

Projekt GFA - Ein Großfeld-Astrograph für das Format 4 x 5"

Ein Bericht von Peter C. Slansky

27.9.2007; rev. 23.1.2017



I: Bau des Gehäuses

Alles begann 1999 damit, dass mir im Gebrauchtfenster meines Fotohändlers ein mächtiges Objektiv auffiel. Der Verkäufer wusste weiter nichts darüber als was sowieso auf dem schweren Metallgehäuse eingraviert stand: „Tessar 4.5/360; Carl Zeiss Jena DDR; 9815455“. Ohne schon genau zu wissen was ich damit machen wollte, jedoch in der Hoffnung auf eine astronomische bzw. astrofotografische Brauchbarkeit, erstand ich das Objektiv für 300.- DM.

Die Lichtstärke von F 4.5 bei 360 mm Brennweite ergibt einen freien Linsendurchmesser von 80 mm. Bei einer Bautiefe von 92 mm und einem Außendurchmesser von rund 115 mm hat dieses Tessar ein Gewicht von immerhin 2,4 kg. Ein erster Test ergab jedenfalls eine Bilddiagonale, die mindestens für das Format 13 x 18 cm ausreicht. Nach dem Kauf vergingen mehrere Jahre, andere Dinge waren wichtiger, der Euro kam, und die Optik lag im Schrank. Immer wieder spielte ich mit zwei Plänen: dem Bau eines visuellen Rich-Field-Refraktors oder dem Bau eines Großformat-Astrographen. Der letztere Plan setzte sich dann bei mir durch, ermutigt nicht zuletzt durch einen Artikel von Klaus Traving in ***Sterne und Weltraum 7/2000***. In einer Zeit, in der die Astrofotografie sich immer mehr vom klassischen Filmmaterial weg und hin zu elektronischen Bildwandlern entwickelte, wollte ich den letzten großen Vorteil des Films nutzen: *die Kombination von hoher Auflösung und großem Bildfeld*.

Vor der Konstruktion stand aber die Dimensionierung: Was sollte der GFA leisten?

Trotz des größeren Bildkreises des Objektivs entschied ich mich, das Bildformat auf 4 x 5 Inch zu begrenzen: Erstens gibt es Planfilm für das Großformat mittlerweile fast nur noch für die Formate 4 x 5" und 8 x 10" und zweitens arbeitet das Objektiv für das 4 x 5"-Format auch bei voller Öffnung ohne Lichtabfall zum Rand hin. Auch die Bildfeldwölbung tritt nicht so sehr in Erscheinung.

Das Format 4 x 5" misst genau 97 x 120 mm. Bei 360 mm Brennweite ergibt sich ein Bildwinkel von rund 15° x 19°. Das entspricht etwa einem 100 mm Teleobjektiv beim Kleinbildformat.

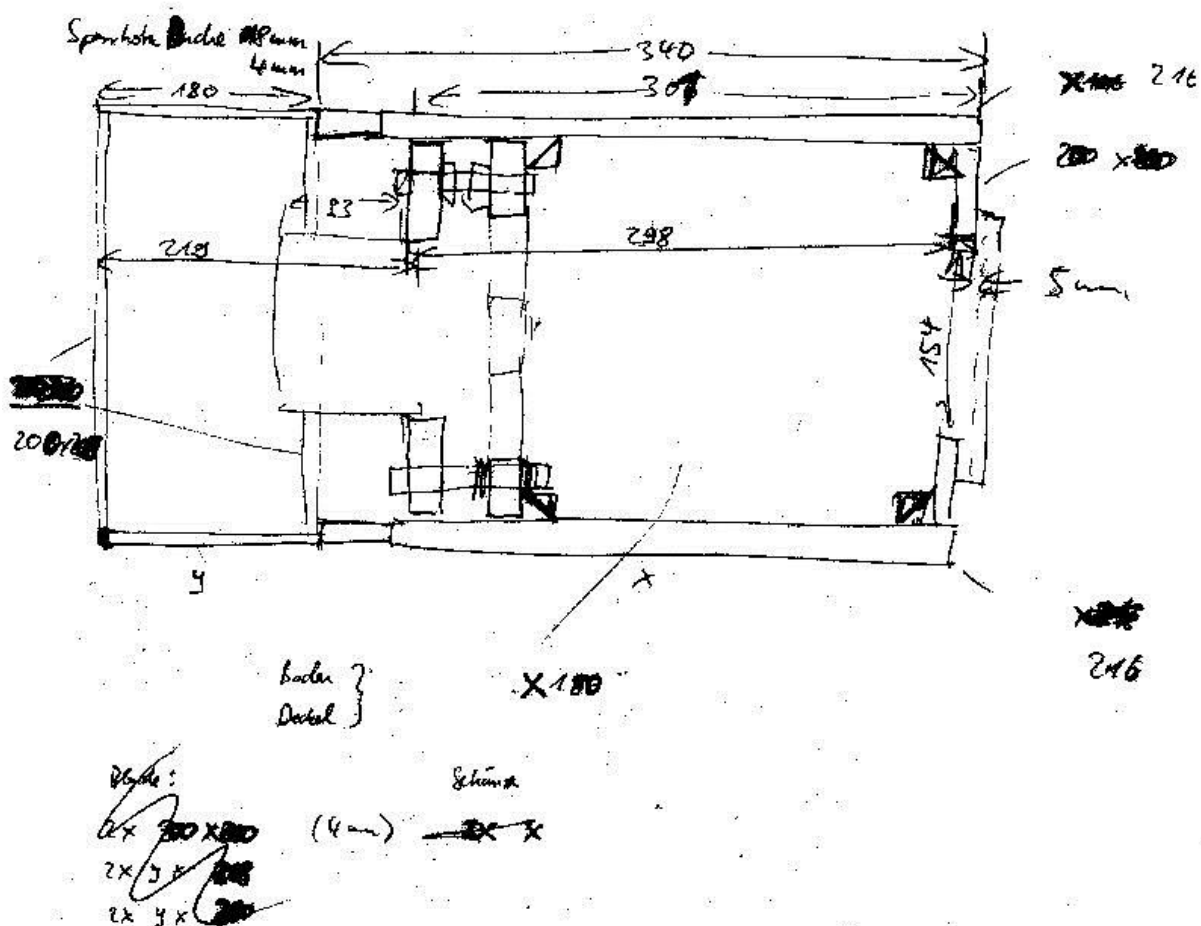
Kaum war diese Entscheidung gefallen, entdeckte ich bei meinem Fotohändler fünf gebrauchte 4 x 5" Doppelkassetten. Da mehr als zehn lange Belichtungen pro Nacht sowieso selten zu schaffen sind, waren diese absolut ausreichend. Die Suche nach einem gebrauchten Rückteil - ein neues hätte mit über 500.- € die späteren Gesamtbaukosten überschritten - dauerte etwas länger, führte aber ebenfalls zum Ziel. Mit diesen drei professionellen Komponenten - Objektiv, Kassetten, Rückteil - lagen die Kosten für den Astrographen nun bei insgesamt 300.- €. Hinzu kam zur Nachführung noch ein 50/600mm-Kaufhausrefraktor für 65.- € (dieser

