

# **DIE FLATFIELDKAMERA VON Dieter Lichtenknecker**



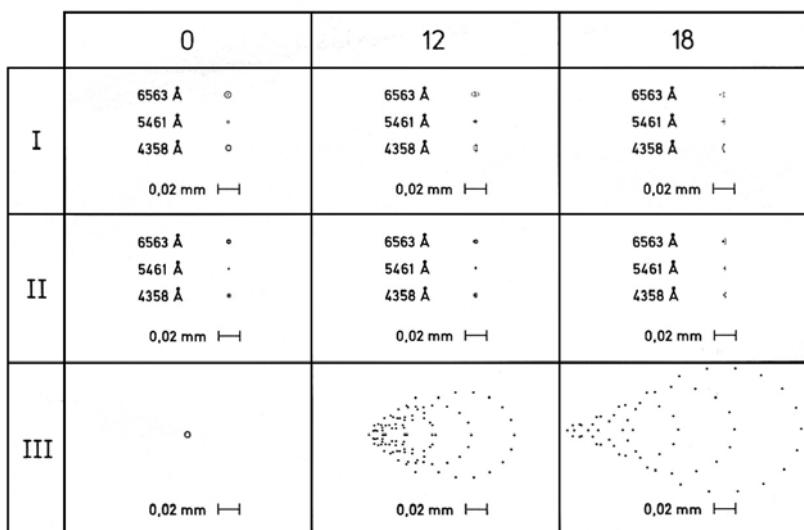
**Optik – Technische Daten – Aufbau – Justierung – Fokussierung**

© 2004 by Dipl.-Ing. Wolfgang Paech

## Die Flatfieldkamera (FFC) von Dieter Lichtenknecker †

### Einleitung<sup>1</sup>

Da Lichtenkenckers Flatfieldkameras nahezu beugungsbegrenzt über ein sehr großes Bildfeld abbilden, sind es auch heute noch gefragte fotografische Aufnahmegeräte, die allerdings nur noch auf dem Gebrauchsmarkt erhältlich sind. Zunehmend werden sie jetzt auch zusammen mit CCD-Kameras eingesetzt, da die heutigen Kameras mit Pixelgrößen zwischen 6.8- und 9 m $\mu$  – zusammen mit einer FFC – ebenfalls fast beugungsbegrenzt arbeiten. Die Abbildung unten zeigt Spotdiagramme zweier Flatfieldkameras und eines normalen Newton-Teleskops mit identischem Öffnungsverhältnis für drei verschiedene Wellenlängen.



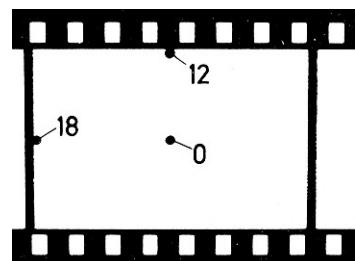
Das Bild rechts zeigt das Kleinbildformat herkömmlichen Films. Die Spalten 0, 12 und 18 sind die Durchstoßdiagramme auf den betreffenden Punkten der Bildebene.

*Abbildung 01: Spotdiagramme im Vergleich*

I für die Flatfieldkamera 3.5/500mm

II für die Flatfieldkamera 4.0/760mm und

III Newton Teleskop mit 4.0/760mm



Da das Newton Teleskop ein reines Spiegelsystem ist, sind die Spotdiagramme wellenlängenunabhängig. Die Flatfieldkamera hat jedoch eine Korrektionsplatte aus Glas, deshalb sind die Spotdiagramme wellenlängenabhängig und sind hier für rotes, grünes und blaues Licht angegeben.

Da die Produktion der Flatfieldkameras nicht lange nach dem tragischen (und viel zu frühem) Tod von D. Lichtenknecker eingestellt wurde, und so langsam das Wissen um die Kameras verloren geht, habe ich mich entschlossen allgemeine Informationen zu den FFC's zusammenzustellen – soweit noch vorhanden – als Webseite zu publizieren.

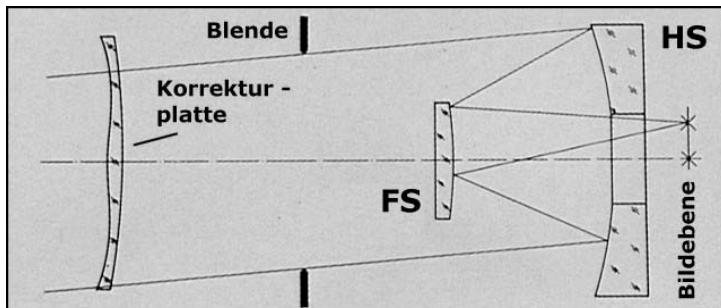
### Die Seite gliedert sich dabei in folgende Teilbereiche

- Einleitung
- Allgemeines, die Optik und technische Daten der Flatfieldkameras
- Prinzipieller Aufbau und das Zerlegen einer Flatfieldkamera
- Zur Fokussierung
- Die Justage einer Flatfieldkamera
- Das MFFT 55
- Mögliche Verbesserungen

<sup>1</sup> Einige der Abbildungen im Text stammen aus dem Prospektmaterial der Firma Lichtenknecker

## Allgemeines, die Optik und technische Daten

Die FFC der Firma Lichtenknecker ist im Prinzip eine Schmidtkamera, allerdings mit einer – außerhalb des Tubus liegenden, absolut planen – Bildebene. Die FFC besteht aus einem Tubus, einem Hauptspiegel, einem Fangspiegel, einer Aperturblende und einer Schmidtähnlichen Korrekturplatte, die den Tubus vorn abschließt. An der Rückplatte befindet sich normalerweise ein T2 Gewinde (M42 x 0.75mm) zum Anschluss einer Kamera.



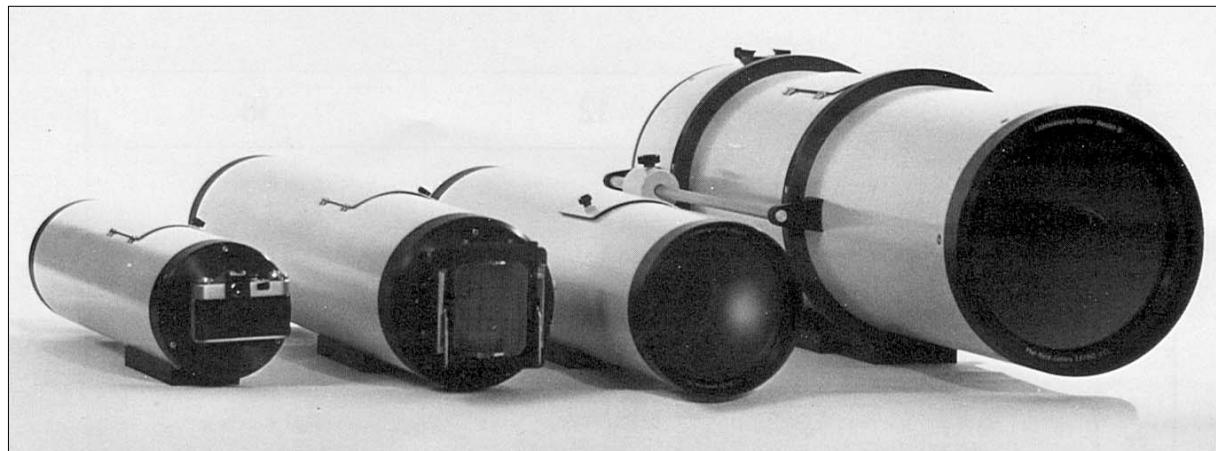
Das Licht tritt von links kommend durch die Korrektionsplatte in das System ein, passiert dabei eine Aperturblende und wird nach der Reflexion über Haupt (HS)- und Fangspiegel (FS) in der Bildebene zu einem Fokalbild allerhöchster Abbildungsschärfe zusammengeführt.

