

Der optische Tubus

Der beliebte Schmidt-Cassegrain stellt keine großen Anforderungen an die Präzision der Ausrichtung des Primärspiegels gegenüber dem Sekundärspiegel. Das gilt auch für alle seine jüngeren Derivate, die mit besseren Abbildungseigenschaften beworben werden, aber ebenfalls sphärische Spiegel verwenden. Die optische Achse eines sphärischen Spiegels wird nur durch seinen Rand, jedoch nicht von seiner Spiegelform her definiert. Damit lässt sich die Optik selbst dann einfach kollimieren, wenn beide Spiegel zueinander leicht verschoben eingebaut sind. Der Newton hat überhaupt nur eine bilderzeugende optische Fläche. Sein Tubus macht mit schweren Fokalinstrumenten eher wegen seiner Kopflastigkeit Probleme. Die Justage ist ebenfalls vergleichsweise einfach, da nur die eine optische Achse zentriert werden muss (man kann den Sekundärspiegel des Newton sozusagen als sphärischen Spiegel mit unendlich großem Kugelradius auffassen).



Weil ihre Spiegel ausgesprochen „schlampig“ eingebaut werden können, lassen sie diese Teleskope auch kostengünstig und in Massen herstellen. Da ist die Situation beim klassischen Cassegrain und erst recht bei einem RC ganz anders. Dort haben beide Spiegel eine von der Kugelform abweichende Gestalt und jeder einzelne damit auch eine definierte optische Achse. Es gibt deutlich höhere Anforderungen an die Ausrichtung der beiden Spiegel zueinander und an die vorhandenen Justagemöglichkeiten. Der Grund: Ein Versatz der optischen Achsen zueinander kann nicht mehr durch die Kippung von einem der beiden Spiegel allein weitgehend kompensiert werden. Beide Spiegel müssen nun verkippt, und zumindest einer der beiden Spiegel gegenüber dem Anderen auch seitlich fein verschoben werden können (sofern man nicht ein verkipptes Bildfeld in Kauf nehmen will). Die Justage ist komplizierter, da es Nebenoptimas gibt und deswegen das wahre Optimum schwerer zu finden ist. Die Justage muss in jeder Schwenklage des Tubus erhalten bleiben. Sie soll resistent gegenüber Erschütterungen und Temperaturveränderungen sein. Dazu benötigen große, klassische Cassegrain- und RC-Hauptspiegel eine sauber definierte Spiegellagerung. Diese sorgt außerdem dafür, daß sich der Spiegel nicht unter seinem eigenen Gewicht verformt. Das ist also der Grund, warum ein Cassegrain-Tubus aufwendig und normalerweise recht teuer ist. Hier wird nun eine Konstruktion vorgestellt, die alle genannten Anforderungen bestens erfüllt, die ohne Kohlefaser-Verbundwerkstoffe und andere schwer zu verarbeitenden Materialien und Einzelteile auskommt, und obendrein selbst gebaut werden kann.

Überlegungen zum Material

Die Verwendung von Stahl als Werkstoff für einen optischen Tubus ist bei Amateuren eher ungewöhnlich. Als häufigstes Argument dagegen wird das hohe Gewicht angeführt. Wenn man jedoch bedenkt, dass für die Steifigkeit das Verhältnis zwischen Gewicht und Elastizitätsmodul des Materials entscheidend ist, dann bemerkt man daß Aluminium dabei keinen Vorteil bringt. Um mit Aluminium die gleiche Steifigkeit zu erreichen muß ich die Materialstärke verdreifachen, was den Gewichtsvorteil wieder aufhebt.

Schweißen als Verbindungstechnik fällt bei Aluminium praktisch aus, wenn man das selber machen will. Es erfordert teure Spezialschweißgeräte. Man muß Aluminium "blind" schweißen können, da man die Schmelze im Lichtbogen nicht sehen kann.

Die Wärmeausdehnung des Tubus führt zu einer Fokusverschiebung bei Temperaturwechsel. Auch das ist bei Aluminium natürlich größer als bei Stahl. Mit einer spielfreien Sekundärspiegelfokussierung und ein wenig Steuerungstechnik ist eine temperaturkompensierte Scharfstellung möglich. Ganz nebenbei bemerkt kann eine solche Steuerung auch die Fokusdifferenzen verschiedener Filter eines Filterrades ausgleichen.

Die Verwendung von verschiedenen Werkstoffen (CFK-Rohre und Leichtmetall) ist unserer Meinung nach wegen der Verbindungsstellen beider Werkstoffe problematisch. CFK mag bei transportablen Instrumenten aus Gewichtsgründen sinnvoll sein, hier bei einem hochpräzisen, stationären Sternwarten-Teleskop ist kein nennenswerter Vorteil zu erkennen.

Wir selbst haben den Tubus aus rostfreiem Stahl hergestellt.