Selbstbauprojekt GFA - Ein Großfeld-Astrograph für das Format 4 x 5"

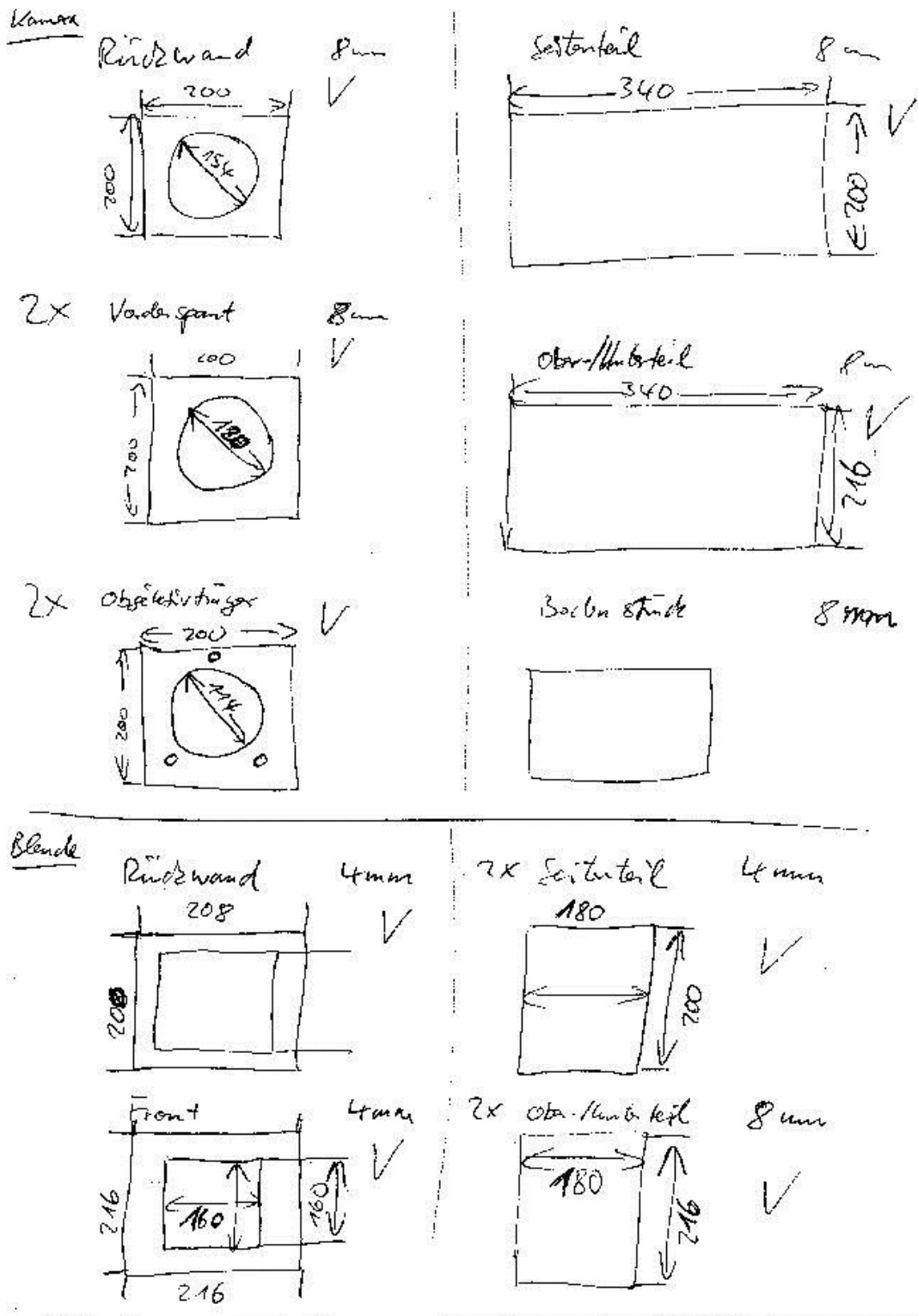
wurde inzwischen gegen ein größeres Leitrohr ausgetauscht). Der Rest sollte im Selbstbau entstehen.