Abbildung 02: Der optische Strahlengang der Flatfieldkamera

Die Fokussierung einer FFC erfolgt dabei über eine Abstandsänderung des Fangspiegels zum Hauptspiegel.

Die FFC ist ein rein fotografisches Aufnahmeinstrument und für visuelle Beobachtungen nicht einzusetzen. Durch die großen abbildbaren Feldgrößen und der geforderten absolut planen Bildebene der FFC's, fällt die Größe der Fangspiegel (und damit der Obstruktion) recht üppig aus; z.B. sind es bei der 4.0/760mm Version satte 99mm (inkl. Fangspiegelhalterung).

Sie wurden (meines Wissens nach) in folgenden optischen Dimensionen hergestellt:



- 500mm f/3.5 (Öffnung 150mm)
- 540mm f/2.7 (Öffnung 200mm, nur wenige Exemplare)
- 760mm f/4.0 (Öffnung 200mm)
- 940mm f/3.2 (Öffnung 300mm, nur wenige Exemplare, meist an professionelle Sternwarten geliefert) und
- 1350mm f/7.0 (Öffnung 200mm, sehr exotisch und wenige Exemplare, sie wurden hauptsächlich dort eingesetzt wo es galt einen hohen Abbildungsmaßstab zu erreichen)

Die technische Daten aller serienmäßig produzierten Flatfield's finden Sie in folgender Tabelle.

<b>Technische Daten:</b>	3,5/500	4,0/760	7,0/1350	3,2/940
Freie Oeffnung				
der SCL-Korrektionsplatte	150 mm	200 mm	200 mm	300 mm
des Hauptspiegels	151 mm	200 mm	200 mm	300 mm
des Fangspiegels	71,5 mm	92,5 mm	92,5 mm	141,5 mm
der Aperturblende	142,8 mm	190 mm	193 mm	294,5 mm
Brennweite	500 mm	760 mm	1350 mm	940 mm
Geometrisches Oeffnungsverhältnis	1 : 3,5	1 : 4,0	1 : 7,0	1 : 3,2
Totaler Bildwinkel über die Diagonale des Kleinbildformates	4° 57'	3° 16'	1° 50'	2° 39'
Spiegelmaterial	Duran	Duran	Zerodur	Zerodur
Fokussierweg bei Drehung der Fangspiegelfokussierung um 1 Teilstrich	0,34 mm	0,33 mm	0,30 mm	0,34 mm
Teilstrichabstand	17 mm	21 mm	21 mm	30 mm
Aussendurchmesser des Tubes	188 mm	234 mm	234 mm	368 mm
Länge (ohne Gewindestutzen für T-Adapter)	669 mm	1011 mm	1011 mm	1253 mm
Gewicht (ohne Montageschuh bzw. Rohrschellen)	5,9 kg	11,7 kg	12,6 kg	ca. 40 kg

Zusätzlich gab es noch Sonderversionen als sogenannte MPT 200 und MPT 300 (Multipurposeteleskope) mit auswechselbaren Frontringen, wie man es von Großteleskopen kennt.

#### **Prinzipieller Aufbau und das Zerlegen einer FFC:**

Die FFC's bestehen aus drei optischen Komponenten; einem sphärisch geschliffenen und durchbohrten Hauptspiegel, einem asphärischen Fangspiegel und einer „Schmidtähnlichen“ Korrekturplatte.



Bei einigen Produktionsserien wurde die Korrekturplatte asphärisch geschliffen. Sie sind an einer roten Gravierung **SCL** auf dem Frontring der Schmidtplatte erkennbar.

Abbildung 03: SCL Gravur auf dem Frontring

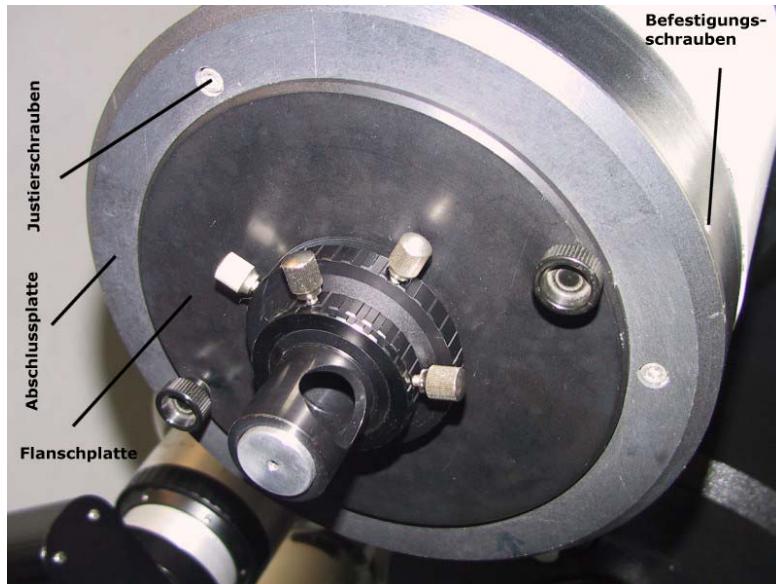
Durch den asphärischen Schliff gelang es D. Lichtenknecker die Geisterbilder sehr heller Sterne (wie man sie von Schmidtteleskopen kennt) soweit aus der Fokalebene herauszulegen, dass sie völlig unscharf abgebildet werden und somit nicht mehr störend wirken.

#### **Wichtiger Hinweis:**

Bevor Sie daran gehen, eine Flatfieldkamera auseinander zu nehmen, markieren Sie die Einbaulagen der Spiegel (und der Schmidtplatte) zueinander und die Einbaulagen der Spiegelfassungen zum Tubus.

Alles folgende gilt hauptsächlich für die kleineren Flatfieldkameras (3.5/500, 2.7/500 und 4.0/760). Bei den größeren können Details im Aufbau leicht abweichend sein.

Der hintere Teil der Flatfieldkamera besteht aus drei Teilen: Der Hauptspiegelfassung, einer rückwärtigen Tubusabschlussplatte und auf diese mit 2 Schrauben zum Auswechseln aufgesetzt einer Flanschplatte mit einem T2 Außengewinde zum Anschluss für eine Kleinbildkamera. Eine Ausnahme ist hier die kleine Flatfieldkamera (3.5/500) bei der Abschluss- und Flanschplatte ein Teil bilden.



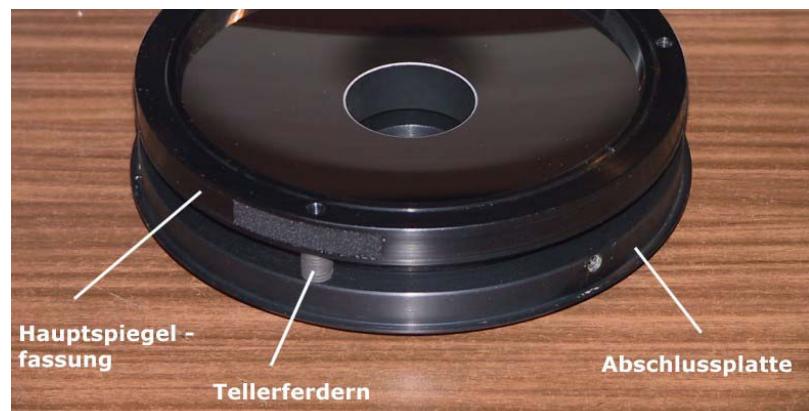
*Abbildung 04: Die hintere Abschlussplatte der Kamera*

Die Abschlussplatte und die Hauptspiegelfassung sind über drei Justageschrauben und dazwischenliegenden Tellerfederpaketen miteinander gekoppelt. Die Abschlussplatte wird zusammen mit der Hauptspiegelfassung durch drei seitlich im Tubus sitzenden Befestigungsschrauben gehalten. Löst man diese, kann man die komplette Einheit aus dem Tubus herausziehen.

