

Projekt CSFR - Bau eines chromatischen Sonnen- Faltrefraktors



Teil I: Grundüberlegungen

Im Frühjahr 2005 – meine anderen beiden Selbstbauprojekte ANT und GFA waren noch in Arbeit – kam mir die Idee zu einem fotografischen Sonnenteleskop, dessen optisches System lediglich aus einer einzelnen Sammellinse mit einem einfach gefalteten Strahlengang bestehen sollte. Das entscheidende Konstruktionsmerkmal, das ich so auch noch bei keinem anderen Teleskop gesehen hatte, ist die Verwendung eines Glasprismas anstelle eines Umlenkspiegels, wobei das Glasprisma den größten Anteil des Sonnenlichts seitlich aus dem Tubus ausspiegelt. Es wirkt damit ähnlich wie ein Herschelkeil. So taufte ich meine Konstruktion "CSFR": Chromatischer Sonnen-Falt-Refraktor.

Was sollte der CSFR leisten?

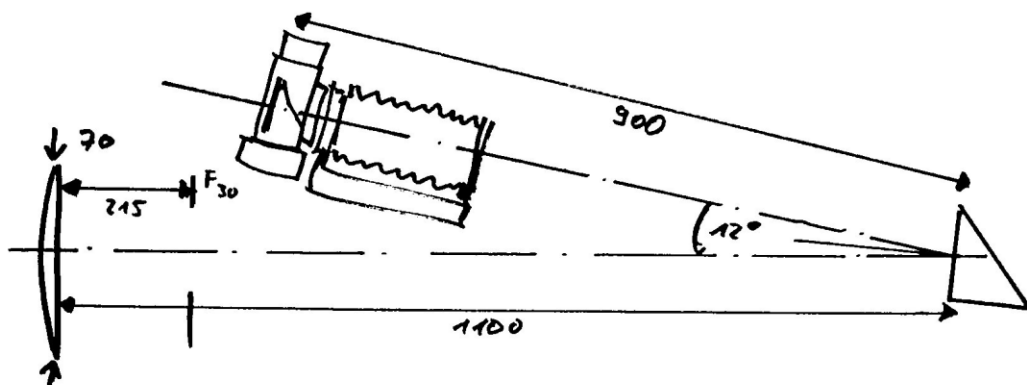
Ziel sollte sein, die Sonnengranulation aufzulösen.

Bei Verwendung einer einzelnen Linse lässt sich natürlich der auf der Dispersion des Glases beruhende Farbfehler nicht korrigieren. Das ist aber auch gar nicht nötig, wenn man sich auf einen engen Wellenlängenbereich beschränkt. Ein für die Sonnenbeobachtung besonders geeigneter Schmalbandfilter ist der "Solar-Kontinuum Filter" der Firma Baader. Er hat bei einer Wellenlänge von 540 nm (Grün) eine Halbwertsbreite von 8 nm.

Meine erste Skizze des CSFR sah so aus:

CSFR:Chromatischer Sonnen-Faltrefraktor

Peter C. Slansky
15.5.2005



Ursprünglich wollte ich als Objektiv ein einfaches Brillenglas verwenden. Ein Besuch bei einem Augenoptiker – es war der erste meines Lebens, denn ich trage keine Brille – ergab, dass Brillengläser von der Firma Zeiss mit Brechkraften von 1, 0.75, 0.5 und 0.25 Dioptrien bei einem maxi-

Projekt CSFR - Bau eines chromatischen Sonnen-Faltrefraktors

malen Durchmesser von 70 mm gefertigt werden. Diese Brechkräfte entsprechen Brennweiten von 1000 mm, 1333 mm, 2000 mm bzw. 4000 mm. Gewählt wurden zunächst 2000 mm. Hierbei ergibt sich eine Abbildung der Sonnenscheibe mit einem Durchmesser von 19 mm in der Filmebene, was gut in das Kleinbildformat von 24 x 36 mm hinein passt.

Allerdings hatte mir die Handhabung eines 2 m langen und sehr dünnen Teleskoptubus mit der Aussicht, auf dem Boden liegend durch den Kamerasucher am Rohrende blicken zu dürfen, von Anfang an nicht gefallen. Als Lösung bot sich ein gefalteter Strahlengang an. Während beim Schaer-Refraktor der Strahlengang Z-förmig, d.h. zweifach gefaltet wird, entschied ich mich für eine einfache Faltung nach Nemec, mit nur einem, leicht schräg stehenden, Planspiegel. Hierdurch reduziert sich die Tubuslänge auf etwa die Hälfte der Brennweite. Der Einblick erfolgt von oben her nach unten in Richtung des Spiegels, d.h. von der Sonne weg. Durch die lange Brennweite kann die Winkelung des Strahlengangs, die bei zunehmender Schräge zu stärkerem Astigmatismus führt, vergleichsweise gering gehalten werden.

Als eigentlicher Clou meiner Konstruktion wird beim CSFR der Planspiegel als Glasprisma ausgeführt. Dadurch werden nur rund 4 % des Sonnenlichts reflektiert und die anderen 96 % durch eine seitliche Öffnung am hinteren Tubusende nach außen abführt. Damit entfällt der Sonnenfilter vor dem Objektiv und die Zahl der Glas-Luft-Flächen im Strahlengang wird gering gehalten. Zum Vergleich: ein Fraunhoferrefraktor mit einem Objektivsonnenfilter kommt (ohne weitere Filter) auf insgesamt sechs Glas-Luft-Flächen - gegenüber nur dreien meines CSFR.

Noch eine weitere Idee wurde von Anfang an in die Konzeption aufgenommen: statt eines klassischen Okularauszugs, der bei einer Beladung mit Kamera, Filterschubladen und eventuellen Projektionsadaptern stark biegebelastet sein würde, sollte die Auszugsverstellung über ein fest mit dem Tubus verbundenes Balgengerät bestehen.

Bei der Bestellung des Brillenglases erlebte das Projekt CSFR einen ersten Rückschlag: Brillengläser werden üblicherweise konkav-konvex ausgeführt. Was für den Strahlengang des Auges günstig ist, ist für den Strahlengang eines Teleskops aber ungünstig. So machte ich mich auf die Suche nach einer plankonvexen Linse mit 2000 mm Brennweite und einem Durchmesser von 80 mm. Diese Suche dauerte mehrere Wochen. Sechs Firmen in Deutschland hätten eine solche Linse liefern können, doch die Preise differierten gewaltig, je nach dem, ob es sich um einen Sortimentsartikel oder um eine Sonderanfertigung handelte: Das günstigste Angebot lag bei 165.- € für eine unvergütete und das teuerste bei über 1700.- € für eine vergütete Linse...

Projekt CSFR - Bau eines chromatischen Sonnen-Faltrefraktors

Doch dann nahte unverhofft die Lösung: von einem Kameramann und Kameratechniker, erhielt ich eine Nahlinse einer russischen 16mm-Filmkamera vom Typ Krasnogorsk. Es ist eine unvergütete Linse mit genau 1734 mm Brennweite in einer Fassung mit Filtergewinde E 77. Der freie Linsendurchmesser beträgt genau 71 mm. Perfekt. Damit konnte es an die Berechnung und an die Konstruktion gehen.



Teil II: Berechnung

Die Strukturgröße der Sonnengranulation bewegt sich in der Größenordnung von 1 bis 2,5 Bogensekunden. Bei einer beugungsbegrenzt arbeitenden Optik lässt sich die erforderliche Öffnung über folgende Formel berechnen:

$$a ["] = l [\text{nm}] / (D [\text{mm}] * 4)$$

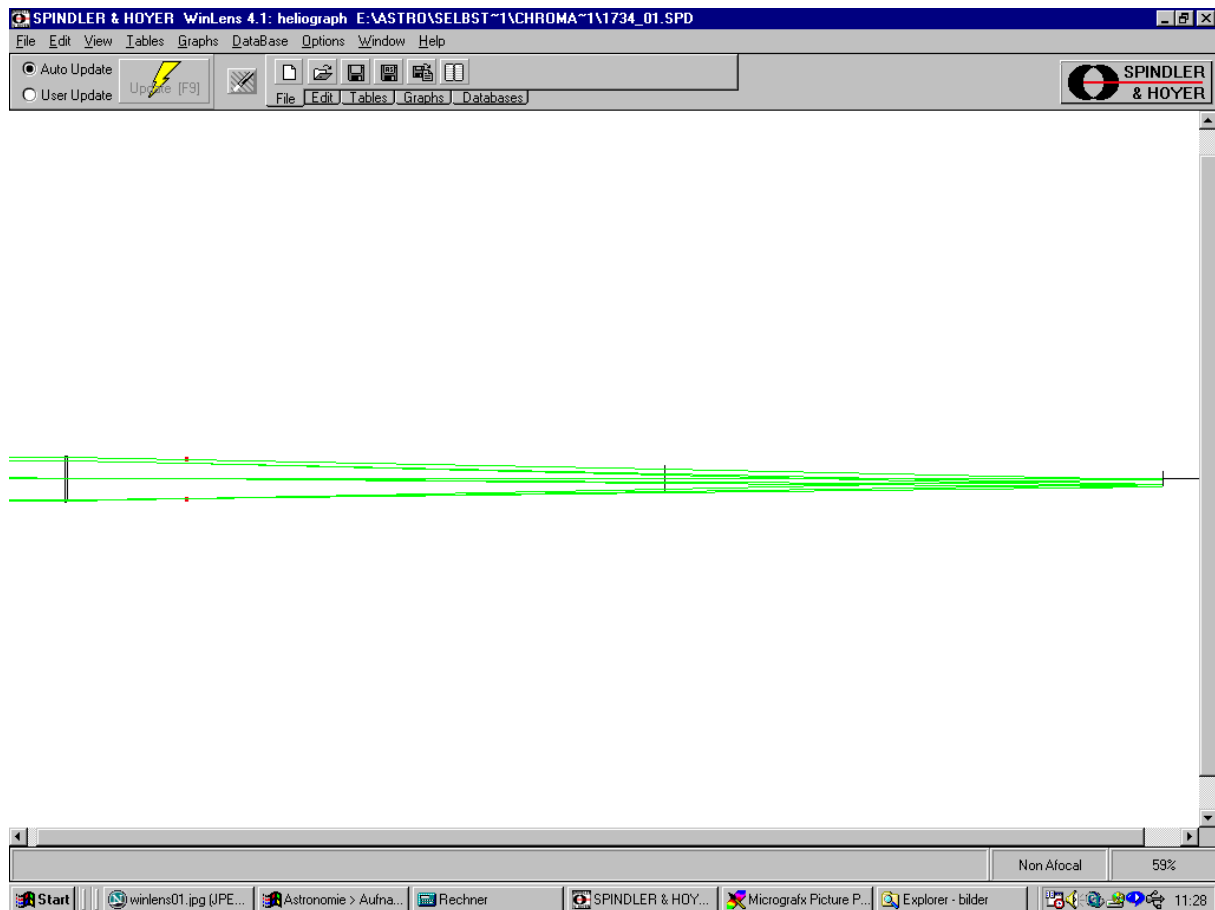
Hierbei ist a das Auflösungsvermögen in Bogensekunden, l die Wellenlänge in Nanometer und D der Durchmesser der Eintrittspupille in mm.

Bei einer Wellenlänge von 540 nm und einem freien Linsendurchmesser von 71 mm ergibt sich ein beugungsbegrenztes Auflösungsvermögen von 1.9". In Anbetracht des am Tage oftmals schlechteren Seeings sollte dies gerade ausreichen.

Mit dem Optik-Programm *WinLens* berechnete ich den Strahlengang bei Verwendung des Baader Solar-Kontinuum-Filters. Durch eine um 187 mm nach hinten verlegte Aperturblende wird die Koma exakt auf Null redu-

Projekt CSFR - Bau eines chromatischen Sonnen-Faltrefraktors

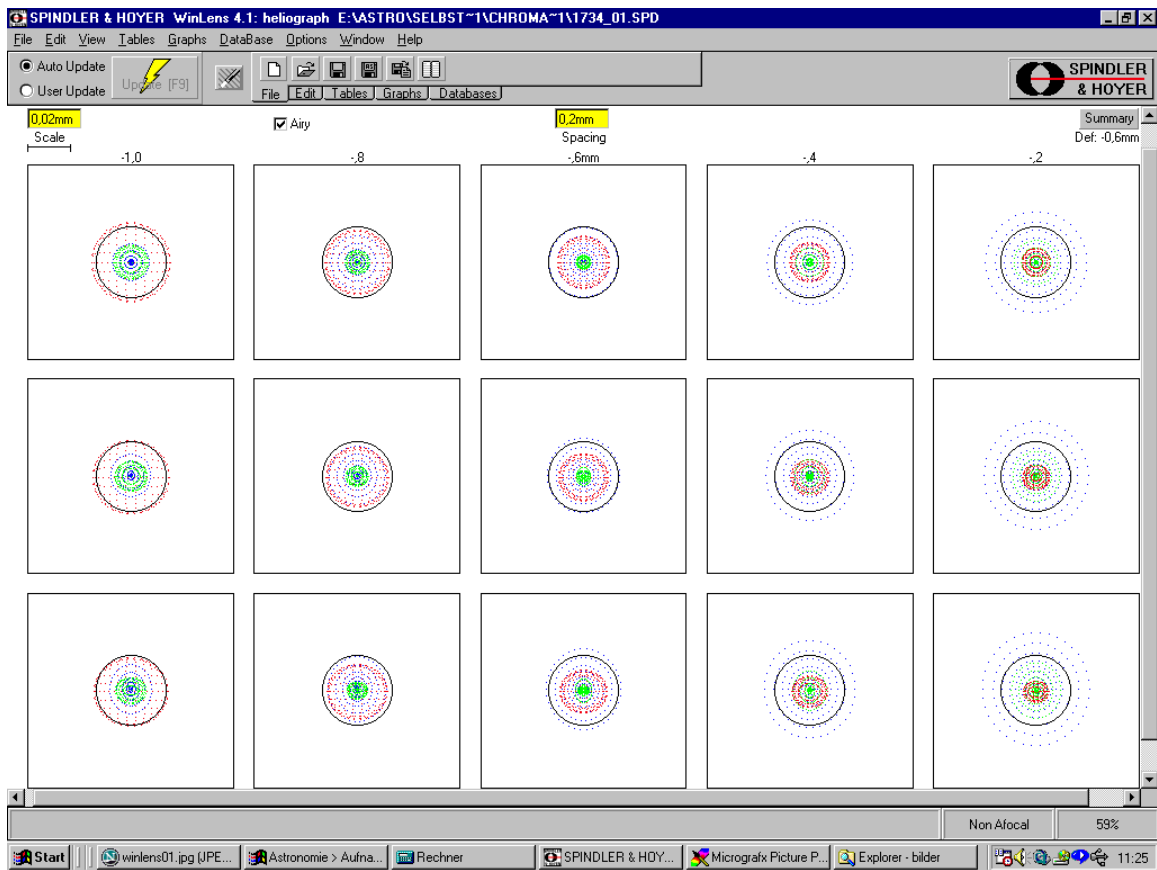
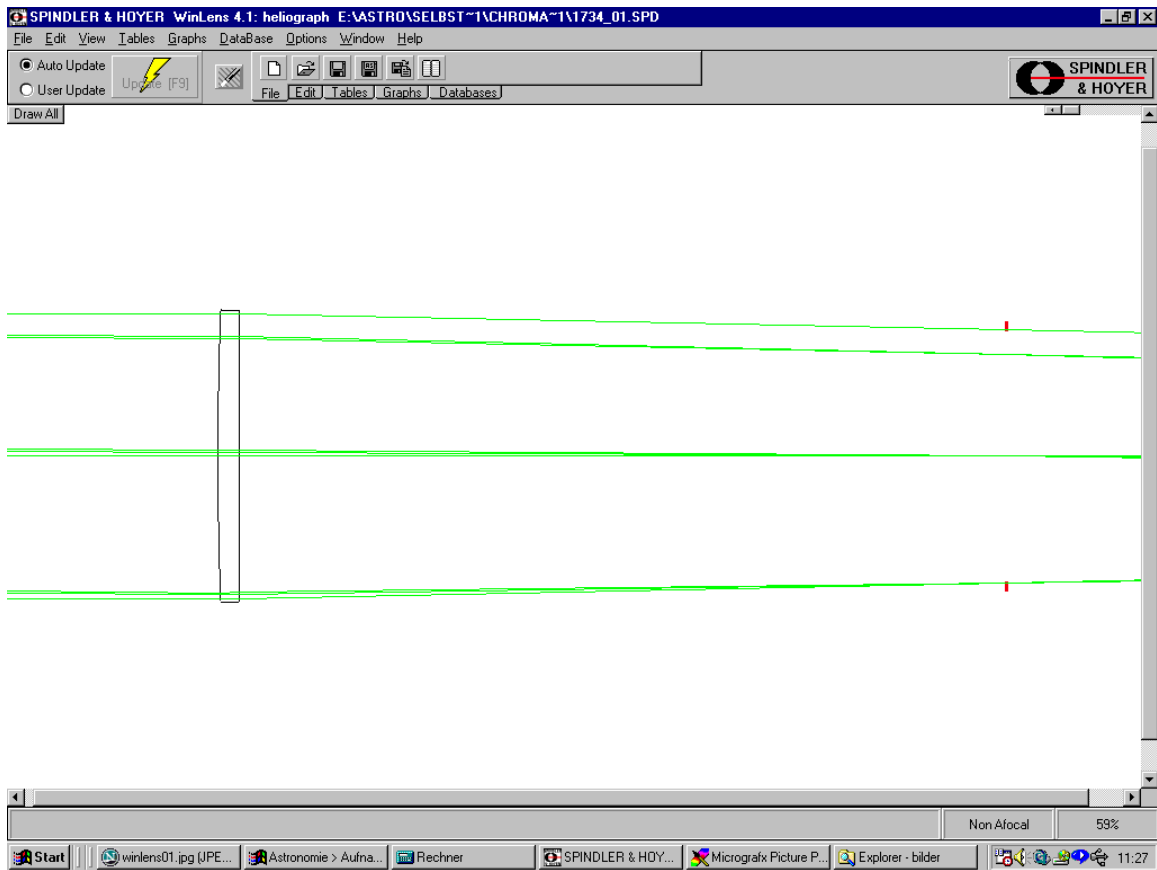
ziert. Im Endergebnis ist innerhalb der Halbwertsbreite des Filters von 8 nm der verbleibende Farbfehler, der Astigmatismus und die Bildfeldwölbung kleiner als das Airy-Scheibchen. Das heißt, die Optik arbeitet tatsächlich beugungsbegrenzt.