Im Prinzip besteht der Astrograph aus einer Holzkiste von 34 x 22 x 22 cm, an dessen Vorderspant ein Objektivträger mit dem Objektiv angeschraubt ist und in deren Rückwand das Kassettenrückteil mit der Mattscheibe eingelassen ist. Vorne angesetzt wurde eine bündig abschließende Taukappe, so dass das ganze Gehäuse die Maße von 53 x 22 x 22 cm hat.

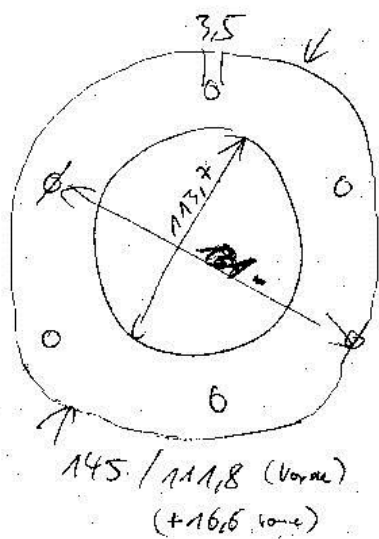
Hier meine Konstruktionsskizzen im Original - genauere Zeichnungen gab es nicht:



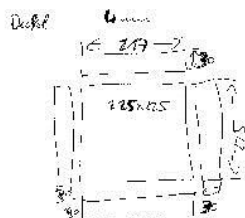
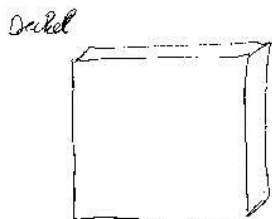
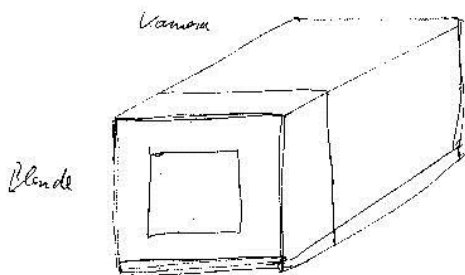
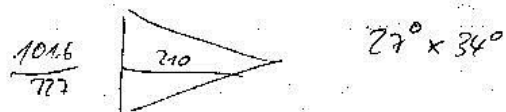
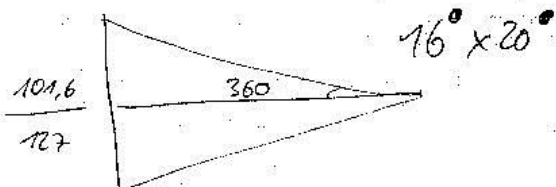
Selbstbauprojekt GFA - Ein Großfeld-Astrograph für das Format 4 x 5"



Selbstbauprojekt GFA - Ein Großfeld-Astrograph für das Format 4 x 5"