Die Befestigungsschrauben greifen dabei zur Sicherheit in eine v-förmige Nut der Abschlussplatte.

Die Flanschplatte hat üblicherweise hinten ein T2-Außengewinde zur Aufnahme einer Kleinbildkamera über einen T2-Adapter. Für die größeren Flatfieldkameras (ab 4.0/760) gibt (gab) es verschiedene Flanschplatten zur Aufnahme von Rollfilm- und Planfilmadaptern.

Der Spiegel selbst wird der Fassung durch einen Abdeckring gehalten, der ebenfalls über drei Schrauben befestigt ist. Diese Spiegelbefestigung ist bei einigen Serien konstruktiv abweichend ausgeführt (z.B. durch eine Verschraubung von oben statt von der Seite).



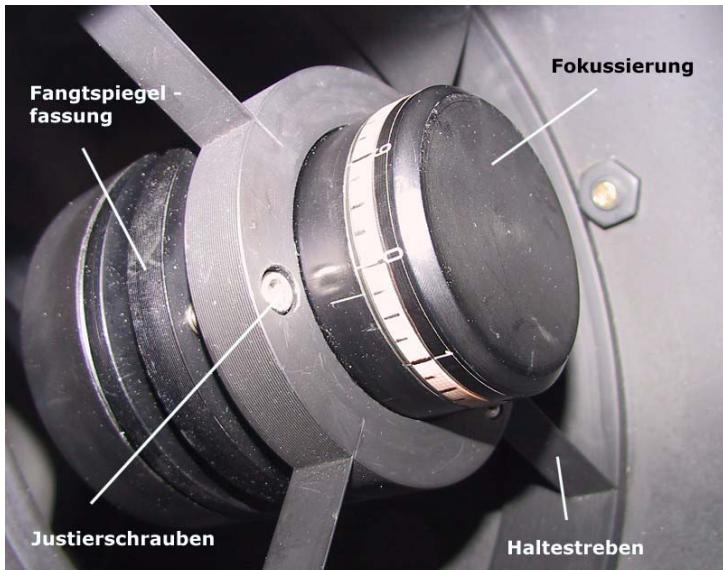
*Abbildung 05: Abschlussplatte, Hauptspiegelfassung und Tellerfedernpaket*



**Wichtiger Hinweis:** Ein zu starkes Anziehen der Schrauben, die den Halterung mit der Spiegelfassung verbinden, führt sofort zu einer Verspannung des Hauptspiegels, was sich durch dreieckige Sternbilder bemerkbar macht. Der Spiegel muss (schon aus thermischen Ausdehnungsgründen) locker in der Fassung liegen und Spiel haben, damit er sich bewegen kann.

Es gab einige Einzelstücke von Flatfieldkameras (und auch der MPT-Modelle) wo sich die Hauptspiegel schon bei unterschiedlichen Temperaturen verspannten. Hier half nur eine Nacharbeitung der Hauptspiegelfassung.

Die Justageschrauben für die Hauptspiegelfassung sind von hinten zugänglich (siehe Abbildung 04) und bewirken durch Links- oder Rechtsdrehung ein Zusammenziehen oder ein Entspannen der Tellerfederpakete und somit eine Kippung des Spiegel in die entsprechende Richtung.



*Abbildung 06: Fangspiegel und Fokussierung*

Öffnet man die Klappe am Tubus sieht man folgendes Bild. Im Tubus befindet sich eine Fangspiegelhalterung, die durch vier Streben gehalten wird. Der Fangspiegel selbst besteht aus zwei Teilen; aus der Fangspiegelfassung und einem Fokussring, beide sind über ein Feingewinde miteinander gekoppelt. Zwischen beiden Teilen sitzen drei Duckfedern; beide Teile sind zusätzlich über drei Passstifte zueinander geführt. Fokussiert wird die FFC durch Rechts- oder Linksdrehung des Fokusringes; über das Feingewinde, welches Fokusknopf und Fangspiegelhalterung verbindet und die drei Druckfedern wird der Fangspiegel vor und zurück gestellt. Die drei Passstifte führen dabei die Fangspiegelfassung sauber linear auf der optischen Achse.

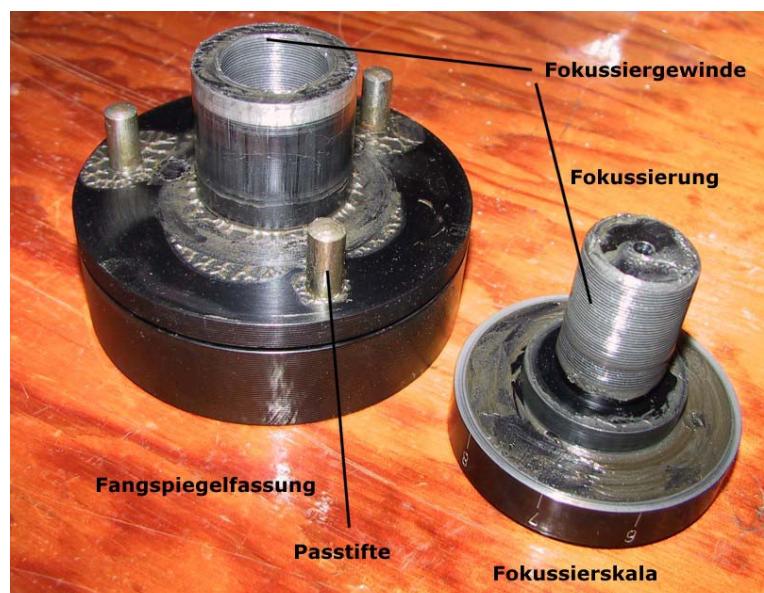
Justiert wird die Fangspiegelfassung ebenfalls über drei Justageschrauben (Druckschrauben) die zwischen Fangspiegelfassung und –halterung über die drei Druckfedern wirken.

*Abbildung 07: Fangspiegel und Fokussierung*

Will man den Fangspiegel ausbauen, so wird die Fokussierung so lange links herum (entgegengesetzt zum Uhrzeigersinn) gedreht, bis das verbindende Feingewinde auseinander ist.

**Achtung:** Es gibt keine Sicherung, die verhindert, dass beide Teile auseinanderfallen. Steht der Tubus in Richtung zum Hauptspiegel geneigt, fällt der Fangspiegel samt Fassung **gnadenlos** auf den Hauptspiegel.

Auch ist darauf zu achten, dass Passstifte und Druckfedern nicht herausfallen können, bzw. verloren gehen.



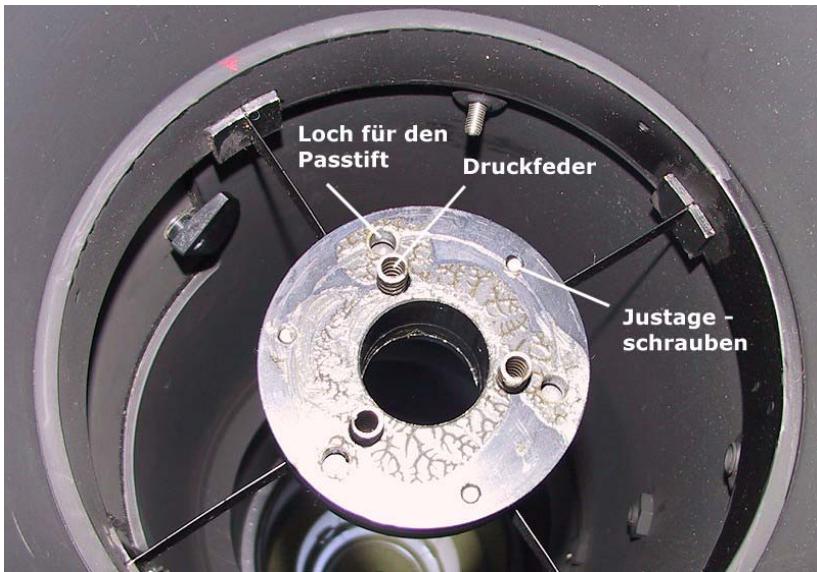


Abbildung 08: Blick von hinten in den Tubus

Blickt man von hinten in den Tubus, nachdem der Fangspiegel ausgebaut ist, sieht man die Lage der Druckfedern, der Justageschrauben und die Löcher für die Passstifte zur Führung des Fangspiegels auf der optischen Achse.

gelfassung aufgeschraubt ist. Dieser sitzt meist recht fest und man sollte vermeiden ihn Abschrauben zu müssen. Eine Reinigung des Fangspiegels ist auch so möglich.

