kameragehäuses und des beweglichen Spiegels einer DSLR zu haben.

Für die Astrofotografie gehört die Vollformat-Kamera Sony A7S derzeit zu den interessantesten Kameras. Die A7S (oder α7S) hat einen 12 Megapixel Sensor. Anstatt ihn 45mm tief im Gehäuse zu vergraben, beträgt das Auflagemaß gerade einmal 18 mm. Mit einem passenden Adapter kann so die Vignettierung durch das Kameragehäuse weitestgehend vermieden werden. Obwohl sie nach modernen Maßstäben nur eine nierige Pixelzahl hat, passen die 8,4-Mikrometer großen Pixel sehr gut zur Spot-Größe des RASA. Die α7S kann außerdem umgebaut werden, um eine erhöhte Hα-Empfindlichkeit zu bieten.

Andere Hersteller werden zweifellos ebenfalls in den Markt der spiegellosen Systemkameras einsteigen. Canon hat die EOS M Serie vorgestellt, die APS-C-Sensoren und 18 mm Auflagemaß bietet. Denken Sie aber daran, dass Sie die Kamera über einen PC mit USB-Kabel steuern können sollten. Um die besser zugängliche Sensorposition ausnutzen zu können, darf der Adapter auch keine zusätzliche Vignettierung einbringen.

14. Fotografie mit Farb-CCD-Kameras

Es gibt zwei Arten von CCD-Kameras: Solche mit Farbsensor und solche mit Schwarz-Weiß-Sensor (monochrom). In einer monochromen CCD-Kamera sind alle Pixel auf dem Sensor gleich. Um ein Farbbild zu gewinnen, werden drei Aufnahmen durch Farbfilter gemacht. Diese drei Fotos sind schwarzweiß und müssen kombiniert werden, um ein Farbbild zu erhalten. Farbkameras genügt eine Aufnahme, da der Sensor hier von einem Muster aus roten, grünen und blauen Filtern überlagert ist – der Bayer-Matrix. Benachbarte Pixel „sehen" so verschiedene Wellenlängenbereiche, so dass ein Farbbild aus der Position der Pixel unter den verschiedenen Filter erstellt werden kann.

Das reizvolle an Farbkameras ist, dass sie mit einer einzelnen Aufnahme gleich ein Farbbild aufnehmen. Aus der Verteilung der Pixel unter der Bayer-Maske errechnet die Kamera ein fertiges Farbfoto. Der größte Nachteil einer Farbkamera liegt darin, dass die Bayer-Matrix die Lichtmenge reduziert, die den CCD-Sensor

Nur fünf Minuten belichtet!

Alle diese Aufnahmen wurden nur fünf Minuten lang belichtet! Sie entstanden mit einer Nightscape CCD-Kamera und einem 11 Zoll RASA.
Mit dem RASA sind stundenlange Belichtungszeiten Geschichte. Bei wenigen Minuten Belichtungszeit sinken die Ansprüche an die Montierung, und die aufwendige Nachführkontrolle ist nicht mehr notwendig. So lassen sich auch leichte mobile Montierungen gut nutzen. Deep-Sky-Aufnahmen werden leicht, schnell und machen Spaß!

Pleiaden-Sternhaufen M45

Andromeda-Galaxie M31

Rosetten-Nebel NGC 2237

Bilder: Richard Berry

erreicht, und so zu längeren Belichtungszeiten führt. Bei einem Öffnungsverhältnis wie beim RASA führt das aber selten zu Belichtungszeiten von mehr als fünf Minuten, und das fertige Bild zeigt immer noch mehr Details als die kombinierten Aufnahmen, die mit einem langsameren Astrograph in deutlich längerer Belichtungszeit entstehen.

Für die Fotografie an Standorten mit starker Lichtverschmutzung kann der Klarglasfilter des RASA (der innerhalb des Neigekragens liegt) durch einen speziellen Lichtverschmutzungsfilter ersetzt werden, den Celestron in Kooperation mit Astrodon (www.astrodon.com) entwickelt hat. Der Filter ist ein perfekter Ersatz für den Klarglasfilter, nur dass er die Lichtverschmutzung reduziert, ohne die Farbbalance Ihrer Farbaufnahmen zu stören.

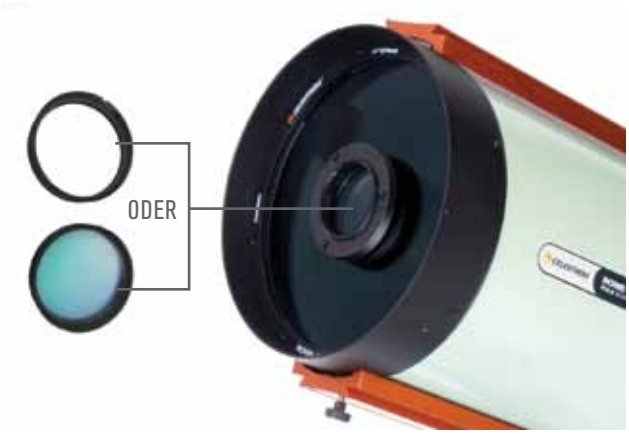


Abb. 22: Der eingebaute Klarglasfilter des RASA ermöglichte eine optimale optische Leistung. Er sollte entfernt werden, wenn andere Filter zum Einsatz kommen. Er kann auch durch einen optimalen Lichtverschmutzungsfilter ersetzt werden, der in Zusammenarbeit mit Astrodon entwickelt wurde.