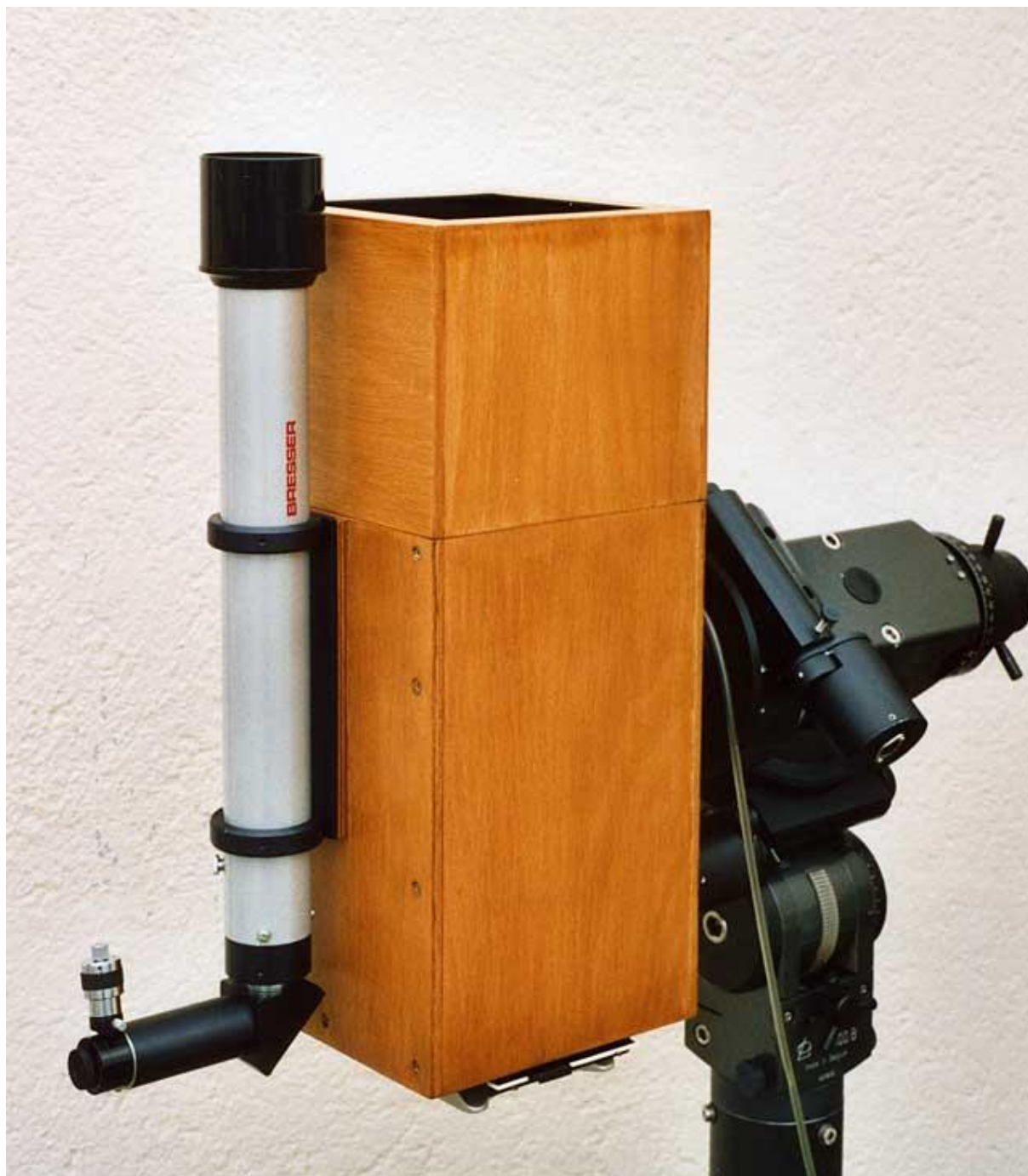


Zeiss 4,5 / 360
 Gewinde 1 = 110 mm ϕ
 Filtergröße : 104 mm
 T : 92,5 mm
 Deckel = 111,7 mm ϕ



Selbstbauprojekt GFA - Ein Großfeld-Astrograph für das Format 4 x 5"

Hier der fertige Astrograph mit dem 50/600mm-Leitrohr auf meiner Lichtenknecker M 100 B Montierung:



Bei lichtstarken Objektiven kommt es auf eine sehr genaue Justierung der Optik zur Filmebene an. Die Justagetoleranz berechnet sich, und zwar unabhängig von der Brennweite, durch die Multiplikation des zulässigen Unschärfekreises in der Filmebene mit der Lichtstärke des Objektivs. Nimmt man, wie für das Mittelformat üblich, einen Unschärfekreis von 0,05 mm an, so ergibt sich bei einer Lichtstärke von F 4.5 eine Abstandstoleranz von $\pm 0,225$ mm in der optischen Achse. So genau muss das Objektiv zur Filmebene justiert werden.

Selbstbauprojekt GFA - Ein Großfeld-Astrograph für das Format 4 x 5"

Legt man dagegen das Auflösungsvermögen des Technical Pan Films von etwa 0.015 mm zugrunde, so ergeben sich sogar nur $\pm 0,07$ mm. Das sind 7 Hundertstel Millimeter!

Es musste also ein Material für das Kameragehäuse gewählt werden, das eine möglichst geringe Verformung aufgrund von Temperatur, Feuchtigkeit und Belastung aufweist, das gleichzeitig aber noch mit Heimwerkermitteln bearbeitbar war. Ich entschied mich für 5-lagiges Buchensperrholz mit 8 mm Wandstärke. Um auch von außen den Selbstbaucharakter des Astrographen nicht zu verleugnen, wurde das ganze Holzgehäuse klar lackiert. Nun musste eine Vorrichtung zur exakten Längsjustage des Objektivs konstruiert werden. Diese besteht aus vier M 6-Gewindestangen aus V2A-Stahl, mit denen der Objektivträger in der Längsachse verschiebbar und in den beiden Querachsen justierbar gehalten wird. Auf dem Bild auf Seite 1 sind die Justiermuttern rechts oberhalb und unterhalb des Objektivs zu erkennen. Die Kontermuttern auf den Gewindestangen sind nur von innen zugänglich, so dass das Kameragehäuse nicht geschlossen verleimt werden durfte, sondern durch einen verschraubten Deckel zu öffnen sein muss. Zusätzlich wurde noch ein Frontdeckel angefertigt, der auch als Kameraverschluss dient. Der Gehäuseboden wurde mit einer Aluplatte verstärkt, an der die Keilschiene für die Lichtenknecker-Montierung angebracht wurde.

Ursprünglich war ein System von drei Blenden gegen inneres Streulicht vorgesehen. Deren optische Konstruktion hatte ich nach einem Artikel von Stefan Kunz im **VdS-Journal II/2002** mit einem CAD-Programm vorgenommen. Doch dann entschied ich mich der Einfachheit halber doch, den Innenraum der Kamera lediglich mit schwarzem Samt auszukleiden. Wegen des großen Formats und des daraus resultierenden großen Innendurchmessers der Blenden ist das kein großer Nachteil.

Die erforderliche Nachführvergrößerung wurde mit 40-fach errechnet. Immer mit dem Grundsatz eines möglichst günstigen Preis-Spaß-Verhältnisses beschaffte ich zunächst einen billigen Kaufhaus-Refraktor 50/600 mm, dessen Tubus ich leicht modifizierte. Bei dem relativ großen Bildwinkel verzichtete ich auf eine Verstellbarkeit des Nachführrohrs gegenüber dem Astrographen. Es musste eben ein Nachführstern in der Bildmitte gefunden werden. Statt des 1"-Kunststofffokussierers wurde für das 12,5 mm Nachführokular ein nicht verstellbares Tubusende aus Alu gedreht. Der Zenitspiegel wurde relativ weit vorne platziert, um eine kurze Baulänge zu erreichen. Das Leitrohr wurde mit einer Klemmvorrichtung auf dem Holzgehäuse befestigt. Im Nachhinein haben sich sowohl das kleine Leitrohr als auch die unverstellbare, aber nicht genügend stabile Halterung nicht bewährt. Sie wurden im August 2007 ausgetauscht.