Inhaltsverzeichnis

Der optische Tubus	1
Überlegungen zum Material.....	1
Inhaltsverzeichnis.....	2
Konstruktionsmerkmale	2
Zerlegbar oder nicht?	3
Die Hauptspiegelzelle	3
Merkmale	3
Herstellung der Blechwanne	3
Drehteile.....	4
Temperaturkompensation.....	4
Bohrungen.....	4
Einsetzen der Buchsen	4
Einsetzen des Stahlringes.....	5
Hauptspiegellagerung (Mirror Support).....	5
Spiegellagerelemente	6
Der Spider-Ring	7
Die Spiderbleche	7
Sekundärspiegelzelle und Fokussierung	8
Die Biegebleche der Sekundärspiegelfokussierung	8
Die Achse der Sekundärspiegelzelle	8
Die Sekundärspiegelzelle	9
Die Basisplatte für das Fokussiergetriebe	9
Die Fokussteuerung.....	10
Die Getriebeabdeckung	10
Tragkasten.....	10
Serrurier Streben	12
Zusammenbau des Tubus	12
Anwendung der Zentrierlehre:	12
Blendenrohre	13
Spiegelabdeckung	13
Gegengewichtsringe.....	13
Lackierung	14

Konstruktionsmerkmale



Anschauben der Hauptspiegelzelle

Die Durchbiegung des Tubus unter seinem eigenen Gewicht führt bei konventionellen Konstruktionen mit Volltubus zu einer Verkippung der optischen Achsen zueinander. Sie wird hier durch das Serrurier-Prinzip in eine Parallelverschiebung des Sekundärspiegels gegenüber dem Tragkasten (die sogenannte Ablage) umgewandelt. Es ist daher nicht egal wo und wie die Streben des Gittertubus am Tragkasten und am Spider-Ring ansetzen, sie müssen 4 Dreiecke bilden. Nur bei richtiger Anordnung der Gitterstreben funktioniert das Serrurier-Prinzip wirklich. Anderenfalls ist die Wirkung nur teilweise vorhanden und es kommt auch beim Gittertubus zu einer Verkippung der Achsen. Auf der anderen Seite der Tubusaufhängung (bei uns ist das der massive Tragkasten und nicht irgend ein windiger

Rahmen) kommt ein dem Serrurier-Prinzip äquivalente Konstruktion zum Einsatz. Sie erlaubt einen besonders kurzen Abstand des Hauptspiegels zur Deklinationsachse: Die Hauptspiegelzelle hängt an 4 Bolzen am Tragkasten. Die Durchbiegung der Bolzen unter dem Gewicht der Hauptspiegelzelle führt nun ebenso zu einer Parallelverschiebung des Hauptspiegels gegenüber dem Tragkasten. Die Bolzen sind nun so dimensioniert, daß sich beide Parallelverschiebungen (die vom Hauptspiegel und die vom Sekundärspiegel) gegenseitig aufheben. Die optischen Achsen beider Spiegel fluchten daher in jeder Schwenklage des Tubus, die Ablage verschwindet. Wie diese Konstruktion zeigt, benötigt man dazu nicht unbedingt auch Hauptspiegelseitig Serrurierstreben.

Zerlegbar oder nicht?

Von den abschraubbaren Spiegelzellen und Blendenrohren abgesehen, besteht der Tubus aus einem einzigen zusammengeschweißten Teil. Wir sind der Meinung, daß die erreichbare hohe Präzision der optischen Zentrierung nur so gesichert werden kann. Das gilt insbesondere dann, wenn man eine RC-Optik verwenden will. Wer aus Transportgründen eine Zerlegung in Spider-Ring, Streben und Tragkasten will, der sollte sich entweder einen Dobson bauen wegen der geringeren Anforderungen an die optische Zentrierung, oder eine kleinere Öffnung wählen, damit er den Tubus nicht zerlegen muß.

Zum Zwecke der Justierung ist eine Schraubverbindung bei den Gitterstreben nicht notwendig. Für die Zentrierung der Optik sind in der Gesamtkonstruktion genügend stabile Justierelemente vorgesehen.

Die Hauptspiegelzelle

Merkmale

Hier kommt zum ersten Mal die Technik der "zusammengezogenen Ringe" zum Einsatz. Anstatt eine schwere dickwandige Platte als Hauptspiegelträger zu verwenden, die noch zusätzlich mit angeschweißten Rippen zur Aussteifung versehen ist (bei vielen älteren Teleskopen der Fall), kommt hier eine leichte Konstruktion aus 1.5mm starkem Blech zur Anwendung, die in punkto Steifigkeit weit überlegen ist. Die zusätzliche Anwendung von Rippen zur Aussteifung bringt nach einer Berechnung des Konstrukteurs keine weitere Verbesserung der Steifigkeit.

Die Spiegelauflageelemente (9-Punkt Auflage) stützen sich auf einem 2cm starken Stahlring ab, welcher auch als Flansch zur Montage der Fokalinstrumente und deren Ausgleichsgewichte dient.

Herstellung der Blechwanne

Nach dem Ausschneiden der Blechteile (2 Ringe und 2 Blechstreifen) wird der große Ring radial aufgeschnitten und ein Segment herausgeschnitten. Die ursprüngliche Größe des Ringes und die des Segmentes lassen sich mit den Schulkenntnissen in Geometrie ermitteln. Nun wird der offene Ring mit der Hand zusammengezogen. Ganz automatisch formt er sich zu einem Kegelmantel. Man muss zu Zweit sein um den nun unter hoher mechanischer Spannung stehenden Kegelmantel mit 2 Tischlerzwingen in der richtigen Form zu fixieren. Einer zieht den Ring zusammen, der Andere setzt die Zwingen an. Dann wird der Kegelmantel mit dem MIG-Schweißgerät durch einzelne Schweißpunkte zusammengeheftet. Seine Herstellung ist also ganz einfach, ohne Spezialwerkzeug und ohne einen einzigen Hammerschlag möglich. Genauso ist später bei der Herstellung des Spider-Rings zu verfahren.