Da das Programm *WinLens* leider keine schräg stehenden optischen Flächen darstellen kann, markiert die senkrechte Linie in der Bildmitte die Lage und Größe des Prismas.

Die Aperturblende liegt 187 mm hinter der Linse. Dadurch verlaufen die Strahlenbündel zum Bildrand durch einen anderen Kreisabschnitt der Linse als das paraxiale Strahlenbündel. Die Koma wird Null und der Astigmatismus liegt innerhalb der Beugungsgrenze.

Projekt CSFR - Bau eines chromatischen Sonnen-Faltrefraktors



Projekt CSFR - Bau eines chromatischen Sonnen-Faltrefraktors

Auf dem Spotdiagramm ist in der zweiten Spalte von Links zu erkennen, dass bei Verwendung des Solar-Kontinuum-Filters auch die chromatische Aberration innerhalb des Airy-Durchmessers liegt. Der grüne Kreis markiert 540 nm, der blaue Kreis 536 nm und der rote Kreis 544 nm.

Wegen der asymmetrischen Tubuskonstruktion und aufgrund der bereits bei den beiden anderen Selbstbauteleskopen GFA und ANT gemachten Erfahrungen entschied ich mich wieder für einen verleimten Sperrholztubus mit rechteckigem Profil. Weil das Instrument nicht nur auf meiner schweren Lichtenknecker M 100 B, sondern auch auf der Vixen GP einsatzfähig sein sollte, wurde Birken-sperrholz mit einer Wandstärke von nur 2 mm und eine konsequente Leichtbauweise mit Verstreben aus Kiefernleisten gewählt.

Technische Daten CSFR:

Teleskoptyp	einlinsiger, chromatischer Faltrefraktor
Objektiv	unvergütete, plankonvexe Nahlinse einer 16mm-Filmkamera vom Typ Krasnogorsk
freier Linsendurchmesser	71 mm
Brennweite	1734 mm
relative Öffnung	1:24
Faltungswinkel	12°
maximales Bildformat	24x36 mm
vignettierungsfreier Bildfelddurchmesser	30 mm
Mittlerer Sonnenbilddurchmesser	ca. 17 mm
Fokussierer	Canon FD Balgengerät
Blendensystem	7 Blenden
Tubusinnenmaße	96x96 mm
Tubusaußenmaße	100x220x1000 mm
Material des Tubus	Birkensperrholz 2 mm, Kieferleisten, Aluprofilleisten
Gewicht OTA	2.0 kg
Gewicht inkl. Bandpassfilter und aufnahmefertiger KB-Kamera	2.8 kg
Bauzeit	Mai 2005 bis Mai 2008
Materialkosten insgesamt	ca. 235.- €

Teil III: Konstruktion

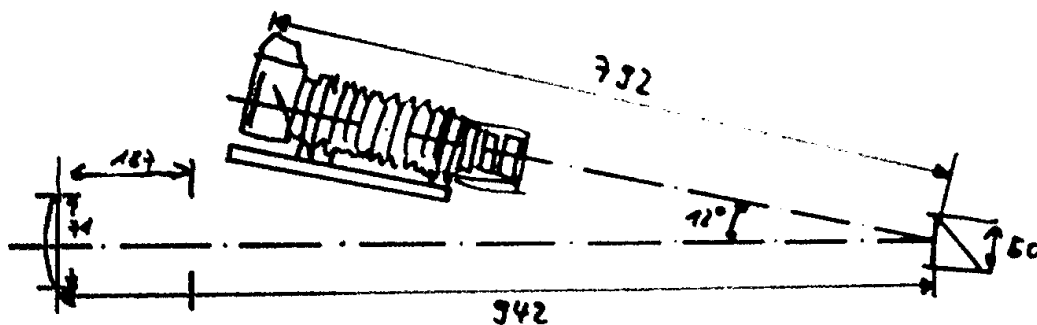
Chromatischer Faltrefraktor für die Sonnenfotografie

Nr. 2

$f = 1734 \text{ mm}$

$D = 71 \text{ mm}$

11.6.2005



Peter C. Slansky

Zu den grundsätzlichen Vorüberlegungen gehörte noch eine Berechnung der fotometrischen Rahmenbedingungen für die Sonnenfotografie. Wegen des am Tage meist schlechteren Seeings sind in der Sonnenfotografie Belichtungszeiten kürzer als $1/250$ Sek. erwünscht. Dadurch reduziert sich die Skala der Belichtungszeiten bei vielen KB-Kameras auf nur 2-3 Werte ($1/250$ Sek. bis $1/1000$ Sek.). Die Belichtung muss daher durch DämpfungsfILTER voreingestellt werden. Hierzu sah ich von vornherein eine Filterbox mit drei Einschüben vor: für den Schmalbandfilter und für ein Doppel-polfilter. Mit den beiden Polfiltern kann eine stufenlose Lichtdämpfung erzielt werden, indem man den ersten Polfilter gegen den zweiten verdreht.

Ein spezielles Problem bei Sonnenbeobachtungen sind thermische Turbulenzen im Tubusinnern aufgrund der hohen Lichtmenge. Bei meiner Konstruktion verspricht dieses Problem gering zu bleiben. Zunächst einmal ist wegen der langen Brennweite die Lichtkonzentration gering: Das Sonnenlicht konzentriert sich von 71 mm Durchmesser an der Linse auf rund 44 mm am Faltungspunkt des Strahlengangs, d.h. am Prisma. Nur die verbleibenden 4 % des Lichts konzentrieren sich auf das Sonnenbild mit seinen rund 17 mm Durchmesser in der Filmebene.

Teil IV: Bau des Tubus



Auf dem Bild oben sind alle Holzteile des CSFR zu sehen. Die Spanten mit den Blenden sind bereits mit der einen Seitenwand verleimt. Noch fehlen die Linse und das Prisma sowie die Aluminiumteile, in denen diese montiert werden.

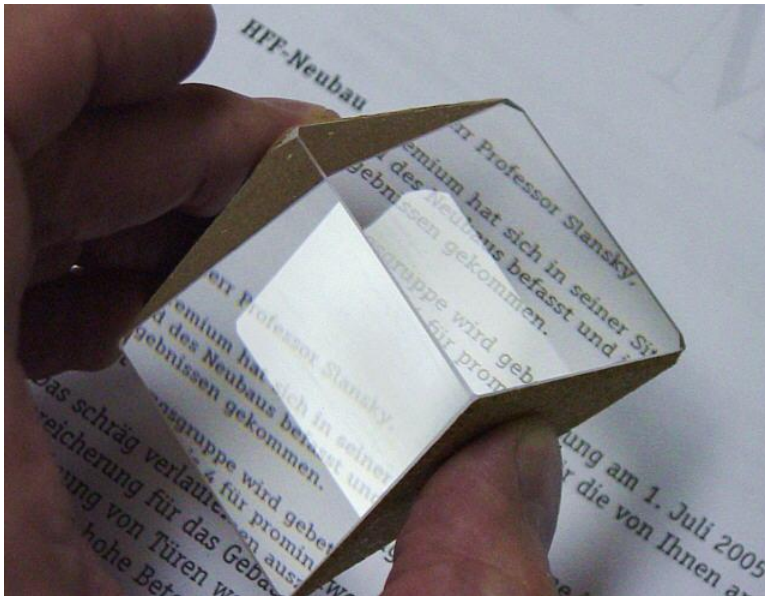
Statt eines Fokussierers wird ein Canon FD Balgengerät verwendet. Die Größe des Balgengeräts erklärt auch die asymmetrische Faltung des Strahlengangs mit dem relativ großen Faltungswinkel von 12° . Diese Konstruktion hat zwei Vorteile: erstens treten am Tubus keine vom Auszug abhängigen unterschiedlichen Biegemomente auf und zweitens ist der Einblick in die Kamera der Sonne abgewandt, so dass das Fokussieren nicht durch Blendung erschwert wird. Unterhalb des Tubus die Original Konstruktionszeichnung im Maßstab 1:1 - auf Packpapier...