Zu den Herstellern von Farbkameras gehören unter anderem Artemis Atik, QSI, QHYCCD, Starlight Xpress, Apogee, SBIG und FLI. Da das Design des RASA dafür ausgelegt ist, ein Vollformat-Bild mit 43,3 mm Diagonale bei einer geringen Vignettierung von nur 23% in den Ecken auszuleuchten, können Sie einen großen Bereich des Himmels auf einmal fotografieren, wenn Sie einen Vollformat-Sensor einsetzen. Noch besser: In einer einzigen Nacht können Sie ein Mosaik aus dutzenden Bildern aufnehmen, das zum Beispiel die gesamte Region von den Gürtelsternen des Orion über den Pferdekopfnebel bis hin zu den Emissionsbeln im Süden des Sternbilds abdeckt!

15. Fotografie mit Schwarz-Weiß-CCD-Kameras

Monochrome CCD-Sensoren sind empfindlicher als Farbkameras, da die lichtschluckende Bayer-Matrix fehlt. Ohne Filter ist der Sensor für Licht vom nahen Ultraviolett bis ins nahe Infrarot empfindlich. Wenn es auf hohe Empfindlichkeit und kurze Belichtungszeiten ankommt – zum Beispiel bei der Suche nach Kometen oder Weltraumschrott – ist eine monochrome CCD-Kamera mit gut zugänglichem Sensor und kompaktem Gehäuse die erste Wahl.

Die übliche Methode, um mit einer SW-CCD-Kamera farbige Aufnahmen zu gewinnen, ist der Einsatz von Breitband-Filtern in Rot, Grün und Blau, oder der Einsatz Schmalbandfiltern für OIII, SII und H-Alpha. Da die Optik des RASA für einen einzelnen 2 mm dicken Filter gerechnet ist, sollten sie den Klarglasfilter durch den gewünschten Filter ersetzen. Der Klarglasfilter ist in dem Neigekragen des RASA befestigt. Wenn sich zwei Filter gleichzeitig im Lichtweg befinden, wird die Leistung des RASA beeinflusst.

Beobachtungsprogramme, die Filter voraussetzen, benötigen meist gleich mehrere Filter, die dann in einem Filterrad befestigt sind. Ein kleiner Motor dreht das Rad, sodass verschiedene Filter automatisch in den Strahlengang geschaltet werden können. In den meisten Fällen ist das Filterrad jedoch größer als das Kameragehäuse, und im Fokus des RASA würde es einen Großteil der Öffnung blockieren. Es gibt aktuell keine einfache Lösung für dieses Problem, auch wenn es Ansätze gibt. Zum Beispiel können die Filter in eine Filterschublade eingesetzt und manuell getauscht werden.

Als sie den RASA konstruierten, hatten Dave Rowe und Mark Ackermann eine besonders geeignete und effektive Kamera im Auge, nämlich die FLI Microline ML11002M CCD Kamera. Der anti-blooming interline KAI-11002 Sensor hat eine Auflösung von 4008 × 2672 bei 9 Mikrometer großen Pixeln und kann auf 60 °C unter Umgebungstemperatur gekühlt werden. Das Gehäuse ist knapp 10 cm groß und blockiert somit kaum Licht. Eine hervorrgende Alternative ist die Artemis Atik 11000M, die den selben KAI-11002 Sensor verwendet. Mit einem Backfokus von 15mm und einem Gehäusedurchmesser von 125 mm passt die Kamera nicht nur optisch und physikalisch gut zum RASA, sondern ist auch ein gutes Stück günstiger als das FLI-Modell.

Nichtsdestotrotz kann man das Bildfeld des RASA bis auf 52 mm Diagonale ausreizen, wenn man einen 16 Megapixel Sensor wie den KAF-16803 einsetzt. Die Vignettierung senkt die Ausleuchtung der Ecken zwar auf rund 40%, aber mit guten Flatfields kann man dieses Problem beherrschen. Der Microline ML16803M von FLI liefert am 11 Zoll RASA überzeugende Bilder bis an den Rand!