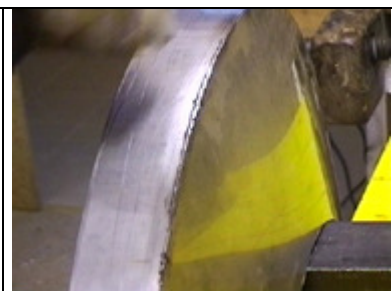
Nun werden die zu 2 Ringen zusammengeschweißten Blechstreifen aufgesetzt und angeheftet. Anschließend wird mit dem Deckring ebenso verfahren. Korrekturen sind durch Abschleifen und Aufstemmen der Heftpunkte zunächst noch leicht möglich. Erst wenn alle 4 Blechteile zusammengeheftet sind und auch passen, wird zwischen den einzelnen Heftpunkten verschweißt. Dabei versucht man die entstehenden mechanischen Spannungen durch setzen von einzelnen einander gegenüberliegender Schweißpunkten zu kompensieren. Keinesfalls darf man längere Schweißraupen in einem Durchgang ziehen, sonst verzieht sich das Werkstück hoffnungslos.



2 Teile sind zusammengeheftet



3 Teile sind zusammengeheftet



WIG-Schweissnaht

Drehteile

Den oben erwähnten 2cm starken Stahlring lässt man sich von einer Firma grob ausschneiden. Anschließend ist er von allen Seiten auf der Drehbank abzdrehen. Zur besseren Auflage kann er außen mit einem Absatz versehen werden. Zur Positionierung der zahlreichen Gewindebohrungen ist ein Teilapparat sehr hilfreich, ansonsten lässt man diesen Teil komplett anfertigen. Die 4 Bolzen an denen später die ganze Hauptspiegelzelle hängt, sind an einem Ende mit kurzen Passungen und Gewinden versehen. Auf diese Passungen werden Stahlbuchsen geschoben, welche später in die Spiegelzelle eingeschweißt werden. 3 weitere Stahlbuchsen dienen zur Lagerung der seitlichen Spiegelauflageelemente über Zinkbolzen. Alle diese Teile können gut mit einer kleineren Drehbank selbst hergestellt werden. Das Gleiche gilt auch für die 3 Zinkbolzen, welche vorne eine herausgedrehte Kugel besitzen. Diese Kugel lässt sich auch ohne spezielle Kugeldrehvorrichtung fertigen.

Temperaturkompensation

Zink als Material wurde wegen seiner hohen Wärmeausdehnung gewählt. Die seitliche Spiegelauflage wird damit je nachdem welche Blechsorte man für die Spiegelzelle verwendet, ganz oder teilweise temperaturkompensiert. Die Länge der Zinkbolzen kann mitsamt der Stahlbuchsen zur Temperaturkompensation auch verändert werden. Längere Bolzen stehen dann außen seitlich an der Spiegelzelle mehr heraus. Zur Berechnung setzt man die Länge der Zinkbolzen in Beziehung zum Gesamtradius der Spiegelzelle unter Berücksichtigung der jeweiligen Temperatureausdehnung des Materials. Die Obergrenze für die Länge ergibt sich aus der Gabelöffnung und dem Winkel der Zinkbolzen zur Deklinationsachse. Die Spiegelzelle muss ja in der Gabel durchschwenken können.



Bohrungen

Die Bohrungen in der Spiegelzelle zur Aufnahme der 7 Stahlbuchsen (4 hinten und 3 seitlich) haben wir mit Bimetall-Lochsägen und einer kräftigen Handbohrmaschine bzw. auf der Drehbank hergestellt.



Einsetzen der Buchsen

Die 3 seitlich an der Spiegelzelle angebrachten Stahlbuchsen werden einzeln eingesetzt und verschweißt. Die 4 Buchsen zur Befestigung der ganzen Spiegelzelle müssen zusammen mit den dazu passenden Bolzen in ihrer späteren Anordnung eingesetzt werden. Wir haben dazu eine einfache Lehre aus Spanplatten gefertigt, welche die 4 Bolzen in der richtigen Position parallel hält. Als Alternative kann man auch den zentralen Teil des Tubus, den Tragkasten zuerst herstellen. Die 4 Bolzen zur Befestigung der Spiegelzelle sind dann bereits fix im Tragkasten verschweißt. Die Bohrungen für die 4 Buchsen werden dann entsprechend angepasst.

Einsetzen des Stahlringes



Probetalber einsetzen des Stahlringes

Die Spiegelzelle wird so auf den 2cm starken Stahlring aufgesetzt, daß dieser gegenüber den 4 Befestigungsbuchsen eben und zentrisch ist. Er wird an der Innenseite der Spiegelzelle an diese angeschweißt. Falls er sich dabei verzieht, ist seine spätere Funktion als ebener Befestigungsflansch für Fokalinstrumente in Frage gestellt. Wir hatten auch dieses Problem. Wir haben es durch die Fertigung eines zweiten Ringes gelöst, welcher mit dünnen Unterlagsscheiben an den Ersten angeschraubt wird und der dann absolut plan ist.

Hauptspiegellagerung (Mirror Support)