Projekt CSFR - Bau eines chromatischen Sonnen-Faltrefraktors



Die Linse mit einem freien Durchmesser von 71 mm und einem Schraubgewinde E 77. Unten links ist am 2. Spant die schwarze Aperturblende zu sehen; unten rechts der geschlossene, noch nicht lackierte Tubus.

Projekt CSFR - Bau eines chromatischen Sonnen-Faltrefraktors



Das Prisma mit einem Kathetenmaß von 45x45 mm. 4% des von der Linse gebündelten Sonnenlichts werden an der ersten Kathete in Richtung Kamera gespiegelt. Die restlichen 96% treffen auf die Hypothense und treten aufgrund der Totalreflexion durch die zweite Kathete hindurch und durch eine Öffnung im Boden des Tubus aus dem Teleskop aus.

Beim First Light stellte sich dann heraus, dass ein symmetrisches Prisma mit $2 \times 45^\circ$ immer ein Doppelbild produziert und damit nicht brauchbar ist. Es musste ein anderes Prisma gefunden werden.

Teil V: Fertigstellung des Tubus und Justage



Projekt CSFR - Bau eines chromatischen Sonnen-Faltrefraktors

Die Fassung der Objektivlinse besteht aus blankem Aluminium, um eine möglichst hohe Abstrahlung und eine geringe Aufheizung der Linse durch das Sonnenlicht zu bewirken. Aus dem gleichen Grund wird die schwarze Linsenfassung zur Sonne hin durch einen blanken Aluminiumring abgeschattet.

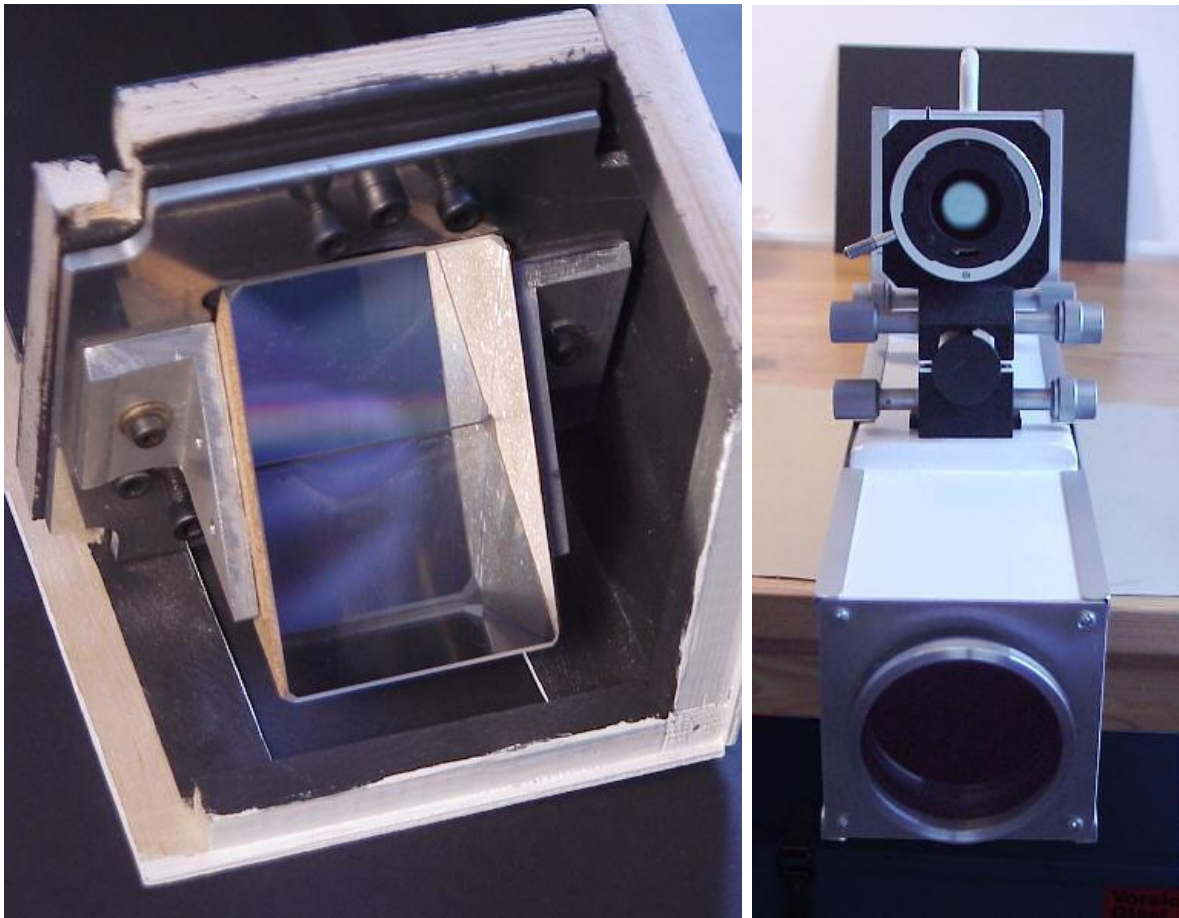


Die Fassung für die beiden vergüteten Polfilter wurde aus einem 25mm-Zwischenring des Canon FD-Systems gefräst. Für den Schmalbandfilter wurde ebenfalls eine Halterung angefertigt. Die beiden Polfilter sind über Winkelskalen gegeneinander verstellbar und dienen am CSFR der stufenlosen Helligkeitsregulierung. Sie sind aber an anderen Teleskopen auch für andere Zwecke einsetzbar. So hatten sie ihren ersten Einsatz bei Aufnahmen der Sonnenkorona bei der Sonnenfinsternis 2006.

Der nächste Arbeitsschritt war die Justage des Prismas. Die Faltung des Strahlengangs muss schließlich exakt stimmen. Das nächste Foto zeigt die Halterung des ursprünglichen Prismas - inzwischen wurde es überarbeitet - mit den drei Justageschrauben und vier Gegenschrauben. Für das Foto wurde die Aluminiumhalterung noch blank gelassen, danach wurde auch sie mattschwarz gestrichen.

Erst nach der Justage wurde der Tubus endgültig verleimt und das Balgengerät, die Linsenfassung und die GP-Prismenschiene montiert. Als letztes erhielt der Tubus noch L-Profilleisten aus blankem Aluminium als Kantenschutz.

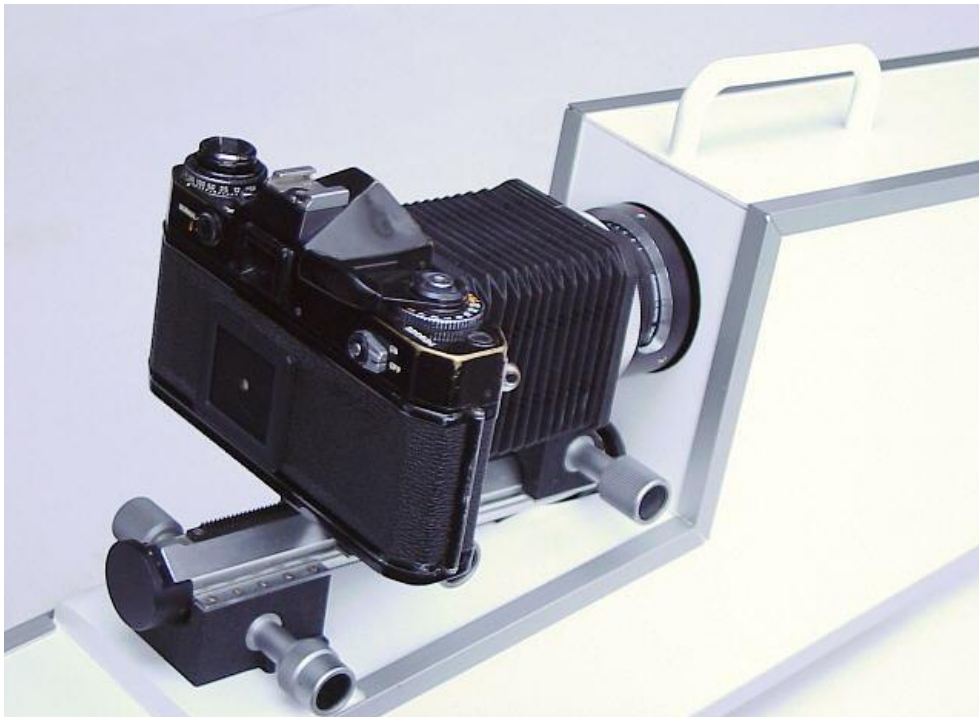
Projekt CSFR - Bau eines chromatischen Sonnen-Faltrefraktors



Rechts sieht man die Justage nach Mittigkeit des Spiegelbilds der Linse im Prisma.