16. Groß! Schnell! Weit! Scharf!

Celestrons „Testgelände“ für Teleskope liegt beim Firmensitz im kalifornischen Torrance – einem Ort, der nicht gerade für seinen dunklen Himmel bekannt ist. Der Vorstadthimmel ist vielmehr typisch für die Lichtverschmutzung, die viele Amateurastronomen in jeder Nacht erleben. “Wenn wir unsere Tests immer nur unter pefekten Bedingungen durchführen würden,” sagt Bryan Cogdell, Celestrons Product Manager of Astronomy, “würden wir unseren Kunden keinen Gefallen tun. Es ist wichtig, dass wir wissen

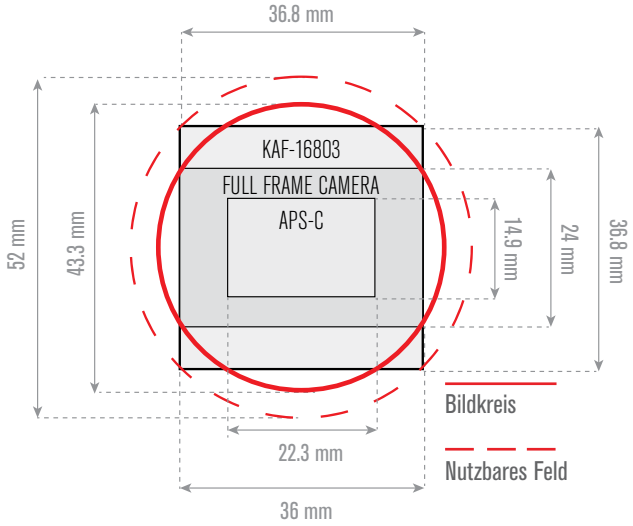


Abb. 23: Große CCD-Sensors, sogar der KAF-16803, funktionieren gut am 11"-RASA. Seine 52-mm-Diagonale erstreckt sich zwar über den optimalen Bildkreis hinaus, aber der RASA liefert immer noch eine gute Ausleuchtung und Abbildungsqualität im „nutzbaren Feld”.

und verstehen, wie sich unsere Teleskope auch unter den typischen Bedingungen in den Städten und in Stadtnähe verhalten.

Für alle, die neu zur Astrofotografie kommen, ist der RASA eine Offenbarung – ebenso wie für alle, die schon auf die harte Tour Astrofotografie betrieben haben,” so Cogdell. “Die Neueinsteiger haben die Geschichten von stundenlangen Belichtungszeiten gehört,” sagt er, “und die alten Hasen kennen die nächtelangen Aufnahmen bei f/8 oder f/10. Diese Leute haben das komplette Programm durchgemacht: Einnorden, lange Belichtungen, Autoguiding und Bildbearbeitung. Sie haben einiges durchgemacht.”

Für sie ist der RASA eine ganz neue Erfahrung. “Wenn sie die ISO-Empfindlichkeit ihrer Kamera auf 6400 stellen, können sie eine einzelne 15-Sekunden-Aufnahme bei f/2,2 machen, und schon ein ordentliches Rohbild sehen. Sie sind total begeistert! Wenn sie die ISO auf 1600 herabsetzen und 60 Sekunden lang belichten, erhalten sie eine Aufnahme, für die sie früher bei f/10 zwanzig Minuten brauchten.” Bei nur einer Minute Belichtungszeit ist keine Nachführkontrolle nötig, eine sauber eingenordete Montierung ist gut genug. “Mit minimalem Aufwand,” ergänzt Cogdell, “können erfahrene Astrofotografen ihr hart erworbenes Wissen einsetzen, ein dutzend Fünf-Minuten-Aufnahmen bei ISO 400 schießen, sie am Rechner weiterverarbeiten und die besten Bilder ihrer Karriere erzielen.”

Nachdem er den RASA von den ersten Tests an begleitet, eingesetzt und überprüft hat, sagt Cogdell, dass er immer wieder beeindruckt war. “Mit dem RASA,” erzählt er, “geben wir den Anwendern die Möglichkeit zur schnellen Astrofotografie, aber wir müssen sie auch darauf hinweisen, dass nun ‘Astrofotografie in Echtzeit’ möglich ist.” Die nächste Generation hochempfindlicher CMOS-Sensoren bedeutet, dass man Deep-Sky-

Objekte aufnehmen und gleich am Computerbildschirm sehen kann, in Echtzeit, und sie bewegen sich durch das Bildfeld, wenn Sie das Teleskop schwenken. “Das wird eine fantastische Sache für gemeinsame Beobachtungen oder öffentliche Star Parties. Man drückt einfach auf ‘Go to M51’, und jeder sieht, wie diese Galaxie sich ind Bildfeld schiebt.”