Bei der rückseitigen, der achsialen Lagerung des Hauptspiegels handelt es sich um eine statisch bestimmte, 9-Punkt Spiegelaufgabe. Radial wird der Hauptspiegel von 3 Auflageelementen gehalten, welche temperaturkompensiert mit Kugelgelenken gelagert, den Spiegel an 6 Gleitflächen am Außenrand berühren. Auf diese Weise ist der Spiegel auf die Achse des Fokalinstrumentenflansches zentrier- und fixierbar. Diese Kugelgelenke sorgen dafür, dass der Spiegel entlang der 6 Gleitflächen am Außenrand beweglich bleibt und damit in seiner achsialen Lagerung nicht behindert wird. Es wird dadurch zu keiner Verformung des Spiegels kommen und er wird trotzdem nicht beim Schwenken des Tubus verrutschen. Neben der Leichtigkeit der Konstruktion ist das der Clou an der Sache bei der Pressberger'schen Spiegelzelle. Die auf den berühmten Instrumentenbauer Thomas Grubb aus Irland 1838 zurückgehende, statische Art der achsialen Spiegellagerung wird im amerikanischen auch „whiffeltree“ genannt. Sie ist jedoch keineswegs veraltet, schon gar nicht verglichen mit der etwa gleich alten astatischen Spiegellagerung nach Lasselle mit ihren Hebeln und Gegengewichten. Der einzige Vorteil der Lassell'schen Hebel ist ihre nachträgliche individuelle Justierbarkeit bei eingebauter Optik. Dieser Vorteil wirkt sich aber nur bei vielen Auflagepunkten aus. Allerdings wird eine nachträgliche Optimierung der Spiegellagerung, bedingt durch die vielen Freiheitsgrade der Einstellung jedoch so schwierig, dass meist darauf verzichtet wird. Eine rein achsiale Spiegellagerung nach Lasselle verwendet man dann, wenn der Spiegel radial in seiner Bohrung gehalten und fixiert werden soll. Problematisch bleibt die Ausführung der Hebelgelenke. Sie dürfen auch nach langer bewegungsloser Verharrung kein Losbrechmoment erzeugen, was sie in der Praxis leider oft tun. Noch problematischer ist die Lasselle-Lagerung in radialer und achsialer Ausführung. Das Gewicht der ganzen Spiegelzelle wird geradezu verdoppelt und die notwendige Fixierung des Spiegels kann schwierig werden. Eine richtig konzipierte Grubb'sche Spiegellagerung liefert hingegen von vorne herein die richtigen Auflagekräfte für den Spiegel. Da braucht man gar nichts einzustellen. Übrigens, moderne Großteleskope haben auch keine Lassell-Hebeln sondern meist eine mitunter rechnerunterstützte hydraulische und damit ebenfalls statisch bestimmte Spiegellagerung. Bilder der neuen 1.8m Auxillary-Telesopes der ESO zeigen Grubb'sche Spiegelaufgabe in ihrer klassischen Form.

Spiegellagerelemente

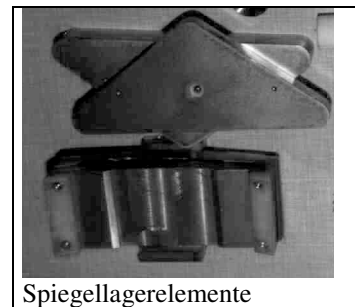


Spiegellagerelemente in der Spiegelzelle

senkrechten Stahlstiften wird die Lage der Dreiecksplatten definiert. Wer hier Bedenken hinsichtlich der Reibung hat, der möge kleine Teflonbuchsen in beide Bohrungen einsetzen.

Die 6 Auflageelemente des Hauptspiegels (3 Dreiecksplatten achsial und 3 Waagbalken radial) werden aus Aluminiumplatten gefertigt. Die Aluminiumteile werden zum Schluss schwarz eloxiert (Eloxieren wird extra beschrieben). Ein grobes Zurechtschneiden ist mit einer Tischkreissäge von Hand möglich. Für die weitere Bearbeitung verwendet man den Fräsaufsatz mit Fingerfräsern. Die Berührungspunkte mit dem Hauptspiegel werden mit Teflonaufgaben versehen. Die Dreiecksplatten der 9-Punkt Auflage ruhen auf 3 gehärteten Stahlkugeln. Diese liegen unten auf polierten Feingewindebolzen und oben auf eingesetzten Stahlplättchen auf. Die Kugeln selbst werden von Filzringen in den Dreiecksplatten festgehalten. Mit je 2 ganz locker in Bohrungen der Dreiecksplatten von unten eingreifenden, am zentralen Stahlring der

Spiegelzelle angeschweißten

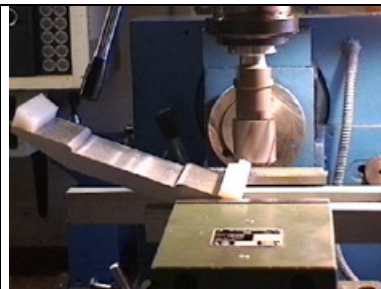


Spiegellagerelemente

Auch die 3 radialen Auflageelemente (Waagbalken) sind mit Kugelgelenken gelagert. Dadurch wird eine Behinderung der Statik bei der rückseitigen Spiegelaufgabe verhindert. Sie verteilen die Auflagekräfte auf je 2 Auflagebacken, insgesamt also 6 seitliche Spiegelaufgaben. Sie sind weiters mit 3 Sicherungsnocken versehen, welche das Herausfallen des Hauptspiegels verhindern sollen, falls sich der Tubus infolge einer Störung der Teleskopsteuerung nach unten neigen sollte. Die Gelenkskugeln werden hier am Ende von Zinkbolzen befindlich, selbst auf einer kleinen Drehmaschine hergestellt. Dabei ist nicht unbedingt eine perfekte Kugelpfanne im Auflageelement erforderlich, eine mit einem gut geschliffenen Spiralbohrer gesetzte Bohrung genügt. Die Kugel wird dann beim Drehen des Zinkbolzens in die jeweilige Bohrung spielfrei eingepasst.



Zinkbolzen drehen



Seitliche Spiegelaufgabe fräsen



Fertiger Zinkbolzen mit Rändelrad und Kugel

Zink wird wegen seiner hohen Wärmeausdehnung zur Temperaturkompensation verwendet. Falls man das Zink nicht in Stangenform erwerben kann, ist es ratsam es selbst in ein eisernes Wasserleitungsrohr zu gießen. Nach der Abkühlung kann es aus dem Rohr ausgetrieben werden.