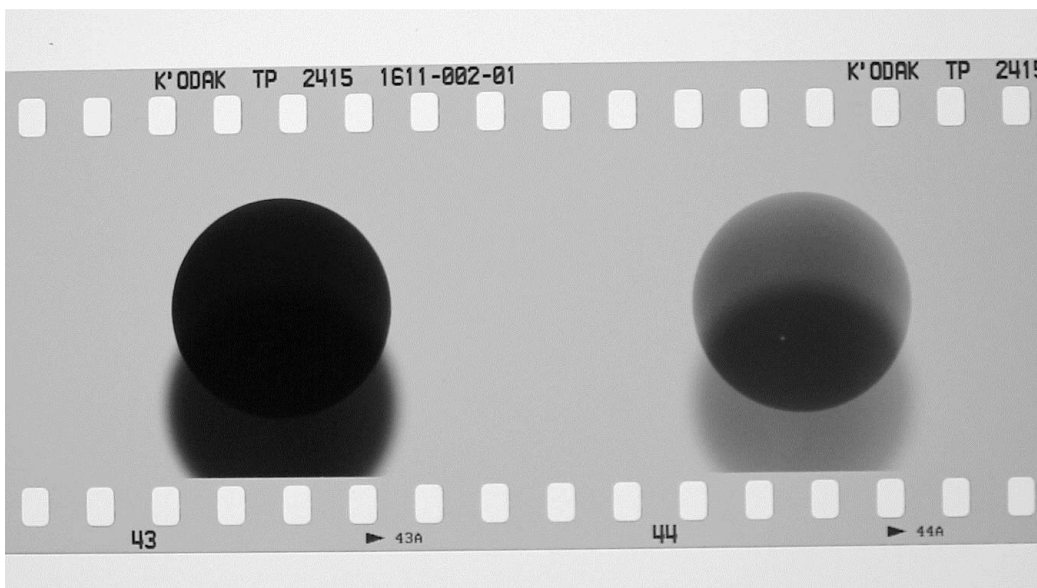
Am 27. Mai 2006 war mein **70mm-CSFR** dann, nach ziemlich genau einem Jahr, endlich fertig. Zumindest dachte ich das damals. Doch beim First Light stellte sich heraus, dass die Konstruktion überarbeitet werden musste...

Teil VI: Das "fertige" Teleskop

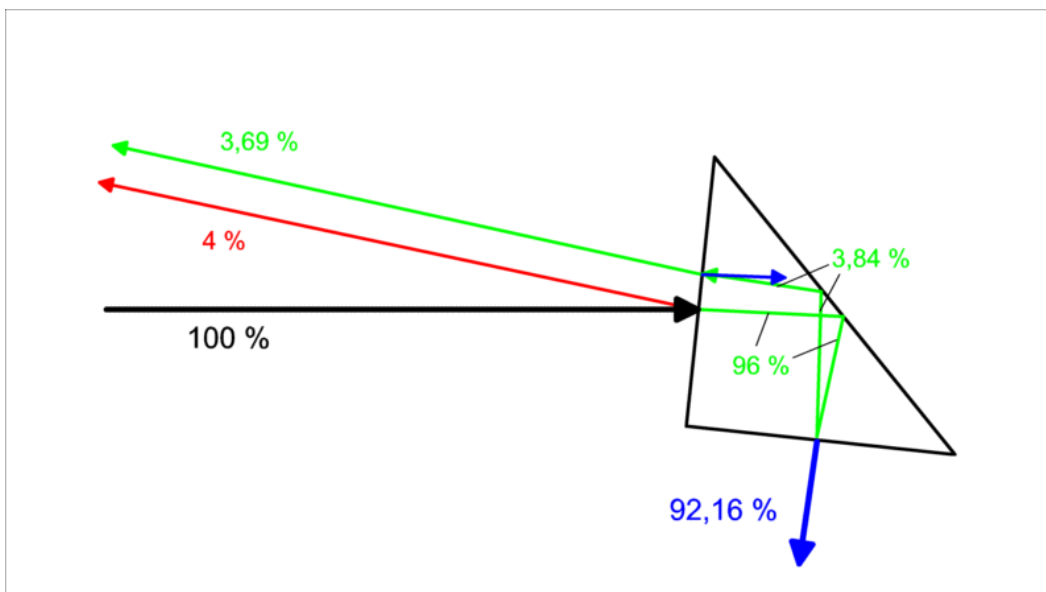


Teil VII: First Light - Problem und Lösungsansatz

Am 2.7.2006 war es so weit: Der CSFR hatte sein First Light. Dieses war in den Wochen vorher immer wieder verschoben worden, da entweder das Wetter oder mein Terminkalender nicht mitspielen wollten. Leider erwies bereits der erste Blick durch den Sucher, dass die Konstruktion überarbeitet werden musste. Wie man auf dem First-Light-Foto unschwer erkennen kann, lag über dem eigentlichen Sonnenbild leicht versetzt ein unscharfes Doppelbild:

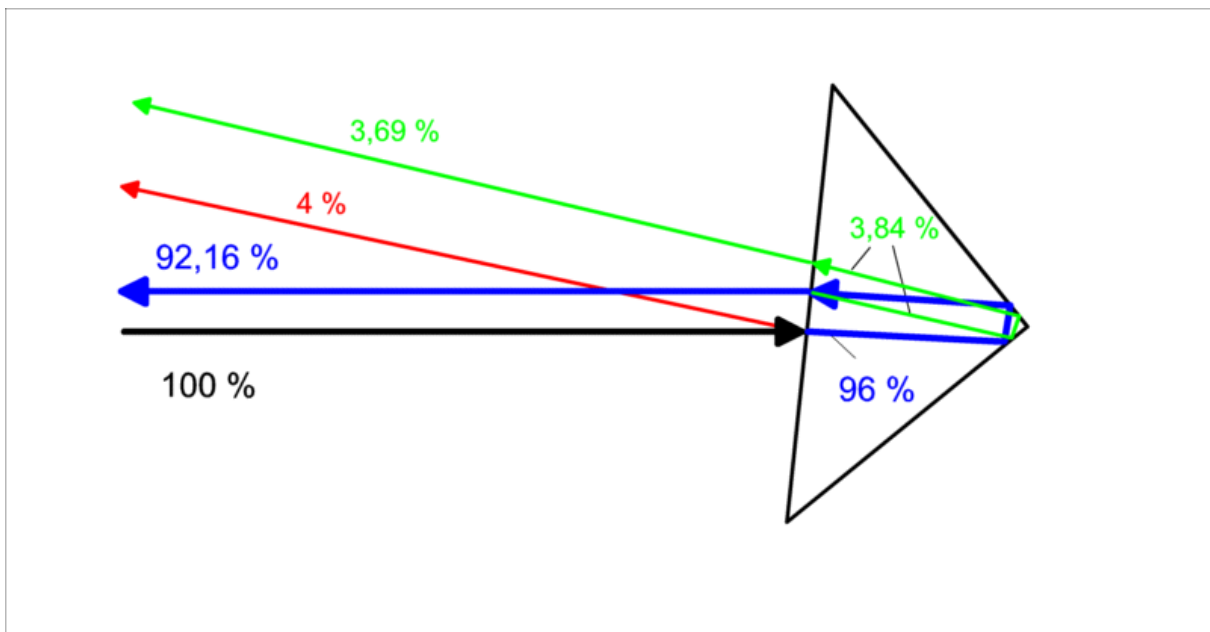


Verursacht wird das Doppelbild durch die Symmetrie des $2 \times 45^\circ$ -Prismas:



Vorne fallen 100 % des Sonnenlichts auf die erste Kathetenfläche des Prismas (schwarzer Strahl). Da das Prisma unvergütet ist, werden an der ersten Grenzfläche ca. 4 % des Lichts zur Kamera hin reflektiert (roter Strahl), während 96 % auf die Hypothenusenfläche des Prismas fallen (grün). Wegen des Auftreffwinkels von etwa 41° findet dort Totalreflexion statt und die 96 % gelangen zur zweiten Kathetenfläche unten. Dort tritt das Licht nun leider **nicht vollkommen** aus dem Prisma (und damit aus dem Teleskop) aus, sondern nur zu 96 % von 96 %, also 92,16 % (blauer Strahl)! 4 % von 96 % des Lichts, also 3,84 % werden wieder zurück reflektiert (grün). Über eine weitere Totalreflexion an der Hypothenusenfläche gelangt dieses Licht wieder zur ersten Kathetenfläche. Dort werden 96 % der 3,84 %, also 3,69 % hindurchgelassen und leicht versetzt, aber parallel zum roten Strahl, in Richtung Kamera geworfen (grün). So erklärt sich die große Helligkeit des Doppelbildes, das fast genau so hell ist wie das Hauptbild: 3,69 % gegenüber 4 % des Sonnenlichts. Die Unschärfe des Doppelbildes ergibt sich aus der größeren Weglänge des grünen Strahls durch das Prisma gegenüber dem roten Strahl.