Die ursprüngliche Mattscheibe des Kassettenrückteils bestand aus Kunststoff und bog sich sehr leicht durch - nichts für die Astrofotografie. Schnell

Selbstbauprojekt GFA - Ein Großfeld-Astrograph für das Format 4 x 5"

waren zwei billige Bilderrahmen beschafft, deren 2 mm dicke Glasscheiben genau in das Kassettenrückteil passten. Die Firma P+S Technik, München, mattierte mir die eine Scheibe, die andere blieb für den Foucaulttest klar.

Nun konnte die Grobjustage des Objektivs anhand des Bildes auf der Mattscheibe vorgenommen werden. Hierzu visierte ich von meiner Dachterrasse aus den rund 2 km entfernten Münchner Dom an. Bei offenem Gehäusedeckel stellte ich durch Drehen der Muttern auf den Gewindestangen den Abstand und die Rechtwinkligkeit der Objektivträgerplatte grob ein. Da das M 6-Gewinde eine Steigung von 1 mm hat, läuft die Toleranz von $\pm 0,225$ mm auf rund $\pm \frac{1}{4}$ Umdrehung an den Muttern hinaus. Nach dieser Vorjustage erfolgte die weitere Justage der Fokusslage auf meiner Dachterrasse über einen Foucaulttest. Von innen her fuhr ich bei geöffnetem Gehäuse mit der Messerschneide über die Klarscheibe und justierte an Capella zuerst in der Bildmitte und dann in den vier Bildecken. Nach etwa 1 Stunde war diese zweite Kollimation beendet. Auch diese Justage stellte sich als noch nicht genau genug heraus, da sie sich auf die Glasscheibe und nicht auf die Filmebene bezog. Im August 2007 konnte ich die Justage an einem Kollimator auf die Filmebene vornehmen.

Technischen Daten GFA:

Optik	Carl Zeiss Jena Tessar
Lichtstärke	F 4.5
Brennweite	360 mm
freier Objektivdurchmesser	80 mm
Format	Planfilm 4x5"
Bildfeld	97 x 120 mm
Bilddiagonale	155 mm
Bildwinkel	15° x 19°
Äquivalentbrennweite Kleinbild	90 mm
Gehäuseabmessungen	53 x 22 x 22 cm
Material des Gehäuses	Birkenmultiplex 8 mm
Gewicht mit Kassette und Nachführrohr	ca. 10 kg
Materialkosten insgesamt	484,72 €

Als nicht ganz einfach stellt sich die Beschaffung des Planfilmmaterials heraus: Technical Pan Film hatte eine Lieferzeit von mehreren Wochen. Immerhin gab es ihn Mitte 2004 noch - das waren noch Zeiten... Kodak Portra 400 Farbnegativfilm ging etwas schneller. Doch es war sowieso kein klarer Himmel.

Am 11. September 2004 war es dann soweit: Mit Matthias Knülle zusammen war ich für eine Woche auf den Gahberg am Attersee gefahren. Gleich in der ersten Nacht hatte der GFA sein First Light. In einer weiteren Nacht konnte ich dann noch 3 Aufnahmen bei Belichtungszeiten von je 40 Min. machen. Ansonsten hatten wir mit dem Wetter leider Pech.

Selbstbauprojekt GFA - Ein Großfeld-Astrograph für das Format 4 x 5"

Die aufgenommenen Objekte spielen hier keine Rolle, denn bei der Auswertung der Aufnahmen kam die große Ernüchterung: alle Aufnahmen waren lediglich in der Bildmitte scharf. Da die Randunschärfen keine Regelmäßigkeit zeigten und auch von Aufnahme zu Aufnahme in Form und Stärke variieren, führte ich sie auf eine Wölbung des Planfilms während der Belichtung zurück. Zwar hatte ich über genau dieses Problem bereits gelesen (***Sterne und Weltraum 7/2000***). Trotzdem war dieser Fehler eine große Enttäuschung, denn er bedeutete, dass die Filmführung in den Kassetten des GFA komplett umkonstruiert werden musste!

Grundsätzlich gibt es für dieses Problem zwei Lösungsansätze:

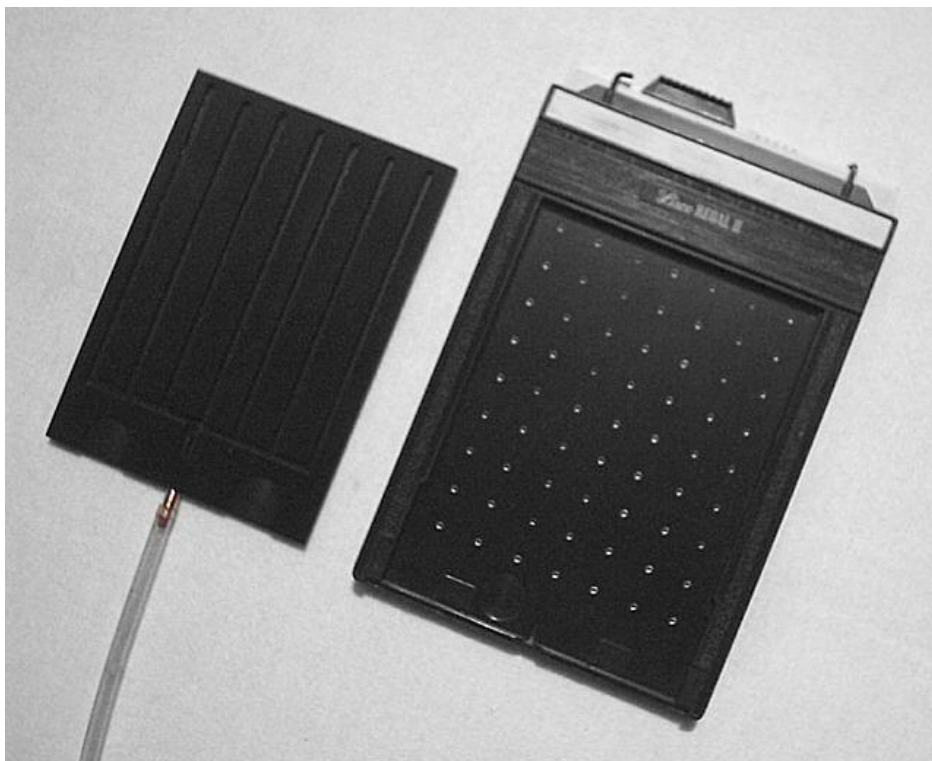
1. der Planfilm wird während der Aufnahme gegen eine Planglasscheibe, die sich genau in der Fokalebene befindet, gedrückt, oder
2. der Planfilm wird mit Unterdruck gegen die Rückwand der Filmkassette gesaugt. Hierzu muss die Kassettenrückwand mit einem Raster feiner Bohrungen oder Einfräsungen versehen werden.

Da eine Glasscheibe in der Fokalebene natürlich sehr anfällig gegen Staub ist, der dann scharf auf dem Film abgebildet wird, entschied ich mich für das Prinzip der Ansaugkassette.

II: Bau der Ansaugkassette

Eine Überprüfung der vorhandenen 4 x 5" Kassetten ergab folgende Lösung: In die rückseitige Aluminiumplatte der Kassetten wurden sieben Reihen mit je 9 Löchern von 1,2 mm Durchmesser gebohrt. Auf der Rückseite wurde der Kassettenschieber entfernt. Damit wurde die vormalige Doppelkassette zur Einfachkassette. In den Raum über den 63 Löchern wurde eine 5 mm dicke Aluplatte mit 7 feinen Längsnuten (im Bild links) mit Epoxidharz luftdicht verklebt. Am Ende der Platte sitzt eine Quernut, die alle 7 Längsnuten verbindet. In ihrer Mitte ist ein Schlauchstutzen angesetzt. Die Luft wird durch die 63 Löcher, durch die Nuten und durch den Schlauchstutzen abgesaugt und der Planfilm legt sich plan an die Rückfläche der Kassette. Beim Einlegen des Planfilms ist absolute Sauberkeit geboten, damit sich kein Staub zwischen Planfilm und Kassettenrückwand absetzt was zu einer Undichtigkeit und einer Filmaufwölbung führte. Die folgenden Bilder zeigen den Prototypen der Kassette.

Selbstbauprojekt GFA - Ein Großfeld-Astrograph für das Format 4 x 5"



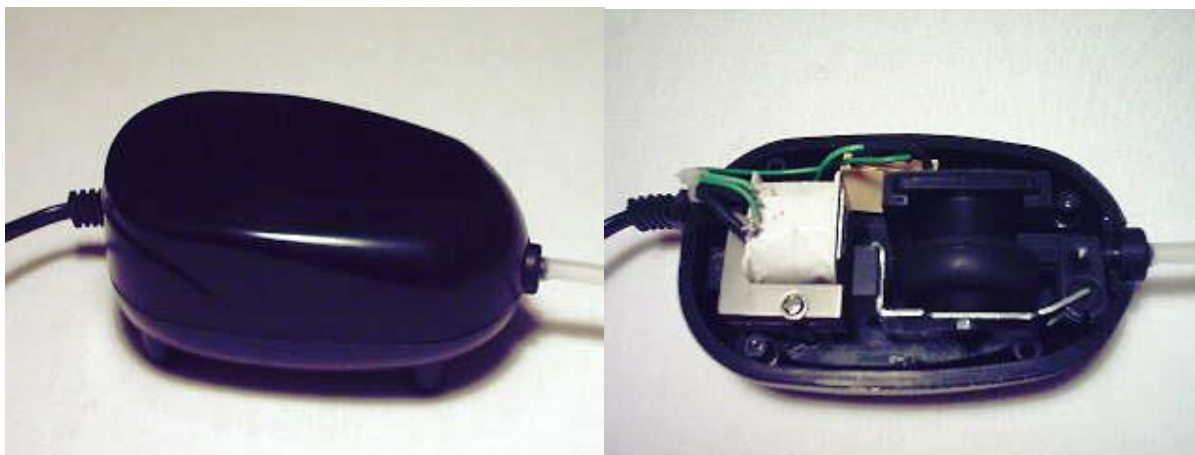
Die Ansaugkassette vor und nach dem Zusammenbau

Selbstbauprojekt GFA - Ein Großfeld-Astrograph für das Format 4 x 5"



Selbstbauprojekt GFA - Ein Großfeld-Astrograph für das Format 4 x 5"

Der Unterdruck in der geladenen Kassette muss nur relativ gering sein. Erzeugt wird er durch eine kleine 230V-Membranpumpe, die ich in der Gartenabteilung eines Baumarkts fand:



Die Membranpumpe wurde von Pumpbetrieb auf Ansaugbetrieb umgebaut, wobei das "Umpolen" der beiden Ventile ziemlich diffizil war. Der Probebetrieb der Kassette mit angeschlossener Ansaugpumpe verlief aber zufriedenstellend: Der Planfilm legt sich sauber an die Kassettenrückseite und lässt sich bei laufender Pumpe nicht mehr bewegen.