Die Schmidtplatte, die den Tubus auch thermisch abschließt, ist nicht justierbar. Ein Ausbauen der Platte sollte vermieden werden, da auch Sie leicht verspannt werden kann.

#### Zur Fokussierung einer FFC:

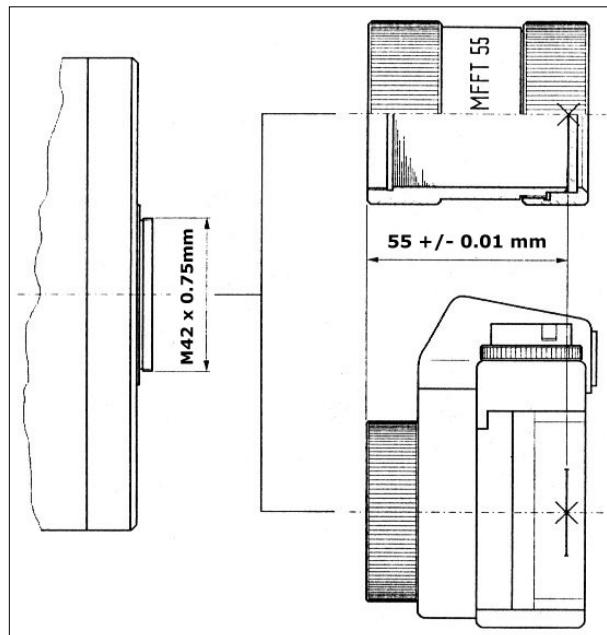
Eine Drehung des Fokusringes (in Richtung zum Stern gesehen) entgegen dem Uhrzeigersinn (links herum) schiebt den Fangspiegel in Richtung auf den Hauptspiegel zu (Abstand HS-FS verringert sich) und legt damit die Bildebene weiter nach außen (von der Rückplatte weg). Ein Drehen im Uhrzeigersinn (rechts herum) vergrößert den Abstand HS-FS und die Bildebene rückt näher an die Rückplatte heran.

Das optische System (Abstand FS – HS) ist so gerechnet, dass die beste Abbildungsleistung erreicht wird, wenn die Fokuslage exakt 55mm hinter dem T2 Gewinde liegt, welches als Kameraanschluss fungiert (55mm entsprechen exakt dem Abstand der Filmebene einer KB-Kamera zur Vorderseite eines T2-Kameraringes, siehe Abbildung 09, rechts).

Das Feingewinde zwischen Fokusknopf und Fangspiegelhalterung hat natürlich nur einen begrenzten Stellweg. Dreht man lange genug gegen den Uhrzeigersinn (links herum) fallen beide Teile auseinander. Steht der Tubus in Richtung auf den Hauptspiegel geneigt, fällt der Fangspiegel **unbarmherzig** auf den Hauptspiegel.

Das ist früher einigen Leuten passiert, die unbedingt mit einem Zenitprisma und einem Okular visuell beobachten wollten und dazu natürlich die Bildebene weit nach außen legen mussten. Der Fokusbereich ist für solche Beobachtungen nicht ausgelegt (und bei der großen Obstruktion auch völlig sinnlos).

Ein so „schnelles“ optisches System ist natürlich extrem präzise zu fokussieren und zudem anfällig gegen eine Fokusdrift, ausgelöst durch Temperaturänderungen während der Belichtungen. Nach dem Tod von D. Lichtenknecker wurden noch einige Modelle produ-



ziert, bei denen Haupt- und Fangspiegel über Invarstäbe gekoppelt waren; diese wenigen werden aber auf dem Gebrauchtmarkt relativ rar sein.

Fotografisch lässt sich eine Flatfieldkamera (mit Ausnahme der f/7-Version) nur hinreichend genau über eine Foucault'sche Messerschneide fokussieren. Die **Fokustoleranz** für die beugungsbegrenzte Auflösung liegt bei einem Öffnungsverhältnis von f/4 (im grünen Licht) **bei nur 0.035mm**.

Für die Fokussierung (und zum Teil auch für die Justage) gab es von Lichtenknecker das MFFT 55, mehrere - auf eine Glasplatte - aufgedampfte Messerschneiden, zusammen mit einem Ronchigitter zur Vorfokussierung (Beschreibung siehe weiter unten).

#### **Hinweis:**

Gewöhnen Sie sich an, den Fokus immer aus einer Drehrichtung einzustellen. Und zwar aus folgendem Grund: Beim Hin- und Herdrehen der Fokusschraube ändert sich leicht der Korrekturzustand des Fangspiegels, weil die Führung des Fangspiegels auf der optischen Achse ja nicht völlig spielfrei sein kann und auch nicht ist.

Ich fokussiere hierbei immer gegen den Uhrzeigersinn (mit Blick zum Himmel), dass entspricht zugleich der Richtung in die man fokussieren muss, um eine Temperaturabnahme auszugleichen. Die Bildebene verschiebt sich dabei nach hinten.

#### **Zur Justierung einer Flatfieldkamera**

Flatfieldkameras sind - bei stationärem Einsatz – relativ unempfindlich und robust gegen Dejustierung. Bei häufigen Transporten und Erschütterungen oder nach einem Zerlegen zur Reinigung der Spiegel ist aber eine Justierung zwingend erforderlich. Über das Justieren von Flatfieldkameras „geistern“ viel Gerüchte „durch das Internet und die Literatur“, meist mit dem Tenor „fummlig“ bis unmöglich. Stimmt nicht, im folgendem ist eine gute, schnelle und einfache Methode beschrieben.

**Bernd Flach-Wilken** – selbst Besitzer mehrerer FFC's – empfiehlt zur Justierung einer folgendes Vorgehen. Die Justierung wird bei Tageslicht durchgeführt und die Kamera kann auf der Montierung verbleiben. Die Eintrittsöffnung ist mit dem Staubschutzdeckel verschlossen.

#### **Voraussetzungen:**

- eine im Durchmesser ca. 5 bis 6 mm (mit ca. 1mm Strichstärke) kreisförmige Mittenmarkierung auf dem Fangspiegel,
- die Möglichkeit 1¼" Zubehör an die Rückwand anzuschließen

#### **Hilfsmittel:**

- Ceshire Okular,
- Runde Pappscheibe mit einem 5mm Loch und darum 4 konzentrischen Kreisen mit den Radien 2.5, 5, 7.5 und 10 Zentimetern (dicke Strichstärke) und
- kurzbrennweites Okular mit ca. f = 5mm

#### **Herstellen der Mittenmarkierung auf dem Fangspiegel (FS):**

Dazu ist es nötig, den Fangspiegel aus der FFC auszubauen (siehe oben). Dazu geht man in folgender Weise vor. Die Kamera muss dazu waagerecht liegen, steht sie nach vorn oder nach hinten geneigt, besteht die Gefahr, dass der gelöste Fangspiegel (FS) auf den Hauptspiegel (HS) oder auf die Korrekturplatte fällt.