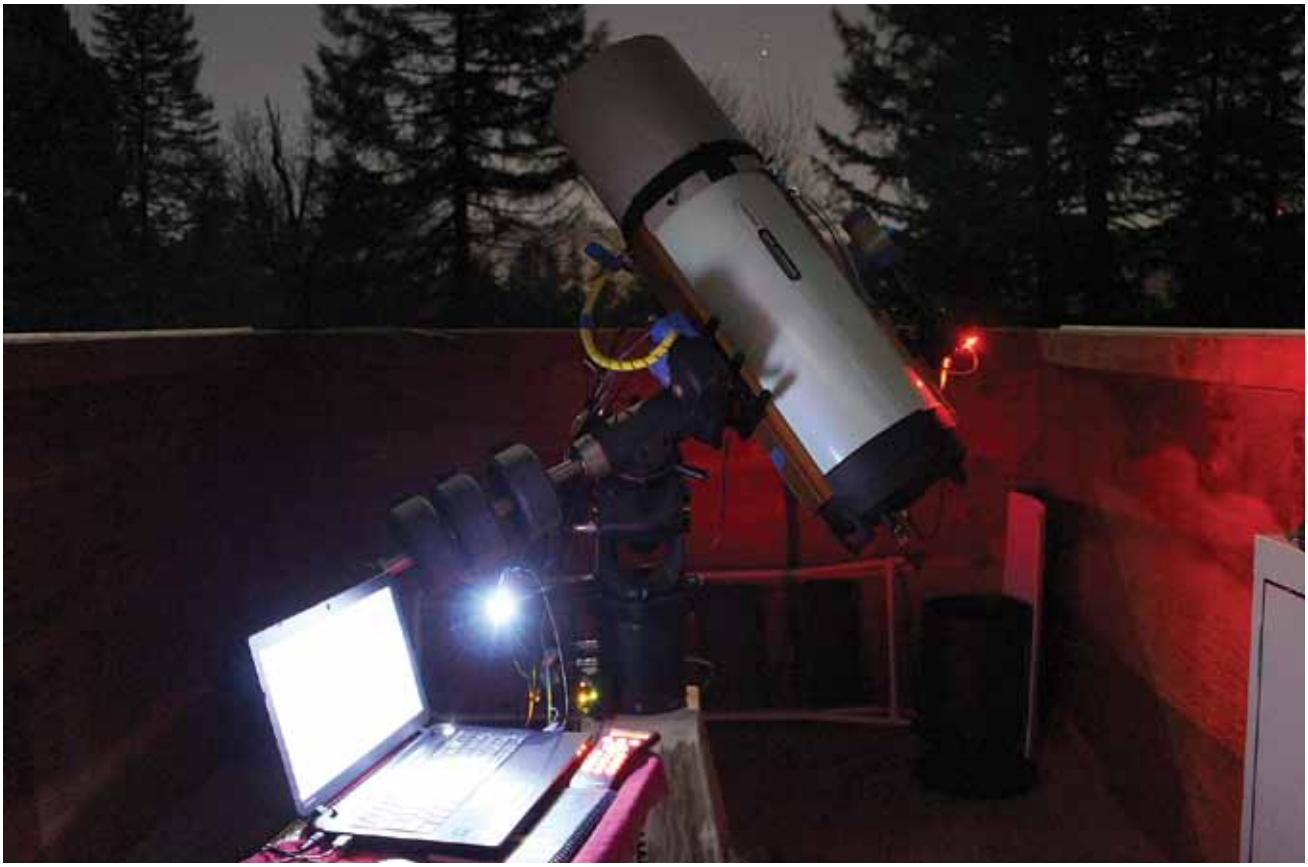
Eine weitere neue Technik ist das Live-Überlagern von Bildern. Mit der Infinity Kamera von Atik wird die Fotografie noch viel intuitiver. “Ihr CCD-Sensor ist klein, aber man kann zuschauen, wie das Bild von Aufnahme zu Aufnahme deutlicher wird und das Rauschen verschwindet. Mit der Brennweite des RASA passen die meisten Messier-Objekte wunderbar in das Bildfeld,” erklärt Cogdell. Die Software kümmert sich um die Bildausrichtung und das Stacking, sogar wenn die Montierung nicht exakt eingenordet ist. “Die große Étendue gibt dem RASA einen großen Vorteil. Für andere Teleskope benötigt man noch Reducer und Bildfeldebner; der RASA ist sofort bereit für die Fotografie bei f/2,2.

Ich kann es kaum erwarten, Mosaike aus mehreren Aufnahmen zu erstellen,” sagt Cogdell, “und daraus schöne Astrofotos zu erstellen. Fortgeschrittene Fotografen machen schon heute Mosaike, aber mit den konventionellen Systemen mit niedriger Étendue dauert es ewig, bis man die nötigen Aufnahmen zusammen hat.” Mit dem RASA können alle nötigen Aufnahmen in einer einzigen Nacht geschossen werden. “Für einige Fotografen sind selbst die sieben Quadratgrad, die der RASA einfängt, nicht genug. Aber wenn man für jedes Feld eine halbe Stunde investiert und dann weiter schwenkt, kann man in wenigen Stunden ein sechsteiliges Mosaik aus zwei auf drei Bildern zusammenstellen. Dann müssen die Aufnahmen nur noch zusammen gesetzt werden, und man hat zum Beispiel ein ganz neues Bild des Region des Herbstvierecks rund um Pegasus.

Ich habe den RASA mit der Canon 60Da der Vollformat Canon 5D Mark III getestet, außerdem einer QHY11 CCD. Unter unserem hellen Himmel hatten wir zuerst ein paar Probleme mit der Vignettierung, sodass wir die Bilder beschneiden mussten. Nachdem wir ein paar gute Flatframes hatten, konnten wir sogar von unserem Standort in der Vorstadt/Stadt gute Bilder machen.”