Vor dem First Light des GFA wollte ich aber die Planlage experimentell überprüfen. Es musste also ein Testverfahren her das sich mit Amateurmitteln realisieren ließ.

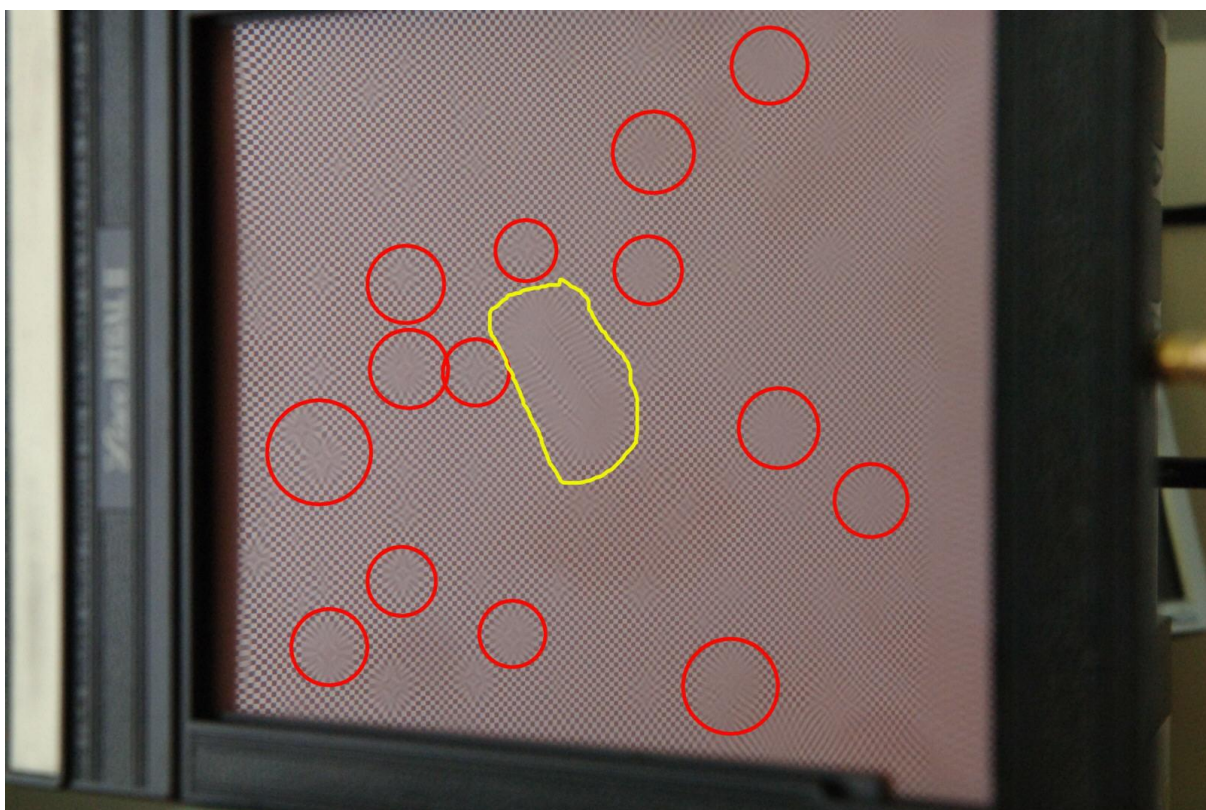
III: Planitätstest der Ansaugkassette

Zum Test der tatsächlichen Filmplanlage machte ich zusammen mit Matthias Knülle im August einige Testaufnahmen. Das Testverfahren beruht auf einem relativ einfachen Aufbau: auf einem LCD-Computerbildschirm wird ein Schachbrettmuster dargestellt (ein Röhrenmonitor ist wegen des Flimmerns nicht geeignet). Das Schachbrettmuster muss regelmäßig sein und in der nativen Auflösung des Bildschirms (in der Regel 72 dpi) dargestellt werden, um Aliaseffekte zu vermeiden. Die Filmkassette wird mit einem Blatt Planfilm geladen, der Schieber wird herausgezogen. Die Ansaugpumpe wird mit der Kassette verbunden und eingeschaltet. Dann wird die Filmkassette senkrecht in einem Winkel von 45° zum ebenfalls senkrecht stehenden LCD-Monitor aufgestellt. Nun macht man mit einer (vorzugsweise digitalen) Fotokamera wiederum im Winkel von 45°, also 90° zum LCD-Bildschirm, ein Bild der Spiegelung des Schachbrettmusters auf der Planfilmoberfläche.