Hinweisen von Matthias Knülle und Wolfgang Lille folgend, baute ich das Prisma testweise anders herum ein, so dass nun die Hypothenusenfläche zum Objektiv zeigte. Doch wieder ergab sich ein gleich helles Doppelbild, das lediglich etwas größer und unschärfer war als zuvor. Im Prinzip bleibt das Problem nämlich genau das gleiche:



Das Problem des Doppelbildes ist der Verwendung eines symmetrischen $2 \times 45^\circ$ -Prismas immanent und hätte daher bei richtiger Vorüberlegung erkannt und vermieden werden können.

Projekt CSFR - Bau eines chromatischen Sonnen-Faltrefraktors

Als Lösungen boten sich folgende Ansätze an:

Verwendung eines anderen, asymmetrischen Prismas, etwa eines Herschelprismas

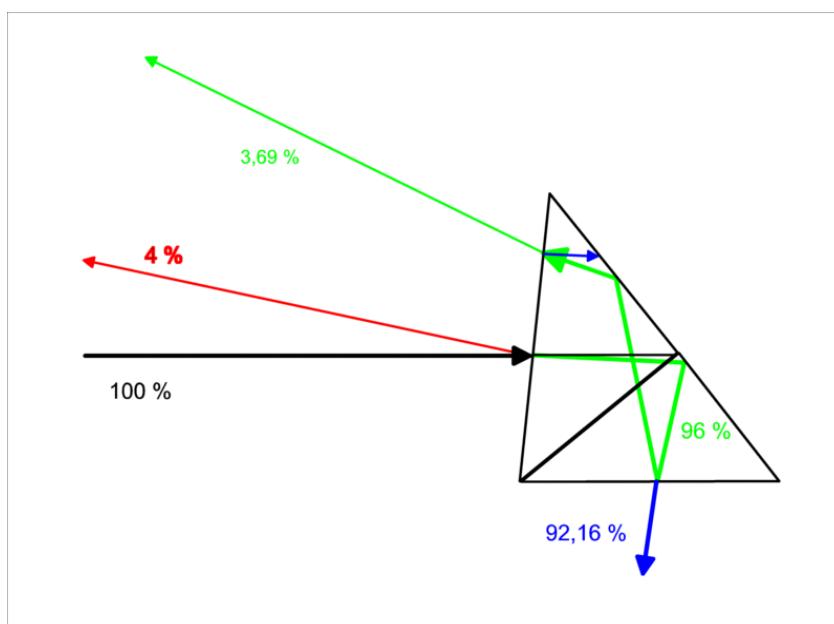
1. Auffügen eines asymmetrischen Glaskeils auf eine Kathetenfläche des vorhandenen Prismas
2. Auffügen einer Plankonvex- oder Plankonkavlinse auf eine Kathetenfläche des vorhandenen Prismas
3. Asymmetrisches Abschleifen des vorhandenen Prismas

Diese Ansätze erhielten den Clou der Konstruktion, nämlich dass 96 % des Sonnenlichts *hinten* wieder aus dem Tubus austreten.

Andere Ansätze waren:

4. Schwärzen der beiden Kathetenflächen des Prismas und Anbringung von Kühlkörpern sowie eventuell eines Lüfters am Tubusende
5. Verwendung eines Planspiegels statt eines Prismas, kombiniert mit einem Sonnenfilter vor dem Objektiv

Diese beiden Ansätze verließen das ursprüngliche Konzept und schieden daher aus. Am günstigsten erschien zunächst Ansatz 2: Es wird zwar, wie bei (1), ein neues Prisma benötigt, doch musste dieses, anders als bei (1), keine hohe Qualität haben, da es nur den **ausfallenden Lichtanteil** beeinflusst und nicht das Bild selbst. Ursprünglich nahm ich an, hierfür auch ein Prisma aus Acrylglas, das relativ billig zu haben gewesen wäre, nehmen zu können. Doch schied diese Lösung aus, da an dem Übergang Glas/Acryl wieder eine Reflexion auftreten würde, die zu einem Doppelbild geführt hätte. Das Zusatzprisma müsste aus der selben Glassorte sein. Nachfolgend der zeichnerisch/rechnerisch ermittelte Strahlengang für ein aufgesetztes 39°/51°- Prisma:



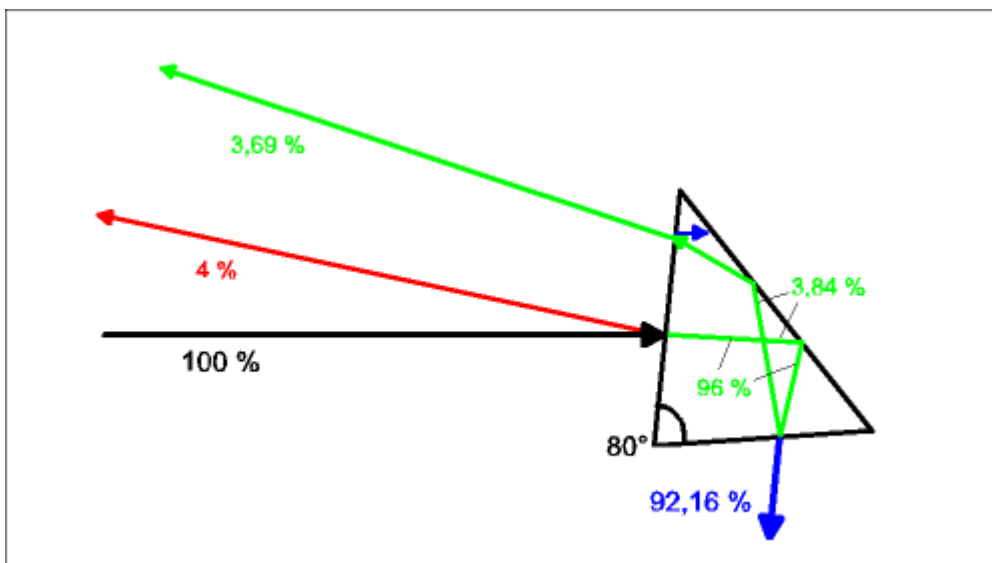
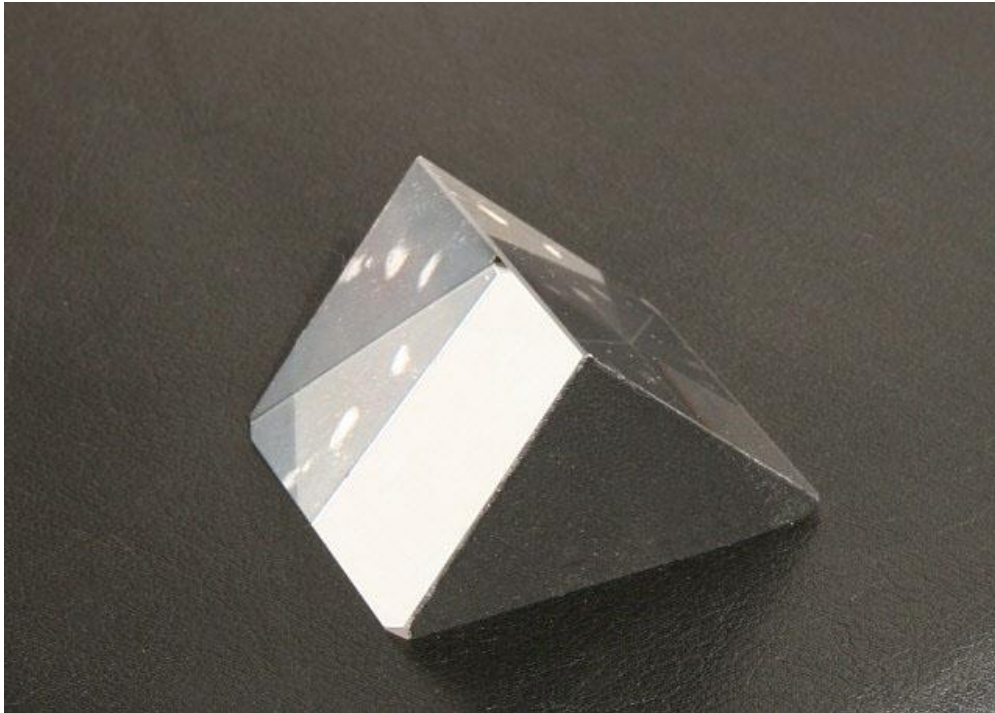
Projekt CSFR - Bau eines chromatischen Sonnen-Faltrefraktors