#### **Wichtig:**

**Bevor Sie den FS ausbauen markieren Sie seine Einbaulage (Rotation) zum Tubus oder zum HS. Markieren Sie ebenfalls die Einbaulage des HS zum Tubus, bevor Sie ihn ausbauen.**

Die Fangspiegelfokussierung wird solange links herum – gegen den Uhrzeigersinn – gedreht, bis man den FS samt seiner Fassung in Richtung auf den Hauptspiegel herausnehmen kann. Fokussierung und Fangspiegel sind über ein Feingewinde miteinander verbunden. Zwischen beiden Teilen sitzen drei Druckfedern, beide Teile sind über drei Passstifte geführt.

Beim Ausbau des Fangspiegels ist darauf zu achten, dass die Passstifte und die Federn nicht in den Tubus fallen.



Für das Aufbringen der Mittenmarkierung (die keinen Einfluss auf die Abbildungsqualität hat) habe ich eine dünne Plasticscheibe (*Abbildung 10, links*, Pappe geht genauso gut) hergestellt, die genau in die Fangspiegelfassung passt. In der Mitte ist ein kreisrundes Loch mit 6mm Durchmesser. Diese Scheibe wird – vorsichtig – direkt auf den Fangspiegel gelegt (die Oberfläche sollte natürlich sauber und fettfrei sein). Der äußere Rand des Lochs wird vorsichtig mit einem permanenten Filzstift von z.B. Staedler (Lumocolor, fein) nachgezeichnet.

Danach kann der Fangspiegel eigentlich wieder eingebaut werden. Hat man ihn aber schon draußen empfiehlt es sich, zusätzlich eine Millimeterpapierskala für die Fokussierung aufzubringen und so die doch recht grob unterteilten, gravierte Fokusmarken feiner unterteilen. Man kann sich so – über eine Temperaturskala – eine Fokuskurve ermitteln und so später über die Außentemperatur die FFC blind fokussieren. Dazu werden einfach die Fokusstellungen in Temperaturzuordnung abgelesen und in eine Graphik übertragen.  
*Abbildung 11: Fangspiegel mit Mittenmarkierung*



Der Einbau des Fangspiegels geschieht auf gleiche Weise wie der Ausbau, nur halt in entgegengesetzter Reihenfolge. **Achten Sie auf die korrekte Einbaulage des FS.**



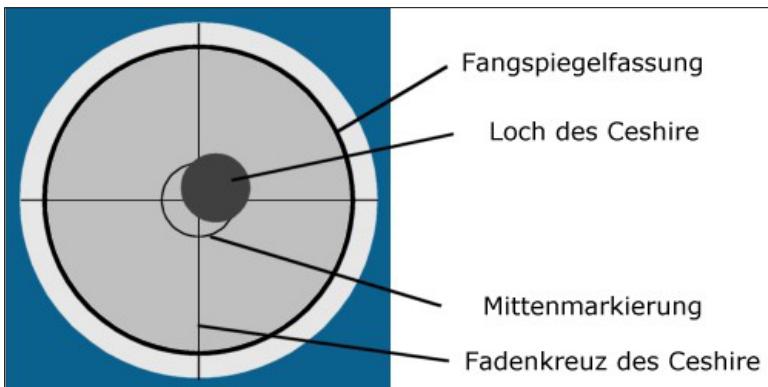
*Abbildung 12: Das Ceshire Okular*

Jetzt kann das System justiert werden. Zuerst wird der Fangspiegel justiert. Dazu wird das Ceshire Okular (*Abbildung 12*) an der Rückplatte angesetzt (je genauer hier die Führung und Klemmung, desto genauer wird die Justierung).

sich ein Fadenkreuz (welches hier aber nicht gebraucht wird).

Das Ceshire ist ein mechanisches Justierhilfsmittel, welches über ein zentrales kleines Loch verfügt, seitlich wird über eine unter 45 Grad stehende polierte Metallplatte Licht eingespiegelt und vorn befindet

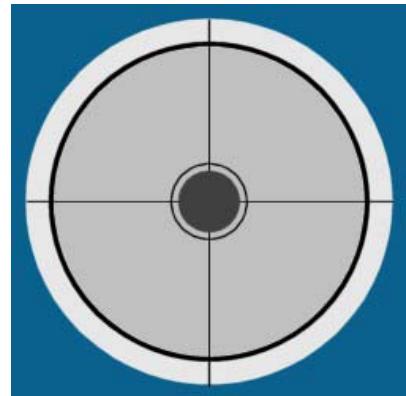
Blickt man nun von hinten durch das kleine Loch im Ceshire (bei abgedeckter Öffnung der FFC) sieht man (bei dejustiertem Fangspiegel) folgendes Bild.



Man sieht nur den Fangspiegel mit seiner Mittenmarkierung und im Spiegelbild das Guckloch des Ceshire mit der konzentrischen Aufhellung der Ceshire Streulichtscheibe. Das Fadenkreuz des Ceshire kann natürlich unter jedem beliebigen Winkel stehen.

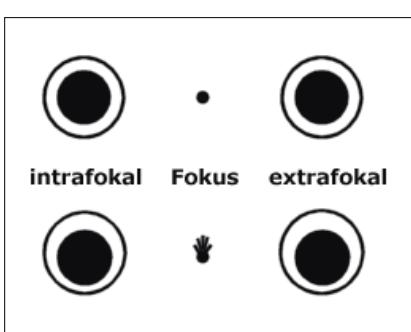
Mit den FS-Justageschrauben (die nur Zugschrauben sind, die über die drei Federn wirken) wird nun das Guckloch des Ceshire zentrisch in die Mittenmarkierung gestellt.

Nach erfolgter Justierung sollte man ein Bild wie rechts sehen. Drehen Sie das Ceshire in seiner Aufnahme, um den Justierzustand unter verschiedenen Winkeln zu prüfen. Ist die 1¼"-Aufnahme des Ceshire sehr „klapprig“, werden sich je nach Lage des Justierokulars, verschiedene Justagezustände zeigen, die dann „pi mal Daumen“ gemittelt werden müssen.



War der Hauptspiegel nicht ausgebaut – und ist man sich sicher, dass er sauber justiert ist – kann man die Fangspiegeljustage am Stern überprüfen. So kann man den Fangspiegel übrigens auch justieren (siehe weiter unten), wenn man sich scheut die oben beschriebene Mittenmarkierung auf den FS aufzubringen.

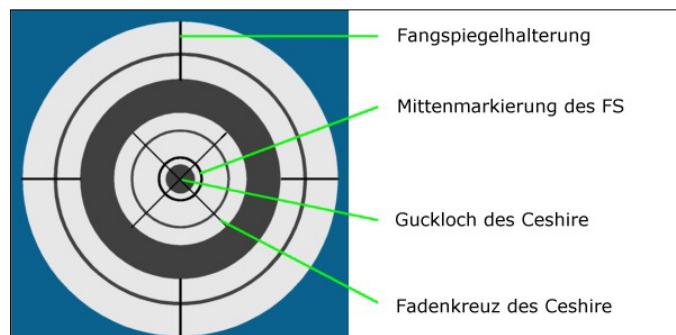
Bestücken Sie die FFC mit einem Okular von ca. 5-8mm Brennweite und stellen Sie einen hellen Stern der 1.- oder 2. Größenklasse möglichst genau in die Bildmitte ein.



Bei leicht intra- oder extrafokaler Fokussierung muss der Schatten des Fangspiegels exakt zentrisch zur Sternscheibe stehen (siehe links oben). Im Fokus müssen Sie ein exakt rundes Sternscheibchen sehen (Beugungsringe sind wegen der großen Obstruktion praktisch nicht sichtbar).