Selbstbauprojekt GFA - Ein Großfeld-Astrograph für das Format 4 x 5"



Zu achten ist auf eine ausreichende Tiefenschärfe, sodass wegen der erforderlichen kleinen Blende lange Belichtungszeiten entstehen, und die Kamera auf ein Stativ montiert werden muss. Etwaige Unebenheiten treten dann im Bild deutlich hervor:



Für diese Aufnahme wurde ein 1 cm langes und 60 μm dickes Haar zwischen Planfilm und Kassette gebracht. In der gelben Markierung ist die Aufwölbung deutlich im Reflexmuster zu erkennen. 60 μm entsprechen etwa der maximalen Planlage-Toleranz bei F 4.5. In den roten Markierungen erscheinen weitere, kleinere Filmaufwölbungen. Diese beruhen auf kleineren Aufwölbungen, die durch das Bohren der Löcher verursacht wurden. Diese Grate wurden entfernt.



Danach zeigte die Kassette eine gute Planlage: Nur winzige Unebenheiten sind noch zu erkennen. Auch wölbt sich der Film am Rand der Kassette hinten links noch geringfügig auf. Insgesamt ist die Planlage so aber akzeptabel. Nach diesen Vorarbeiten hatte der fertige GFA dann am 31.8.2005 sein "Zweites First Light".

IV: First Light mit Ansaugkassette

In der Neumondphase Anfang September 2005 fuhr ich für zwei Wochen an die Sternwarte Königsleiten, wo der GFA mit der Ansaugkassette am 31.8./1.9.2005 sein zweites First Light hatte.

Selbstbauprojekt GFA - Ein Großfeld-Astrograph für das Format 4 x 5"



Selbstbauprojekt GFA - Ein Großfeld-Astrograph für das Format 4 x 5"

Beim Scan eines 4 x 5"-Negativs entstehen Bilddateien von rund 140 MB (unkomprimiert): Immerhin entspricht die Fläche eines 4x5"-Planfilms der von 12 Kleinbildaufnahmen. Die Bildbearbeitung erforderte daher ziemlich viel Rechenzeit. Die ersten beiden Objekte waren M 31 und M 33, die beide zusammen ins Bildfeld passen:



M 31/M 33 im GFA, 45 Min. belichtet auf Kodak Portra 400; Königsleiten, 1.9.2005

Selbstbauprojekt GFA - Ein Großfeld-Astrograph für das Format 4 x 5"

Hier ein Bildausschnitt in Originalauflösung:



Erkennbarerweise war die Schärfe noch nicht optimal. Der GFA musste daher nochmals justiert werden, und zwar auf der Filmebene und nicht auf der Mattscheibe des Kassettenrückteils. Ebenfalls erkennbar ist eine gewisse Bildfelddrehung in den Bildecken. Da Koma weitgehend ausgeschlossen werden kann, musste die Verbindung zwischen Leitrohr und GFA-Gehäuse verbessert werden. Auch der billige China-FH-Refraktor als Leitrohr wurde ausgetauscht.

V: Weitere Verbesserungen

Bisher war der GFA nur auf der Ebene der Klarglasscheibe justiert worden. Da diese Ebene offenbar nicht identisch mit der Filmebene war, lag die Schärfe leicht daneben. Darum beschloss ich, die Justage des Objektivs auf einem Autokollimator direkt auf der Filmebene vorzunehmen. Im Filmkameraverleih der Firma Arnold & Richter ließ man mich freundlicherweise im August 2007 an einem Kollimator arbeiten.

Selbstbauprojekt GFA - Ein Großfeld-Astrograph für das Format 4 x 5"



Bei dieser Kollimation projiziert ein auf unendlich justiertes Fernrohr (oben, weiß) ein Testmuster in das Objektiv, welches hinten auf der Filmebene scharf erscheinen muss. Die Lage dieses Testbildes auf dem Planfilm konnte durch den geöffneten Deckel gut kontrolliert werden. Eine eingebaute Videokamera (oben, schwarz) bringt das Abbild des Testmusters auf einen Monitor, wo seine Schärfe gut beurteilt werden kann.

Selbstbauprojekt GFA - Ein Großfeld-Astrograph für das Format 4 x 5"

Aufgrund der Justagevorrichtung für das Objektiv mit vier Verstellerschrauben und vier Kontermuttern dauerte dies rund eine Stunde, doch das Bild soll ja nicht nur in der Mitte scharf sein, sondern auch an den Rändern.

Außerdem wurde als Ersatz für das ursprüngliche 50/600mm-Leitrohr samt seiner wenig präzisen Halterung eine Klemmvorrichtung für die Vixen-Schiene angesetzt, auf der dann dasselbe Leitrohr wie für meinen ANT eingesetzt wird, ein 70/900mm-FH-Refraktor von Vixen. Dieses deutlich längere Rohr steht zwar vorne ein Stück über, behindert den Strahlengang des GFA aber trotzdem nicht. Statt über ein Fadenkreuzokular geschieht die Nachführung nun über meine Nachführkamera und den Laptop. Derart aufgerüstet fuhr ich im September 2007, zusammen mit Matthias Knülle, erneut nach Königsleiten...

Literatur:

> Klaus Traving: „Großformatastrograph“ in: ***Sterne und Weltraum*** **7/2000**

> Stefan Kunz: „Blenden im Refraktor“ in: ***VdS-Journal*** **II/2002**

Peter C. Slansky

27.9.2007

<http://www.peter-slansky.de/bereiche/astronomie/aufnahmetechniken/aufnahmetechniken05.html>

Selbstbauprojekt GFA - Ein Großfeld-Astrograph für das Format 4 x 5"



Plejaden und Hyaden im GFA, 48 Min. auf Kodak Portra 400; Königsleiten, 14.9.2007