“Für Einsteiger,” sagt Cogdell, “ist es ein Einfaches, mit den mitgelieferten Adaptern ihre APS-C-DSLR anzuschließen und von Anfang an tolle Ergebnisse zu erzielen. Das ist vielleicht der beste Weg, um mit einem RASA zu beginnen.” Aber, wie Cogdell zugibt, “kann man die Grenzen einer DSLR leicht erreichen. Für schöne Bilder unter einem erstklassigen Himmel gibt es wohl nichts besseres als eine gute Vollformat-Farb-CCD-Kamera mit einem vignettierungsfreien Adapter.” Die Verbindung einer Étendue-starken Optik mit einer benutzerfreundlichen Kamera liefert faszinierende Weitfeld-Deep-Sky-Aufnahmen, mit nur einer Stunde Belichtungszeit. “In den Händen eines erfahrenen Amateurastronomen,” stellt Cogdell fest, “ist der RASA der ultimative Astrograph.”

Abb. 24: Ein Astrograph fühlt sich unter dem Sternenhimmel am wohlsten. Als dieses Foto entstand, war der RASA gerade auf den Komet Catalina gerichtet.



Literatur

Ackermann, Mark: An Overview of Wide-Field-Of-View Optical Designs for Survey Telescopes, Proceedings of the Advanced Maui Optical and Space Surveillance Technologies Conference (AMOS2010), held in Wailea, Maui, Hawaii, September 14-17, 2010.

ATLAS Project: Asteroid Terrestrial-impact Last Alert System, http://fallingstar.com/home.php, 2015.

Browers, A.: Achievements in Optics, Elsevier, New York, 1950.

LSST Corporation: LSST Optical Design, http://www.lsst.org/search/content/etendue.

PS1 Science Consortium (Pan-STARRS)t: Wide-Field Imaging, http://pan-starrs.ifa.hawaii.edu/public/design-features/wide-field.html.

Tyson, J. Anthony: New generation wide-fast-deep optical surveys: petabytes from the sky, Highlights of Astronomy, V 14, IAU XXVI General Assembly, 2006.

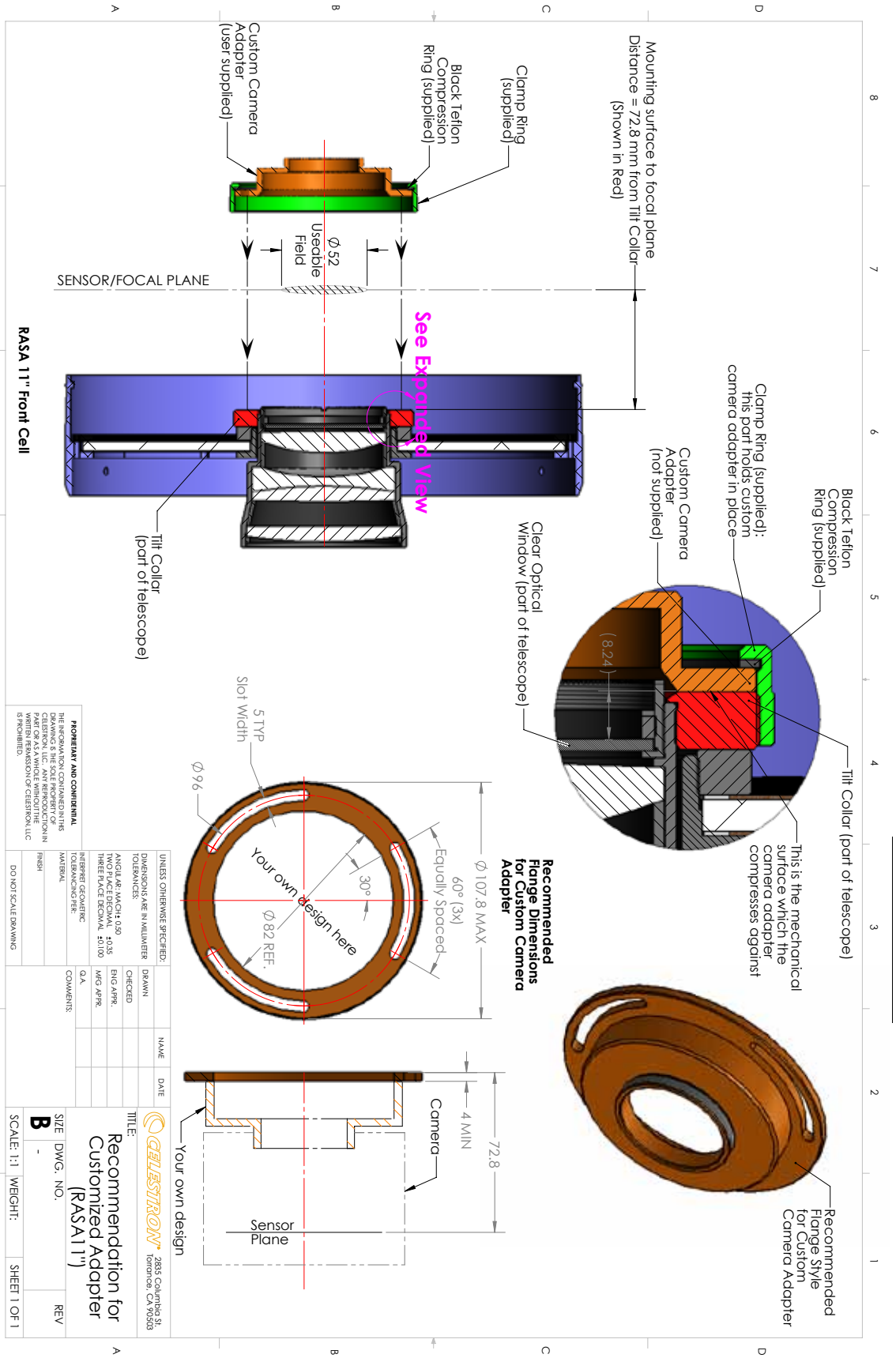
Woodbury, David O.: The Glass Giant of Palomar, Dodd, Mead, & Co., New York, 1946.