Einer der 3 Zinkbolzen wird am anderen Ende mit einem Rändelrad versehen. Hiermit kann der Spiegel in Zenitstellung durch händisches Lockern des Zinkbolzens in der Stillstandszeit mechanisch entlastet werden.

Damit der Hauptspiegel auf den Teflon-Auflageelementen gut gleiten kann, sollte er auf der Unterseite und seitlich möglichst glatt bearbeitet (geschliffen bzw. sogar poliert) sein.

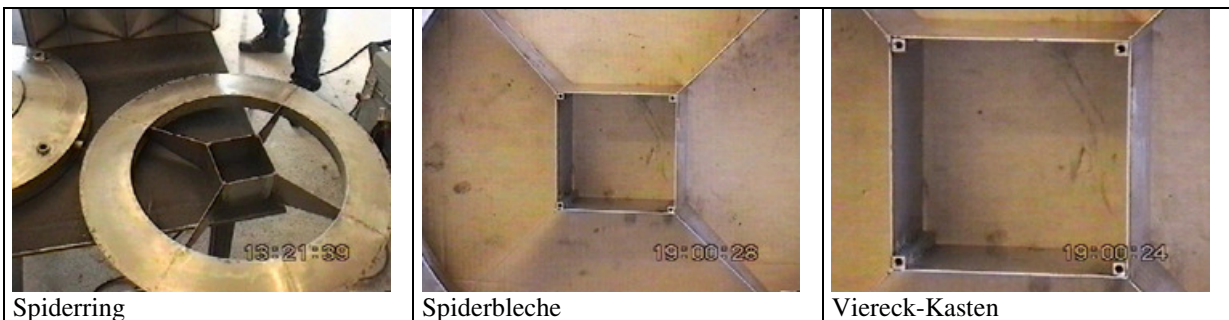
Der Spider-Ring

Ähnlich wie bei der Spiegelzelle werden auch hier zunächst 2 aufgeschnittene Ringe aus 1mm starkem Stahlblech zu einem Kegelstumpf zusammengezogen und verschweißt. Anschließend werden sie genau aufeinandergelegt und zusammengeheftet. Dadurch entsteht der Spider-Ring mit seinem charakteristischen Querschnittsprofil in Form eines spitzen Dreiecks. Dieses Profil verleiht dem Spider-Ring seine unübertroffene Steifigkeit.

Die Spiderbleche

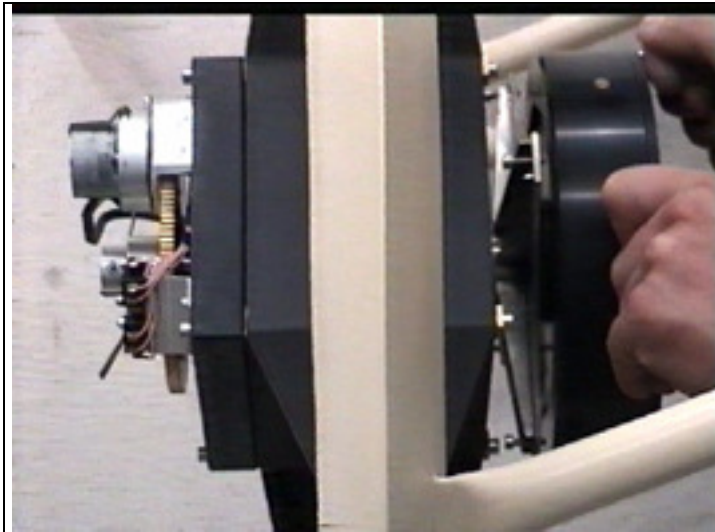
Die 4 dreiecksförmigen Spiderbleche sollten etwas länger ausgeschnitten werden, als es dem Plan entspricht. Erst später nach dem Verschweißen mit dem Ring werden sie auf die richtige Länge gebracht. Zunächst sind sie im Ring genau gegenüber anzuhängen. 4 Blechstreifen werden nun zu Viertelkreisen gerollt und komplettieren nun das Dreiecksprofil des Spider-Rings. Vor dem Anheften an den Ring sollte man bei einem der Viertelkreise eine Ausnehmung vorsehen, dort wo er an das Spiderblech anliegt. Durch diesen Schlitz kann später ein Flachbandkabel zur Stromversorgung der Sekundärspiegelzelle geführt werden. Benötigt wird diese für die elektrische Sekundärspiegelfokussierung, deren Endschalter, eine eventuelle Taukappenheizung oder für einen Sicherheits-neigungsschalter.

Erst jetzt werden die Heftpunkte zu einer vollständigen Schweißnaht ergänzt. Dabei gilt wieder die Regel, genau auf die Verzugerscheinungen zu achten und die Schweißpunkte gewissermaßen strategisch richtig zu setzen, damit sich nicht der ganze Ring einseitig verzieht. Wenn die beiden Kegelmantelflächen zum Schluß gleichmäßig leicht gewölbt sind, dann hat man das Optimum erreicht.



Die Biegebleche der Sekundärspiegelfokussierung werden später an einen viereckigen Kasten angeschraubt, der im Zentrum des Spider-Rings mit den Spiderblechen verbunden wird. Dieser Kasten aus 4 rechteckigen Blechen und 4 Stangen aus 8mm Vierkantprofil wird jetzt hergestellt. Wenn er die richtige Form besitzt, werden die bis jetzt zu langen Spiderbleche mit der Stichsäge so gekürzt, daß der Kasten im Zentrum des Spider-Rings eingesetzt und verschweißt werden kann. Die bei diesem Schweißvorgang entstehenden Zugspannungen ziehen die Spiderbleche gerade. Die ganze Konstruktion wird dabei ausgesteift.