Links unten ist die Situation für einen noch dejustierten Fangspiegel dargestellt. Der Schatten des FS steht asymmetrisch zur Sternscheibe. Im Fokus ist leichte Koma sichtbar. Die Justage erfolgt durch Drehung der Schraube

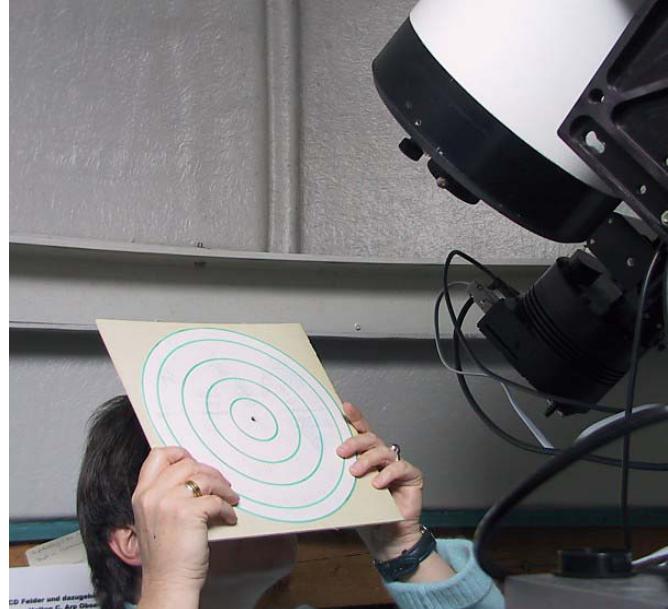
(im Uhrzeigersinn), die in Richtung auf das Komaschweifchen oder in Richtung auf die breitere Ringzone liegt.



Ist der Hauptspiegel sauber justiert sollte man nach der Fangspiegeljustierung nun das rechts stehende Bild sehen, **wenn** man den Deckel abnimmt und durch das Ceshire gegen den hellen Himmel oder eine helle Fläche schaut.



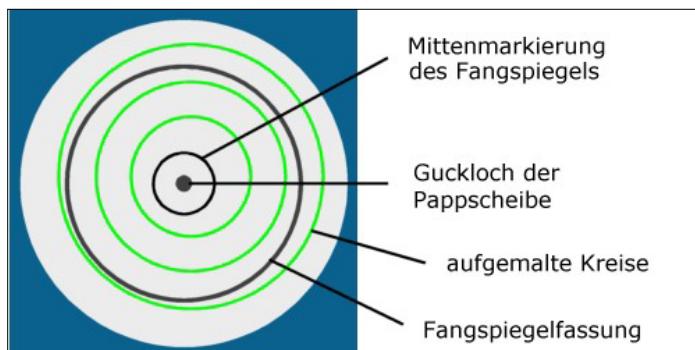
Ist man unsicher kann oder sollte (war der Hauptspiegel ausgebaut, muss) man den Justierzustand des Hauptspiegels überprüfen. Dazu wird die Pappscheibe (*Abbildung 13, links*) mit dem Guckloch und den vier konzentrischen Kreisen eingesetzt. Das Ceshire wird entfernt, die Eintrittsöffnung der FFC bleibt geschlossen.



Die Prozedur ist etwas schwierig zu beschreiben, führt man sie jedoch durch, wird alles schnell klar.

Die Pappscheibe wird (aufgemalte Kreise zu FFC hinzeigend und durch das Tageslicht beleuchtet, *siehe Abbildung 14, rechts*) dicht vor das Auge gehalten.

Der Abstand ist auszuprobieren, liegt aber irgendwo zwischen 30 und 100 Zentimetern. Man sieht folgendes Bild.



Durch hin- und herbewegen des Kopfes bringt man den Reflex des Pappscheibenguckloches genau in die Mitte der FS-Mittenmarkierung. Das ist etwas schwierig zu bewerkstelligen (am besten ist es, wenn man den Kopf irgendwo anlehnen kann um eine ruhige Position zu haben).

Ist der Hauptspiegel dejustiert sind die Reflexbilder der Kreismarkierungen der Pappscheibe (bei mir grün) exzentrisch um den Fangspiegel angeordnet. Hat man einen richtigen Abstand gewählt, kann man nun durch Justieren des Hauptspiegels einen der Kreise genau außen herum um den Rand der Fangspiegelfassung zentrisch stellen.

Nach erfolgter Justage des Hauptspiegels sollte man folgendes Bild mit konzentrischen Kreisen sehen.

#### **Hinweis:**

Da der Hauptspiegel der FFC's recht weich gelagert sein kann (je nach Vorspannung der Tellerfederpakete), sollte man den erreichten Justagezustand in mehreren Stellungen der FFC auf der Montierung überprüfen und ggf. mitteln. Diese Justage geht am einfachsten zu zweit, einer schaut und der zweite dreht an den Justageschrauben.



## Weitere Möglichkeiten der Justage:

Feinjustage des Fangspiegels

Hat man wie oben nach der Methode von Flach-Wilken den Fangspiegel justiert, kann eine Feinjustage auf zwei Arten geschehen.

- Die Firma Baader bietet einen Laserkollimator für Newton Teleskope an, der auch an SC-Teleskopen einsetzbar ist. Das besondere am Baaderschen Kollimator ist, dass der Laserstrahl durch eine Blende von kleiner 0.8 Millimeter ausgestrahlt wird. Das Licht wird in sich selbst über den Fangspiegel reflektiert und fällt zurück auf die Blendenöffnung. Das funktioniert wirklich „super“, vorausgesetzt der Fangspiegel ist schon gut vorjustiert.

Normale Lasercollis sind nicht nutzbar, da der Laserstrahl einen zu großen Durchmesser hat. Durch den stark konvex gekrümmten Fangspiegel wird der Laserstrahl nach der Reflexion so aufgeweitet, das er zum Feinjustieren untauglich ist.

- Wie oben schon mal beschrieben, kann die Feinjustierung über einen helleren Stern, der leicht unscharf gestellt ist, überprüft werden. Das Seeing sollte für diese Feinjustage sehr gut sein. Mit einem kurzbrennweiten (optisch guten) Okular wird ein mittelheller Stern leicht unscharf eingestellt. Ob Restkorrekturen anzu bringen sind, erkennt man daran, dass das Sternscheibchen leicht asymmetrisch hell ausgeleuchtet ist. Die Fangspiegelschraube ist dann leicht zu lockern, wo das Sternscheibchen heller ist oder natürlich auch umgekehrt; dort anziehen wo weniger Licht ist.

**Voraussetzung ist, dass das Auge des Beobachters frei von Astigmatismus ist. Ansonsten ist diese Prüfung mit einer Brille durchzuführen, die den Astigmatismus korrigiert.**

**Justage von Fang- und Hauptspiegel mit der Abrollmethode:** (näher beschrieben unter [http://www.astro.uni-bonn.de/~mischa/mbo/equipment/ffc\\_de.html](http://www.astro.uni-bonn.de/~mischa/mbo/equipment/ffc_de.html))

Eine weitere Methode ist das sogenannte „Abrollen“ der Flatfieldkamera. Dazu muss sie allerdings von der Montierung genommen werden. Im Prinzip funktioniert das ganze so. Die Kamera wird auf eine Auflage gebracht, die es gestattet den Tubus zu rotieren. Dabei darf die Kamera nur hinten auf der Hauptspiegelfassung und vorn auf der Fassung für die Korrektionsplatte geführt werden.

Nun wird mit einem Laserpointer oder einem Lasercalli (an der Fangspiegelfassung vorbei) der Laserstrahl von vorn auf den Hauptspiegel gerichtet und der reflektierte Strahl auf eine Wand oder ein Blatt Papier aufgefangen. Rotiert man jetzt den Tubus, wird auch der reflektierte Laserstrahl eine Kreisbewegung zeigen.