Abb. 25: Bryan Cogdell von Celestron genießt eine Fotosession mit dem RASA 11" unter einem dunklen Himmel.

ANHANG A:
Technische Daten des Rowe-Ackermann Schmidt Astrographen

Optisches Design	Rowe-Ackermann Schmidt
Öffnung	279 mm
Brennweite	620 mm
Zentrale Obstruktion	114 mm
Öffnungsverhältnis	f/2,22
Wellenlängenbereich des Designs	400 to 700 nm
Lineares Gesichtsfeld des Designs	43,3 mm
Gesichtsfeld des Deigns in Grad	4,00 Grad
Lichtsammelnde Fläche	64900 mm^2
Bildfeld, 36 × 24 mm Sensor	3,32 x 2,22 Grad Variable
Étendue, Vollformat-Sensor	4779 cm^2deg^2
Back Focus, M42 Kamera-Adapter	55,0 mm
Back Focus, von der Referenzebene	72,8 mm
RMS Spot Größe, On-Axis	< 4,00 Mikrometer Durchmesser
Allgemeine RMS Spot-Größe	< 4,50 Mikrometer Durchmesser
Encircled Energy(400-700 nm)	> 90% innerhalb eines 7,5-Mikrometer-Kreises
Klarglasfilter, freie Öffnung	68 mm
Klarglasfilter, Durchmesser	72 mm
Klarglasfilter, Dicke	2,1 mm
Klarglasfilter, Vergütung	Broadband AR multi-coated
Klarglasfilter, Anschlussgewinde	75 mm x 0.75 mm
Bildmaßstab (Bogensekunden pro Pixel)	0,33 x Pixelgröße in Mikrometer
Vignettierung, Relative Ausleuchtung	5 mm off-axis: 100% 10 mm off-axis: 96% 15 mm off-axis: 93% 20 mm off-axis: 80% 21,65 mm off-axis (Rand des Designs): 77%
Vergütung, Hauptspiegel	Starbright XLT
Vergütung, Schmidtplatte	Broadband AR multi-coated
Vergütung, Korrektorlinsen	Broadband AR multi-coated
Fokussierer	Feather Touch Microfocuser
Fokussierer Geschwindigkeit	0,10 mm/Umdrehung (Grobfokussierung)
Focuser Direction	Gegenuhrzeigersinn bewegt den Spiegel nach vorne
Spiegelfeststeller	Zwei
Lüfter	12 VDC, Pulspol innen
Maximales Kameragewicht	10 kg (22 pounds)
Gesamtgewicht (Teleskop)	20 kg (43 pounds)
Länge des Tubus	840 mm (33 inches)
Durchmesser des Tubus	315 mm (12.4 inches)
Montierung	Schwerlast-Prismenschienen oben und unten

ANHANG B:
Konstruktionshinweise für eigene Kameraadapter

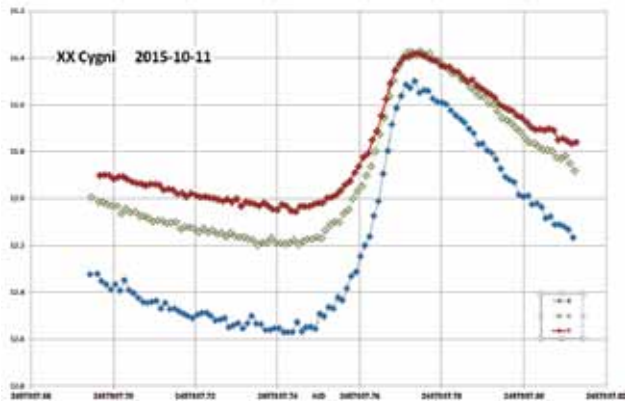


ANHANG C:
Wissenschaft mit dem RASA

Aufgrund seiner großen Étendue ist der RASA auch außergewöhnlich gut für wissenschaftliche Projekte geeignet. Die Kombination von großer Öffnung, schnellem Öffnungsverhältnis und großem Gesichtsfeld kommen den Wissenschaftlern zu Gute. Das gilt insbesondere für solche Projekte, die eine große Anzahl von Aufnahmen benötigen oder bei denen große Bereiche des Himmels in kurzer Zeit überwacht werden müssen.