Sekundärspiegelzelle und Fokussierung



Sekundärspiegeleinheit von der Seite gesehen

präzise Feinfokussierung, einen Temperatenausgleich oder eine Anpassung an verschiedene Filterdicken bei einem Filterrad.

Der Sekundärspiegel wird bei dieser Konstruktion über ein Feingewinde bewegt, angetrieben von einem Schrittmotor über ein Stirnradgetriebe. Das Stirnrad und sein Ritzel sind als genormte Maschinenteile von Getriebeherstellern zu beziehen. Der Schrittmotor, eventuell mit zusätzlichem Untersetzungsgetriebe ist im Elektronikversandhandel erhältlich. Bewegt wird eine aus Gewichtsersparnisgründen ausgehöhlte Achse, die fest mit den Biegeblechen und der Spiegelzelle verschraubt wird. Das ermöglicht eine spielfreie Auf/Ab-Bewegung des Sekundärspiegels um etwa 2mm ohne die geringste Verkippung oder seitliche Verschiebung. Der Fokusweg im Brennpunkt des Gesamtsystems ist entsprechend größer. Das ist ideal für eine

Die Biegebleche der Sekundärspiegelfokussierung

Wir haben die Biegebleche aus 0.5mm starker Federbronze mit der Stichsäge ausgeschnitten. Das untere Biegeblech wird um die 4 äußeren Befestigungsbohrungen herum mit aufgelöteten Messingplättchen verstärkt. Die Lage der 4 äußeren Befestigungsbohrungen wird durch Maßnahmen am fertigen Viereckkasten vom Spider-Ring ermittelt.



Biegebleche

Die Achse der Sekundärspiegelzelle

Die von den Biegeblechen geführte Achse der Sekundärspiegelzelle ist zusammen mit der Abstandshülse für die Biegebleche, der Befestigungsmutter und der einzupressenden Feingewindemutter ein Werkstück für die Drehbank. Das mit Aussteifungsrippen verstärkte 3mm starke Abstützblech mit dessen Hilfe ein Verkippen der Sekundärspiegelzelle zur optischen Zentrierung ermöglicht wird, haben wir mit der Stichsäge ausgeschnitten und an die Achse mit feinen WIG-Schweißnähten angeschweißt.



Achse mit Druckfeder

Die Sekundärspiegelzelle

Sie wird aus Aluminium-Rundmaterial herausgedreht. Über ein Gewinde kann sie auf die Achse aufgeschraubt



Sekundärspiegelzelle auf Achse aufgeschraubt

werden. Dabei ist auf einen definierten Endanschlag zu achten. Die Rückwand der Spiegelzelle ist dünn zu halten, damit die Kippung des Spiegels durch Biegung der Zellenrückwand möglich wird. Seitlich ist die Spiegelzelle dickwandig ausgeführt. Der Spiegel liegt außen achsial auf einem herausgedrehten Ring am Boden der Spiegelzelle auf. Da der Spiegel auf der Rückseite nicht Plan ist sondern für optische Tests beim Schliff, von LOMO eine konkave optische Fläche erhalten hat, wird er ähnlich wie eine optische Linse in einem Objektiv gehalten. Ein zweiter Ring welcher mit M3-Schrauben an der Spiegelzelle befestigt wird, deckt den Spiegelrand ab und fixiert den Spiegel. Durch die Fixierung des Spiegels an nur 3 Stellen im Winkel von 120° wird eine mechanische Verspannung des Spiegels vermieden. Gleichzeitig wird erreicht, dass

der Spiegel nicht seitlich verrutschen kann. Die seitlich angebrachten Schrauben helfen den Spiegel zentrisch in die Zelle einzubauen. Man kann sie nach der Zentrierung und Fixierung des Spiegels wieder lockern. Der Spiegel sollte seitlich nicht gedrückt werden da wir im Gegensatz zum Hauptspiegel hier keine Temperaturkompensation haben. Alle Stellen die mit dem Spiegel in Berührung kommen, werden mit selbstklebenden Teflon von 0.5mm Stärke versehen. Die ganze Zelle mit dem Abdeckring ist schwarz zu eloxieren.

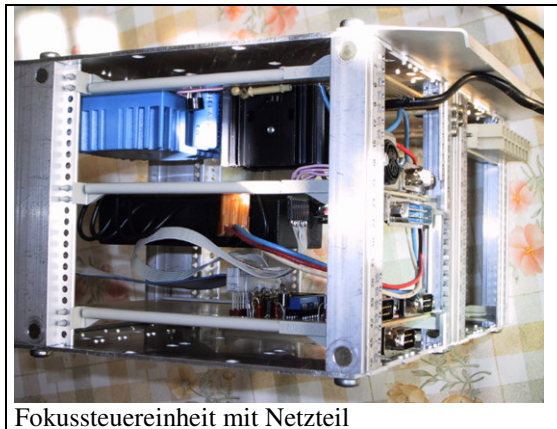
Die Basisplatte für das Fokussiergetriebe



Fokusgetriebe mit Schleppzeiger und Endschalter

Dieser massive Teil aus 4-kant Aluminium ist einer der wenigen größeren Frästeile. Er ist auf der Unterseite mit dem Fräser auszuhöhlen, um für die Druckfeder und die Befestigungsmutter der Achse Platz zu schaffen. Das Stirnradgetriebe und der Fokusmotor mit seinen Endschaltern wird an der Oberseite der Basisplatte befestigt. Wenn man Endschalter verwendet hat man normalerweise nur eine einzelne Umdrehung des Stirnrades als Fokussierbereich. Durch die Verwendung von kugelgelagerten Schleppzeigern kann der Fokussierbereich auf 2 oder mehrere Umdrehungen der Feingewindeschraube erhöht werden.