Wie man sieht, tritt das Doppelbild unter einem etwa 14° steileren Winkel aus dem ersten Prisma aus und verschwände daher in der Schwärzung der Tubusinnenwand. Doch gilt es, die Kosten gegenüber Lösung 1 abzuwägen: statt eines zusätzlichen Prismas kann man nämlich gleich ein neues, reinrassiges Herschelprisma verwenden. Das aber war mir zu teuer. So wurde versuchsshalber Lösung 3 beschrrieben: das Auffügen einer Plankonvexlinse auf das vorhandene Prisma. Eine solche Linse hatte Matthias Knülle nämlich noch in einer seiner famosen Wühlkisten: die Kondensorlinse eines Diaprojektors. Diese hatte eine sehr starke Wölbung und dementsprechend eine sehr kurze Brennweite. Dadurch wird das Doppelbild stark defokussiert. Am 4.11.2006 machte ich den Versuch, mit einem kleinen Tropfen Öl.



Doch das Doppelbild erschien nach wie vor, wenn auch deutlich dunkler. Offenbar reflektierte die Fügefläche zwischen Prisma und Linse immer noch zu sehr; wahrscheinlich waren die Glassorten unterschiedlich. So blieb Lösungsansatz 4, das asymmetrische Abschleifen des Prismas. Hierfür benötigte ich professionelle Unterstützung: Ein Optiker der Firma Arnold & Richter Cinetechnik schliff mir mein Prisma an der einen Kathete um 10° ab. Außerdem wurde seitlich schwarzer Samt aufgefögt. Damit ist das Prisma jetzt asymmetrisch mit Winkeln von $45^\circ - 80^\circ - 55^\circ$. Das Geisterbild fällt nun unter einem anderen Winkel aus als das Hauptbild:

Projekt CSFR - Bau eines chromatischen Sonnen-Faltrefraktors



Nach dem Einbau und der erneuten Justage des Prismas hatte der CSFR dann am 14.9.2007 auf der Sternwarte Königsleiten sein Second Light.

Teil VIII: Second Light

Am 14.9.2007 hatte der überarbeitete CSFR dann in Königsleiten sein Second Light. In der Nachmittagssonne zogen leider ständig Wolken vor der Sonne durch. Das Seeing war dementsprechend mäßig; die Sonne selbst zeigte nicht das kleinste Fleckchen. Doch war im Sucher immerhin zu sehen, dass das Doppelbild - endlich! - verschwunden war.



Projekt CSFR - Bau eines chromatischen Sonnen-Faltrefraktors

Das schlichte schwarzweiße Design des CSFR gefiel offenbar auch einem einheimischen Besucher...

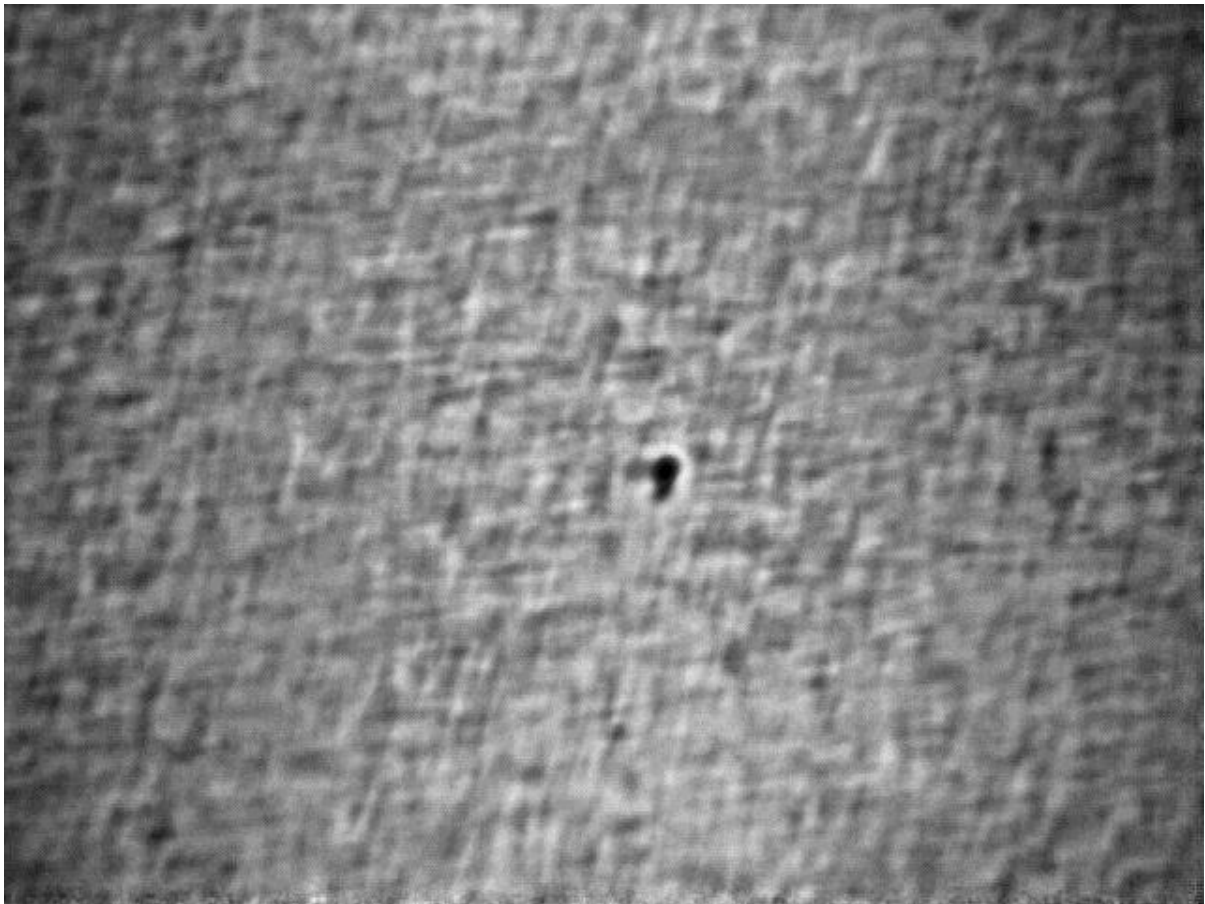


Leider erlaubte das Wetter in Königsleiten keine weiteren Aufnahmen.

Teil IX: Erste Bildergebnisse

9 Monate lag der CSFR im Regal. Dann, im Juni 2008, ergab sich wieder einmal eine Gelegenheit. Ein Versuch mit meiner EOS 20Da ergab kein gutes Resultat: durch den Solar-Continuum-Filter wird bei der EOS nur der Grünkanal angesprochen. Die Bayermaske des Sensors führt dabei zu störenden Aliaseffekten. Eine SW-CCD-Kamera zeigt diese Artefakte nicht. So adaptierte ich meine ATIK 1 HS II an den CSFR. Als sehr praktisch erwies sich die Möglichkeit der stufenlosen Lichtmengenregulierung über die beiden Polfilter. Im Bild ist die Doppelpolfiltereinheit zwischen dem Balgengerät und dem weißen Tubus zu sehen. Diese ermöglicht eine exakte Einstellung der Belichtung bei niedrigster Kameraverstärkung und einer Belichtungszeit von weniger als 1/1000 Sek.