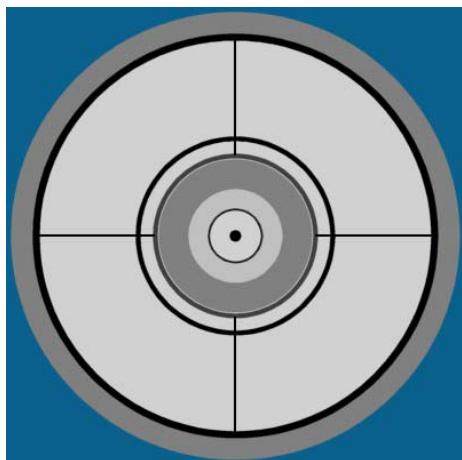
Der Hauptspiegel wird nun so justiert, dass der reflektierte Laserpunkt beim Rotieren des Tubus möglichst still steht.

Nun wird der Laser so ausgerichtet, dass er nach Reflexion über den Hauptspiegel auf den Fangspiegel trifft und nach hinten durch die Bohrung im Hauptspiegel den Tubus ver lässt. Nun wiederholt sich das „Spiel“ mit dem Rotieren des Tubus, nur wird diesmal der Fangspiegel justiert.

Eine hundertprozentig perfekte Justage wird durch das „Abrollen“ nicht erreicht. Die „Abrollmethode ist auch in meinem SuW Taschenbuch „Tipps und Tricks für Sternfreunde“ ausführlich beschrieben. Es lassen sich damit alle Zwei-Spiegel Systeme grob justieren. Eine Feinjustage muss dann immer am Stern durchgeführt.

### **Die Justage an reinen Reflexbildern** (nach P.Stättmayer/München):

Man schaffe sich eine ca. 5mm im Durchmesser messende Lochblende, mit der man von hinten in den Tubus hineinschaut. Die Eintrittsöffnung der Kamera muss dazu offen und auf eine helle Fläche gerichtet sein.



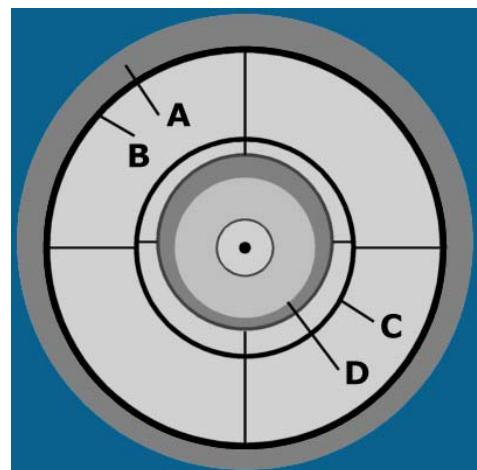
Das Bild links zeigt den Anblick auf eine sauber justierte Kamera. Alle Reflexbilder stehen exakt zentrisch zueinander.

Das Bild unten zeigt ein dejustiertes System und zur Justage geht man wie folgt vor:

**Hinweis:** Leicht nichtzentrische Reflexbilder lassen keinen eindeutigen Schluss zu, welcher der beiden Spiegel dejustiert ist.

Mit den Hauptspiegeljustageschrauben Ring B zum Ring A zentrisch stellen. Mit den Fangspiegeljustageschrauben werden danach die inneren Zonen D in sich **und** gleichzeitig zum Ring C zentrisch justiert. Dabei ändert sich die Stellung von A zu B und muss wieder über den Hauptspiegel korrigiert werden. Das zieht eine Verstellung von D und C nach sich ....

Eine Feinjustage muss anschließend über einen afokalen Stern durchgeführt werden (siehe oben unter der Methode „Flach-Wilken“).



### **Das MFFT 55 von Lichtenknecker Optic's**



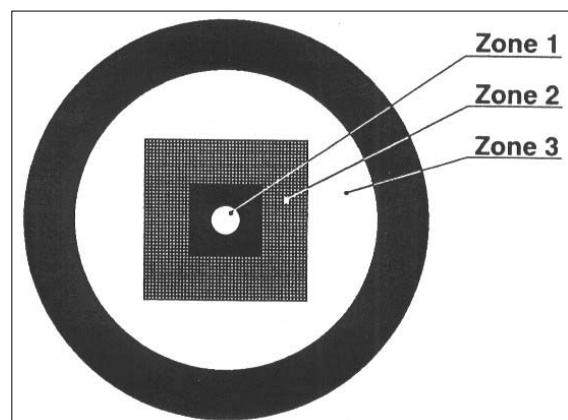
Das MFFT 55 von Lichtenknecker (*Abbildung 15, links*) ist Fokussier- und Justierhilfsmittel. Es besteht aus einem Tubus mit einem T2 Innengewinde und einer Glasplatte auf der sich mehrere aufgedampfte Messerschneiden und ein Ronchigitter befinden.

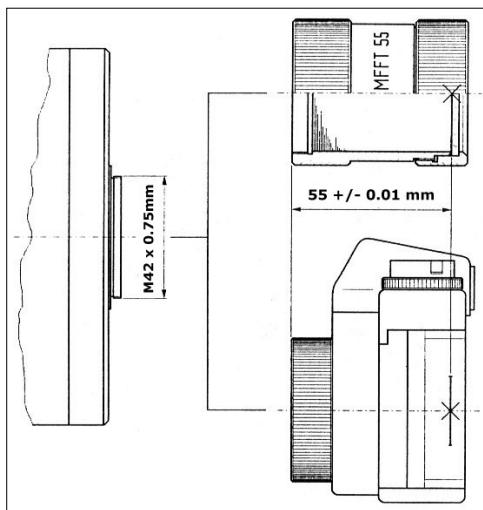
Die Glasplatte zeigt *Abbildung 16 (rechts)*:

**Zone 1** dient als Messerschneide zum Fokussieren. Justiert man nach der Methode Stättmayer dient Zone 1 als Lochblende.

**Zone 2** ist ein Ronchigitter und dient als Hilfe für die schnelle Vorfokussierung.

**Zone 3** ist als weitere Messerschneide gedacht. Mit Ihr kann man z.B. feststellen, ob die Bildebene der Kamera parallel zur Film-ebene in der Kamera steht (die Spiegel können perfekt zueinander justiert sein, trotzdem könnte die Bildebene dann schief zum T2-Anschlussgewinde der Kamera stehen).





Das MFFT 55 ist so konstruiert, dass der Abstand zwischen T2 Gewinde und den aufgedampften Schichten genau 55.0mm beträgt. Das soll der genormte Abstand für Kleinbildkameras zur Filmebene sein, doch es ist Vorsicht geboten.

Durch Messungen an vielen Kameragehäusen habe ich Abweichungen von bis zu +/- 0.6 mm für das Maß 55.0 gefunden. Und eine solche Abweichung liegt weit außerhalb der Fokustoleranz einer Flatfieldkamera. Wer sicher gehen will, sollte bei herkömmlicher Fotografie nachmessen.

Mit CCD-Kameras ist die Messerschneide eh nicht nötig, da hier am Sternbild selbst fokussiert wird.

Abbildung 17: Das MFFT 55 und die Bildebene

Die Methode der Foucault'schen Messerschneidenfokussierung beschreibe ich hier nicht, sie ist in jedem Buch über Astrofotografie nachlesen. Auch in meinem SuW Taschenbuch „Tipps+Tricks für Sternfreunde“ ist sie ausführlich beschrieben, ebenso Anleitungen sich Fokussierhilfen selbst zu bauen.