Die Fokussteuerung



Fokussteuereinheit mit Netzteil

Wir verwenden zur Fokussteuerung ein fertiges einfaches Schrittmotor-Interface (KEMO) zur Ansteuerung über die parallele Schnittstelle eines Rechners. Genauso wären aber auch fertige Schrittmotorsteuerkarten oder industrielle Schrittmotor-Ansteuerungs-IC's verwendbar. Der ursprünglich verwendete ATARI-ST zur Steuerung des Fokus über die serielle Schnittstelle wurde inzwischen durch eine Steuerung via USB ersetzt. Das selbstgeschriebene Programm generiert die nötige Impulsfolge für den Schrittmotor und ist Bestandteil des neuen Sternwarten-Leitsystems. Damit die Feinfokussierung auch via Handsteuerbox möglich wird, sind 2 Tasten der Handsteuerbox mit 2 digitalen Eingängen des Rechners verbunden. 1 weiterer Eingang steht mit beiden Endschaltern (siehe oben) in Verbindung.

Folgende Funktionen sind im Sternwarten-Leitsystem zur Zeit realisiert:

- Fokus + (Einzelschritt oder Dauerlauf)
- Fokus - (Einzelschritt oder Dauerlauf)
- Fokusweg Mittenstellung (Initialisierung der Fokusposition im Rechner)
- Speichern / Rückruf der abgespeicherten Position
- Der Fokalinstrumentierung entsprechende, namentliche Auswahl von Fokuspositionen
- Einmalige Nachführung der Fokusposition entsprechend der Tubustemperatur
- Dauernde Nachführung der Fokusposition nach der Temperatur (Autofokus)

Als Temperaturfühler dient ein handelsüblicher Funksensor zu einer Wetterstation. Eine Verbindung mit der zukünftigen Filterradsteuerung ist geplant und erfordert lediglich eine Softwareerweiterung.

Die Getriebeabdeckung

Sie wird aus dünnem Alublech in Art einer Faltschachtel hergestellt. Wir haben eine Blechstärke von 0.3mm verwendet und die "Schachtel" mit schwarzem Schulfafellack versehen. Man hätte sie auch eloxieren können, aber uns war gerade die Schwefelsäure ausgegangen.

Tragkasten

Der Mittelteil des Tubus besteht aus einem Kasten mit quadratischem Außenquerschnitt. Er besteht hauptsächlich aus Stahlblech von 1.5mm Stärke. Verstärkt wird das Blech nur an jenen Stellen, wo später die Deklinationslager ansetzen. Wir haben die Materialstärke auch dort erhöht wo die Serrurier-Streben angeschweißt werden. Die 4 Bolzen, welche die Spiegelzelle tragen, wurden schon bei der Hauptspiegelzelle erwähnt. Sie sind zusammen mit inneren Aussteifungsblechen fest mit dem Tragkasten verbunden.

Man beginnt bei der oberen Deckfläche und heftet zunächst den eingerollten Zylinder an. Hat man die Spiegelzelle noch nicht gefertigt, dann werden jetzt die 4 Bolzen angeheftet und parallel ausgerichtet. Hat man (wie wir) die Spiegelzelle bereits fertig, so kann man die 4 Bolzen in die Spiegelzelle einsetzen und anschrauben. Man fädelt das untere Deckblech darüber und setzt jetzt den Zylinder mit dem oberen Deckblech darauf. Jetzt werden die Aussteifungsbleche eingesetzt und alles zusammengeheftet. Die Spiegelzelle kann jetzt wieder abgeschraubt werden. Wenn alles passt, werden zwischen den Heftpunkten wechselseitig weitere Schweißpunkte gesetzt, solange bis die Schweißnaht vollständig ist. Da die Schweißpunkte im Inneren des Kastens gesetzt werden, erübrigt sich eine Nachbearbeitung.



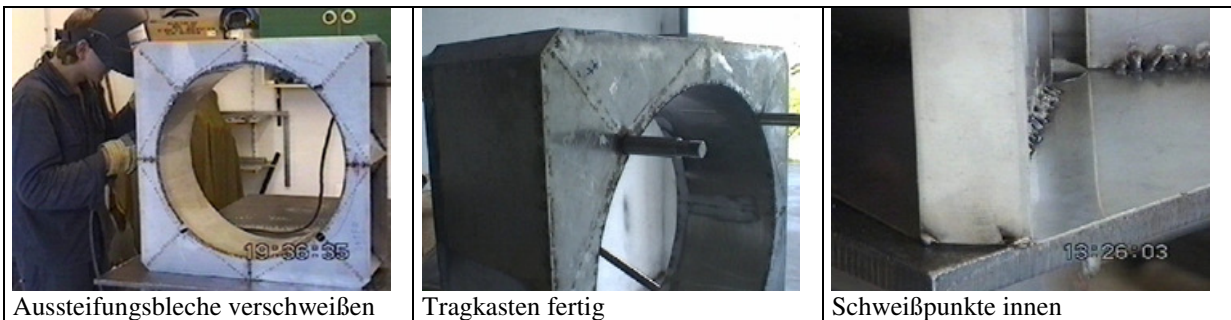
Tragkasten innen schweißen

Spiegelzelle richtet Bolzen aus

Schweißpunkte von aussen

Als nächstes werden die 4 stärkeren Eckverbindungsbleche angeschweißt. Sie verleihen dem Tubus nicht nur sein elegantes Aussehen, sondern können auch gut zugänglich mit den 4 radialen Aussteifungsblechen verbunden werden.