Projekt CSFR - Bau eines chromatischen Sonnen-Faltrefraktors

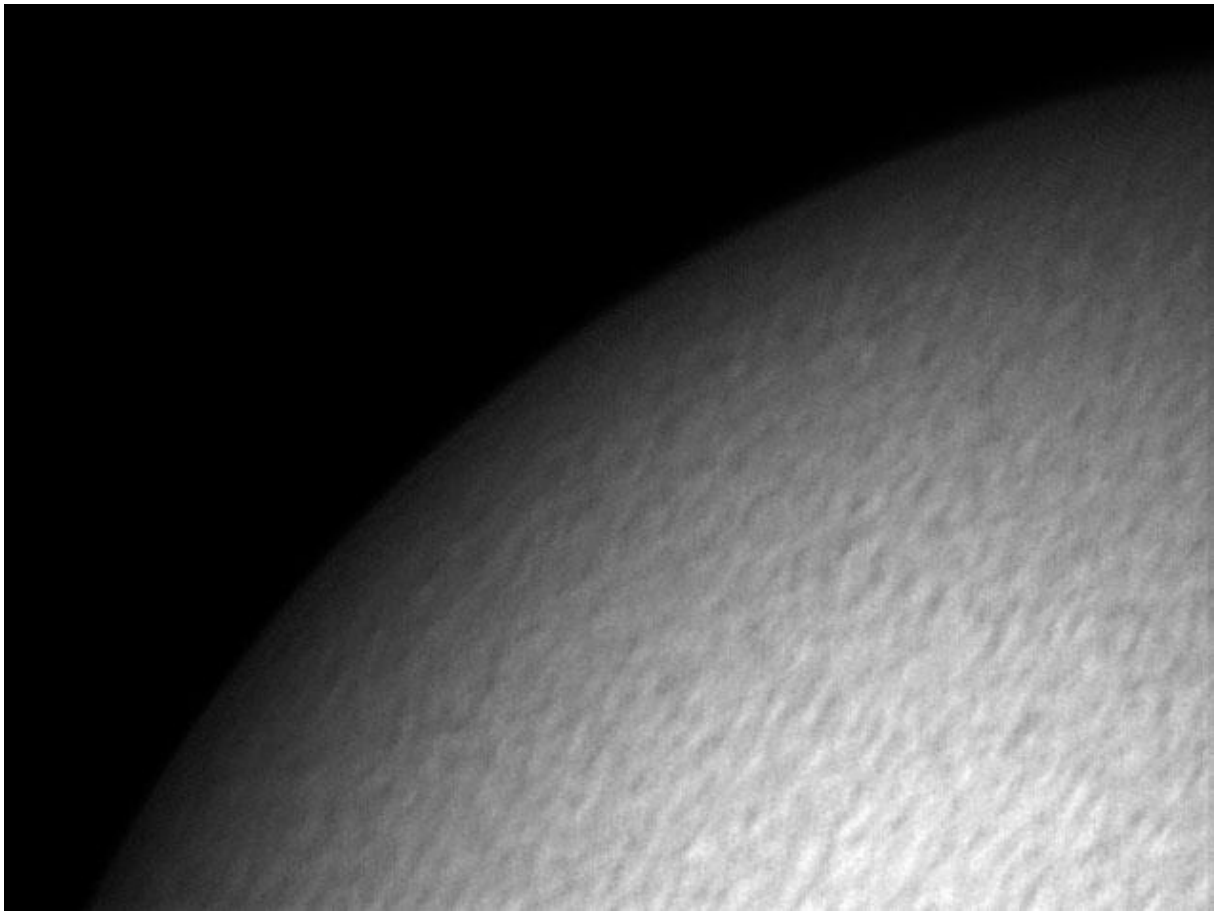


Objekt	Sonnenfleck
Aufnahmeort	München, Dachterrasse
Datum	21.6.2008
Uhrzeit	18:18 MESZ
Optik	CSFR
Brennweite	1734 mm
Blende	24
Kamera	ATIK 1 HS II
Format	3,7 x 2,77 mm
Filter	Solar-Continuum-Filter, Doppel-Polfilter, IR-Sperrfilter
Programme	Giotto 2.14, Photoshop CS2
Belichtungszeit	1/1500 Sek. Komposit aus 1 % von 1500 Bildern

Leider ist meine Dachterrasse für Sonnenbeobachtungen ziemlich ungünstig, da die Blickrichtung zur Sonne tagsüber immer über das erwärmte Hausdach geht. Daher ist das Seeing für Sonnenaufnahmen meist mäßig. Nach kräftiger Schärfenfilterung ist die Granulation der Sonnenoberfläche im obigen Bild dennoch zu erkennen.

Damit war das erste Ziel des Projekts CSFR erreicht.

Projekt CSFR - Bau eines chromatischen Sonnen-Faltrefraktors



Objekt	Sonne
Aufnahmeort	München, Dachterrasse
Datum	6.7.2008
Uhrzeit	11:07 MESZ
Optik	CSFR mit 0,5x Reducer
Brennweite	867 mm
Blende	12
Kamera	ATIK 1 HS II
Format	3,7 x 2,77 mm
Filter	Solar-Continuum-Filter, Doppel-Polfilter, IR-Sperrfilter
Programme	Giotto 2.14, Photoshop CS2
Belichtungszeit	1/2500 Sek. Komposit aus 1 % von 200 Bildern

Allerdings empfand ich die Schärfe des Bildes als nicht befriedigend. Ich führte das zunächst auf das schlechte Seeing auf meiner Dachterrasse zurück. Dann fiel mir auf, dass bei Betrachtung in einem 40mm-Okular die Sonnenscheibe oben und unten einen andere Fokusslage hatte als rechts und links. Matthias Knülle tippte sofort auf einen Astigmatismus der Linse.

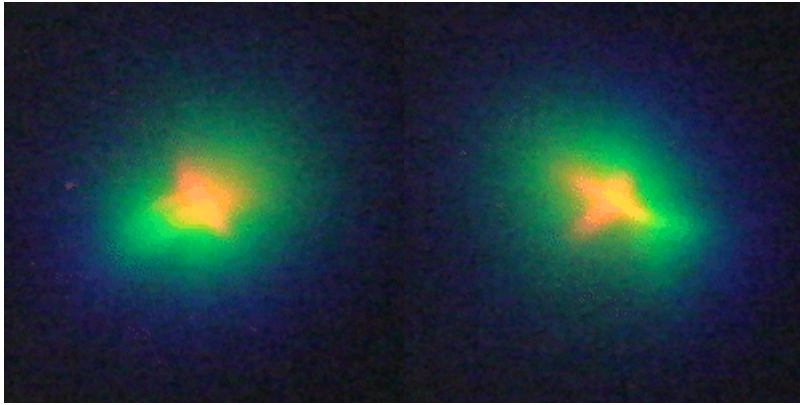


Teil X: Behebung des Astigmatismus

In der Zwischenzeit hatte ich mir auch eine DSLR zugelegt, die für Aufnahmen mit Schmalbandfiltern geeignet ist: die Sigma SD14. Sie hat keinen Sensor mit Bayer-Maske, sondern einen Foveon-Sensor, bei dem die drei Farbauszüge RGB untereinander und nicht nebeneinander liegen. Außerdem kann man bei der SD14 den IR-UV-Sperrfilter selbst entfernen, da er *vor* dem Klappspiegel liegt. Dies prädestiniert die Sigma SD14 für Sonnenaufnahmen im Grün, in $H\alpha$ und im Licht der K-Linie.

Im April 2010 konnte ich endlich einen Test des CSFR auf Astigmatismus machen. Die untere Aufnahme zeigt das Abbild von Rigel *ohne Filter*. Zwischen dem linken und dem rechten Bild wurde die Linse um 90° in ihrer Fassung verdreht. Wie man deutlich sieht, dreht sich das asymmetrische Beugungsbild entsprechend mit! Das war der Beweis, dass ein Astigmatismus der Linse vorlag und nicht etwa einer des Prismas.

Projekt CSFR - Bau eines chromatischen Sonnen-Faltrefraktors



Zum Glück hatte ich noch eine zweite, baugleiche Linse. Und diese wies keinen erkennbaren Fehler auf – Heureka!





Projekt CSFR - Bau eines chromatischen Sonnen-Faltrefraktors

Diese beiden Mondbilder machte ich unmittelbar nach dem Sterntest an Rigel mit der Canon EOS 20Da. Das obere Bild wurde ohne Filter gemacht; es zeigt den starken Farbfehler der Einzellinse. Das untere Bild erfolgte durch den Solar-Continuum-Filter (540 nm), verwendet wurde nur der Grünkanal. Bei beiden Aufnahmen war die Kameraempfindlichkeit auf 3200 ISO eingestellt, die Belichtungszeit betrug 0.5 bzw. 4 Sekunden.

Inzwischen wurde der CSFR für Sonnenaufnahmen in Dienst gestellt.

Peter C. Slansky

23.4.2010

<http://www.peter-slansky.de/bereiche/astronomie/aufnahmetechniken/aufnahmetechniken07.html>