Photometrie Veränderlicher Sterne
Die Beobachtung Veränderlicher Sterne ist das Fachgebiet, auf dem die Amateurastronomen den größten Beitrag zur Wissenschaft leisten können. Die American Association of Variable Star Observers (AAVSO), das Center for Backyard Astrophysics (CBA), die British Astronomical Association (BAA) und die Bundesdeutsche Arbeitsgemeinschaft für Veränderliche Sterne e.V. (BAV) gehören zu den Vereinigungen, die Beobachtungsprogramme betreiben und deren Ergebnisse sammeln und auswerten. Mit der Einführung der CCD-Kameras konnten Anzahl und Präzision der Beobachtungen gesteigert werden.

Für eine Messung wird das Teleskop auf die Region mit dem Stern gerichtet, dessen Helligkeit gemessen werden soll, anschließend wird eine Reihe von Aufnahmen durch einen oder mehrere Farbfilter gemacht, anschließend geht es weiter zum nächsten Stern. Ein Teleskop kann so mehrere hundert Sterne pro Nacht überwachen, oder es ist die ganze Nacht auf einen einzigen Stern ausgerichtet. Die Bilder werden kalibriert, dann wird die Helligkeit des Sterns bestimmt und mit der von Vergleichssternen im selben Bildfeld verglichen.



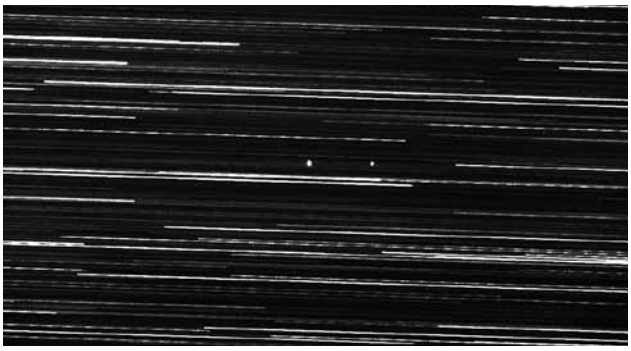
Der Stern XX Cygni durchläuft in rund drei Stunden einen komplexen Pulsationsprozess. XX Cygni wird seit über 100 Jahren beobachtet. Um Veränderungen in der regelmäßigen Lichtkurve des Sterns zu entdecken, hat der Beobachter den vielseite 11 Zoll RASA verwendet, um der Reihe nach 15 Sekunden belichtete Aufnahmen durch photometrische B, V und R Filters zu gewinnen. Im Plot der Lichtkurve lässt sich das Maximum mit einer Genauigkeit von weniger als einer Minute bestimmen.

Kleinplanetenphotometrie
Auch die Lichtkurven, die Amateurastronomen von den Kleinplaneten gewonnen haben, sind für die Wissenschaft wichtig. Aus der Lichtkurve lassen sich Rückschlüsse auf die Rotationsdauer und die Lage der Achse eines Asteroiden schließen. Mit dem RASA kann ein Asteroid über mehrere Nächte hinweg verfolgt werden, wie er durch eine Himmelsregion wandert. Dank des großen Bildfelds bleibt das Teleskop immer auf die selben Koordinaten gerichtet, der Asteroid wandert von Nacht zu Nacht durch das Feld. So können immer die selben Sterne für den Vergleich herangezogen werden, was für wesentlich homogenere Daten sorgt und die Auswertung erleichtert.

Kometenforschung
Obwohl die professionellen Sternwarten, die ähnlich leistungssterke Teleskope wie den RASA verwenden, den Amateurastronomen bei der Entdeckung von Kometen mittlerweile oft zuvor kommen, leisten die Amateurastronomen weiterhin ihren Beitrag: Sie können die Kometen über längere Zeiträume hinweg verfolgen und die Veränderungen in der Helligkeit messen. Die Lichtkurve eines Kometen hält immer wieder Überraschungen bereit, wenn sie bei der Annäherung zur Sonne heller wird (oder auch nicht) und immer wieder unvorhersehbare Aktivitätsausbrüche zeigt.

Suche nach Novae and Supernovae
So viel Himmel und so wenige Teleskope! Novae erstrahlen ohne Vorwarnung in sternreichen Gebieten der Milchstraße, während Supernovae in und bei weit entfernten Galaxien erscheinen. Kontinuierliche Überwachungsprogramme von Amateurastronomen können diese beiden Arten von explodierenden Sternen entdecken – und immer wieder gelingt das auch.

LEO Objektüberwachung
Die Überwachung von Satelliten im Erdorbit ist zu einem ungewöhnlichen Hobby einiger Weltraumfreunde geworden. Die Regierungen verfolgen ihre Satelliten mit schnellen Weitfeld-Optiken ähnlich wie dem RASA, daher ist es naheliegend, dass sich auch Amateure aus diesem Bereich dem RASA zugewandt haben. Zu ihren Zielen gehören Spionagesatelliten, Weltraumteleskope, aufgegebene Raketenstufen, Überreste von Satellitenkollisionen und andere Arten von Weltraumschrott, zum Teil nur wenig größer als ein Tennisball. Um Objekte im niedrigen Erdorbit zu finden (dem LEO – Low Earth Orbit), macht das Instrument kurzbelichtete Aufnahmen, in denen eine Computersoftware dann nach beweglichen Objekten sucht. Mit einem paar solcher Instrumente, die in wenigen Kilometer Abstand aufgebaut sind, können dann sowohl die Position solcher Objekte und als auch ihre Bahn bestimmt werden.