### **Grobfokussierung über das Ronchigitter.**

- Schrauben Sie das MFFT 55 an die Flatfieldkamera.
- Bringen Sie mit den Feinbewegungen oder den Motoren der Montierung einen hellen Stern auf die Fläche des Ronchigitters (das Auge muss dabei einen Abstand von ca. 20-30 Zentimeter haben).
- Ist der Stern eingestellt, bringen Sie das Auge direkt an die Glasplatte heran (Brillenträger können ohne Brille schauen). Sie sehen ein Schachbrett muster aus hellen und dunklen Quadranten (eine Art Gitterstruktur).
- Drehen Sie nun an der Fokussierung der Kamera. Wenn die quadratischen Löcher des Gitters größer werden, drehen sie in die richtige Richtung. Wenn die Löcher kleiner werden, müssen Sie in die andere Richtung drehen.

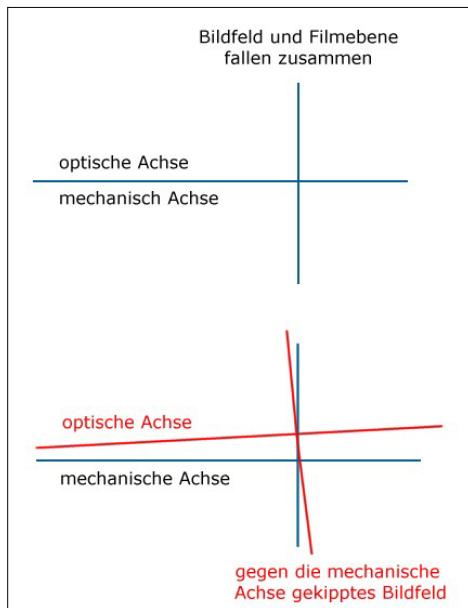
Der beste mit diesem Verfahren erreichbare Fokussierzustand ist dann erreicht, wenn vom Gitter nichts mehr zu sehen ist und ein „Loch“ die ganze Eintrittspupille füllt. Wenn Sie jetzt weiter in der gleichen Richtung am Fokussierknopf drehen, werden Sie merken, dass das Gitter wieder schrumpft. Sie haben dann die beste Einstellung überschritten und müssen die Fokussierung wieder in die andere Richtung drehen.

**Anschließend muss die Feinfokussierung über die Messerschneide (Zone 1) erfolgen. Die Fokussierung über das Ronchigitter ist nicht ausreichend.**

#### **Hinweis:**

Gewöhnen Sie sich an, den Fokus immer aus einer Drehrichtung einzustellen. Und zwar aus folgendem Grund: Beim Hin- und Herdrehen der Fokusschraube ändert sich leicht der Korrekturzustand des Fangspiegels, weil die Führung des Fangspiegels auf der optischen Achse ja nicht völlig spielfrei ist.

Ich fokussiere hierbei immer gegen den Uhrzeigersinn (mit Blick zum Himmel), dass entspricht der Richtung in die man fokussieren muss, um eine Temperaturabnahme auszugleichen. Die Bildebene verlagert sich weiter nach hinten.



Die große äußere Ringzone ist ebenfalls als Messerschneide ausgeführt. Sie dient zur Feststellung, wie gut das Bildfeld rechtwinklig zur mechanischen- und optischen Achse und damit zum T2 Kameraanschlussgewinde liegt.

Dazu wird jeweils ein Stern links oben, links unten, rechts oben und rechts unten fokussiert. Liegt das Bildfeld korrekt, muss sich (innerhalb kleiner Toleranzen) für die Fokussierung in allen vier Sternpositionen die gleiche Einstellung ergeben.

Trifft das nicht zu, bedeutet das, dass der Hauptspiegel schief im Tubus steht. Fotografisch oder auch mit der CCD Kamera macht sich dadurch bemerkbar, dass die Sterne in Bildmitte scharf, je weiter außerhalb der Bildmitte sie liegen, immer unschärfer abgebildet werden.

Die einfachste Methode diesen Zustand zu korrigieren ist die folgende:

Bauen Sie den Hauptspiegel samt Fassung aus dem Tubus aus. Nehmen Sie ein Stück Material, was gut zwischen die Rückwand und die Hauptspiegelfassung passt. Schieben Sie dieses Stück Material nacheinander jeweils neben die Tellerfederpakete und ziehen Sie die entsprechende Justageschraube so weit an, dass das Material gerade eben noch bewegt werden kann.

Anschließend wird der Spiegel wieder eingebaut und die Kamera muss komplett neu justiert werden.

Hinweis: Mit der äußeren Ringzone kann man natürlich bei anderen optischen Systemen auch eine Bildfeldkrümmung messen. Da das Bildfeld einer Flatfieldkamera streng gegeben ist, spielt dies hier aber keine Rolle.

### Mögliche Umbauten und Verbesserungen

Ich habe an meinen beiden Flatfieldkameras (3.5/500 und 4.0/760) folgende Änderungen vorgenommen, die zumindest für mich eine Verbesserung bedeuten.

- Umrüsten der Flanschplatte (4.0/760), bzw. der Rückplatte an der 3.5/500. Bedingt durch den zu engen Durchlass des T2-Gewindes werden Bilder, aufgenommen mit Kleinbildkameras in den äußeren Ecken vignetiert.



So habe ich das T2-Gewinde auf einer Drehbank ausgedreht und ein M60x0.75mm Innengewinde hineingeschritten. In dieses M60 Gewinde kann nun wahlweise ein Widefield Adapter der Firma Vixen (*Abbildung 18, links*) oder ein 2" Steckanschluss der Firma Baader eingeschraubt werden. Der Widefieldadapter von Vixen hat einen wesentlich größeren freien Innendurchmesser als ein üblicher

T2-Ansatz. Bei der 4.0/760 tritt keinerlei Vignettierung mehr auf, bei der 3.5/500 verbleibt eine Restvignettierung, bedingt durch den Lochdurchmesser im Hauptspiegel.



Abbildung 19 und 20: Links der Baader Adapter mit dem 1¼" Cessire Justierokular, rechts eine SBIG CCD-Kamera in der 2 Zoll Aufnahme

Der Baader-Ansatz dient zum sicheren Klemmen und stufenlosen Rotieren einer schweren CCD-Kamera. Zudem ist der 2" Steckanschluss und das 1¼" Reduzierstück dazu ausgesprochen präzise gefertigt, so dass bei Justierarbeiten das Cessire Okular sehr zentrisch geführt wird.

**Hinweis:**

Die SBIG Kamera zusammen mit dem CFW8 Filterrad ergibt ziemlich genau die geforderten 55mm bis zur Chipoberfläche. Arbeitet man ohne Filterrad, sollte zwischen Baader Ansatz und CCD Kamera eine ca. 25mm Verlängerung dazwischen geschaltet werden.



- Die zweite Verbesserung, die ich eingebaut habe, betrifft die Fokussierung der Kamera.

Der Fokusknopf hat serienmäßig eine Gravur zum Ablesen der Fokusstellung. Die Einteilung dieser Gravur ist jedoch so grob (siehe auch Tabelle ganz am Anfang), dass man sich fragen kann, was Lichtenknecker sich dabei gedacht hat.

So habe ich zusätzlich einen Streifen Millimeterpapier über die Gravur geklebt, die feiner unterteilt ist und eine wesentlich feinere Ablesung (nicht Einstellung) gestattet. Über die Messerschneide bei verschiedenen Temperaturen fokussiert, habe ich so eine Temperaturkurve, nach der ich (beim fotografischen Einsatz) die Kameras einfach nach der Skala fokussiere. Für Aufnahmen mit der CCD-Kamera gibt es eine zusätzliche Eichkurve. Hier hat man aber auch noch das ausgelesene Bild als Kontrolle.

Wenn man ohnehin den Spiegel zum Aufbringen der Mittenmarkierung ausbaut, kann man diese Aktion gleich mit erledigen.