Wenn der RASA ohne Nachführung auf einen Bereich des Himmels gerichtet wird, werden geostationäre Satelliten als Punkte abgebildet, während die Sterne zu Strichen verzogen werden. Bild: Richard Berry.

Suche nach Near Earth Objects (NEO)
Unser Planet wurde immer wieder von einer Klasse von Himmelskörpern getroffen, die als Near Earth Objects (Erdnahe Objekte) bezeichnet werden. Auch in Zukunft wird es immer wieder zu Kollisionen mit diesen Asteroiden kommen. Die NASA und andere Weltraumagenturen überwachen den Himmel aktiv, um alle möglichen Objekte zu finden und zu klassifizieren, die eine Gefahr für das Leben auf der Erde darstellen könnten. Dazu verwenden sie ebenfalls Teleskope, die den selben Prinzipien wie der RASA folgen. Der Catalina Sky Survey, Pan-STARRS, LINEAR, Spacewatch, NEOWISE und das PS1 Consortium nutzen alle schnelle Weitwinkelinstrumente, um diese Objekte zu finden. Natürlich verwenden sie etwas andere Teleskope – mit Öffnungen im Meterbereich, viele Grad großen Bildfeldern und Gigapixel-CCD-Kameras – aber es wird niemals zu viele Teleskope für die Himmelsüberwachung geben.

"Amateur-Satellitenjäger benötigen das große Feld und die große Öffnung eines Instruments wie dem RASA. Satelliten sind schnell, daher muss ihr Licht in Sekunden eingefangen werden," bemerkt der Optikdesigner Mark Ackermann, "und mit Belichtungszeiten von ein oder zwei Minuten lassen sich erdkreuzende Kometen oder Asteroiden aufspüren." Die große Étendue des RASA macht ihn auch zu einem geeigneten Gerät für die Supernovajagd. In jedem Fall geht es darum, in kurzer Zeit einen großen Ausschnitt des Himmels zu überwachen, und das ganze ein paar Nächte später zu wiederholen, um Veränderungen aufzuspüren. "Das ATLAS Projekt mit einem Fünf-Millionen-Dollar-Budget der NASA, wird den Himmel mit zwei 500 mm Teleskopen mit f/2 absuchen, mit einemeinem Bildfeld von 7,4 Grad Kantenlänge. Eine 14-Zoll-Version des RASA könnte das selbe für $10 000 leisten, und die Ergebnisse wären zu einem Bruchteil der Kosten kaum schlechter."

RASA 11-Zoll vs. Palomar Sky Survey

Wie gut schlagen sich Bilder des 11-Zoll f/2,2 RASA im Vergleich mit dem berühmten Palomar Sky Survey? Links ist ein gestacktes Bild aus zwölf 5-Minuten-Aufnahmen, rechts eine 30-Minuten-Fotografie durch einen Rotfilter, die für den POSS II Survey mit dem 48-Zoll f/2,5 UK Schmidt Telescope. Der RASA hat ein besseres SNR (Signal-to-Noise Ratio, Signal-zu-Rausch-Verhältnis) und hat eine tiefere Grenzgröße, aber die drei Meter Brennweite des UKSTU liefern eine bessere Detailauflösung als die 0,6 Meter des RASA. Es ist eine eindrucksvolle Demonstration dafür, wie viel leistungsfähiger die Werkzeuge der Astronomen geworden sind. Der Nebel ist IC359 im Sternbild Stier.

279 MM f/2.2 Rowe-Ackermann

1200 MM f/2.5 UK Schmidt Telescope

Dieses Dokument sowie alle Texte und Gestaltung unterliegen dem Copyright und dürfen nicht – weder in Gänze noch in Teilen – für Zwecke Dritter übernommen werden. Die Weiterverbreitung dieses Dokuments darf nur vollständig und unverändert erfolgen. Irrtum, Verfügbarkeit und technische Änderungen vorbehalten. © 2016 Baader Planetarium GmbH, Mammendorf.

OBJEKT: M8, M20 & NGC 6559
AUFNAHME: Bryan Cogdell
TELESKOP: RASA 11” f/2.2
SENSOR: KAI-11002
BELICHTUNG: 45 x 60 Sekunden
DETAILS: Vollformat, unbeschnitten, ohne Flatfield-Kalibration

OBJEKT: NGC 1333 und Umgebung
AUFNAHME: Jimmy Walker
TELESKOP: RASA 11” f/2.2
SENSOR: KAI-11002
BELICHTUNG: 17 x 5 Minuten

© 2016 Celestron | 2835 Columbia Street | Torrance, CA 90503 U.S.A. | celestron.com