Jetzt werden die äußeren seitlichen Deckbleche angefügt. Dort wo diese mit den inneren Aussteifungsblechen zusammenstoßen werden Bohrungen angebracht, um mit dem Schweißgerät durch die Bohrungen hindurch die Aussteifungsbleche mit den seitlichen Deckblechen verbinden zu können.



Aussteifungsbleche verschweißen

Tragkasten fertig

Schweißpunkte innen

Zum Schluss werden die beiden 1cm-starken Lagerplatten aus 10cm Flachstahl abgeschnitten und mit der großen Bohrung zur Aufnahme des Deklinationslagers versehen. Konzentrisch um diese Bohrung sind M6 Gewinde angeordnet. Sie werden für einen Kranz von Zug- und Druckschrauben benötigt, über die auch das große Delta-Antriebsreibrad gehalten und justiert wird. Die Lagerplatten werden (nach genauer Einmessung) sowohl am Rand und wenn möglich mit WIG auch durch die Lagerbohrung hindurch mit dem seitlichen Deckblech verschweißt.

Wenn auch die Hauptspiegelzelle schon fertig ist, kann man dem Versuch beide nun fertigen Tubusteile zusammenschrauben sicher nicht widerstehen. Keine Sorge, wenn die Spiegelzelle nun nicht gleich „leichtgängig“ auf die Bolzen des Tragkastens rutscht. Ein paar kräftige Schläge mit dem „Holzhammer“ auf die Bolzen an der richtigen Stelle, und es wird perfekt passen. Bitte nicht vergessen, die richtige Lage zueinander zu kennzeichnen. Sonst kann es passieren, daß man bei der Endmontage des Teleskops leicht verzweifelt.

Serrurier Streben

Die „Stangen“ des Gittertubus, die sogenannten Serrurier Streben bestehen aus Stahlrohr mit 2.5cm Durchmesser und 1mm Wandstärke. Sie werden zunächst mit etwas Überlänge abgeschnitten. Die Enden der Rohre werden in einem ungefähr ihrer späteren Schräglage entsprechenden Winkel, im Schraubstock abgequetscht. Dadurch entstehen die statischen "Gelenke" die dem Serrurier-Prinzip entsprechen. Am oberen Tubusende stoßen jeweils



Ansatz der Serrurierstreben am Tragkasten (links) und am Spiderring (rechts)

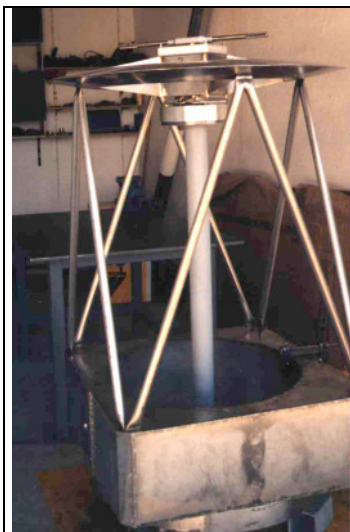
2 Streben mit einer gewissen Verschneidung zusammen. Sie werden so abgeschnitten wie es der Schnittfläche zueinander an dieser Stelle entspricht. Durch Nachbearbeitung mit der Feile wird dafür gesorgt, daß die Schnittflächen genau zusammenpassen. Nun

können sie im richtigen Winkel der späteren Schräglage angeordnet, mit dem WIG-Gerät miteinander verschweißt werden. Erst jetzt bringt man die 4 nun „V“-förmigen Paare der Streben auf ihre endgültige genaue Länge.

Zusammenbau des Tubus

Zunächst werden die 4 "V"-förmigen Strebenpaare am Tragkasten mit dem Schweißgerät angeheftet. Der Spider-Ring wird oben draufgelegt. Es kommt nun darauf an, den Spider-Ring gegenüber der Hauptspiegelzelle zu zentrieren und dabei eventuell auch das "Spacing", den rechnerischen Abstand zwischen Haupt- und Sekundärspiegel richtig festzulegen. Dazu gibt es 2 Möglichkeiten:

- Anwendung des Laserzentriergerätes. Es wird später auch zur nahezu perfekten Zentrierung der beiden Spiegel benutzt. Bau und Anwendung wird in einem eigenen Kapitel beschrieben.
- Herstellung einer mechanischen Zentrierlehre in Form eines Rohres mit angeschweißten genau gedrehten Ansatztellern.



Tubus mit Zentrierlehre

Wir haben die fertige mechanische Zentrierlehre freundlicherweise von R. Pressberger, dem Konstrukteur des Teleskops zur Verfügung gestellt bekommen. Wer sie anfertigen lassen will (oder selbst anfertigen will) verwendet ein starkes steifes Eisenrohr (3" Wasserleitungsrohr) und schweißt an den Enden 2 Eisenscheiben drauf. Abstand und Durchmesser der Eisenscheiben ist so zu bemessen, daß die eine Scheibe an der montierten Sekundärspiegelzelle angesetzt werden kann, die andere Scheibe wird an den Montageflansch für Fokalinstrumente der montierten Hauptspiegelzelle angepasst. Dazu sollte die ganze Lehre an einer großen Drehbank am besten in einer Aufspannung gedreht werden.

Anwendung der Zentrierlehre:

Tragkasten und Hauptspiegelzelle wird zusammengeschraubt, die Zentrierlehre durchgeschoben und am Fokalinstrumentenflansch befestigt. Nun wird der Spider-Ring mit montierter Sekundärspiegelzelle einfach draufgesetzt. Jetzt können die Serrurier-Streben angeheftet und dann fix verschweißt werden. Damit ist der Tubus bis auf die Lackierung fertig.

Blendenrohre



Aufschrauben der Blendenrohrverlängerung

fungiert auch als Taukappe und ist mit dem Staubschutzdeckel des Sekundärspiegels verschließbar.

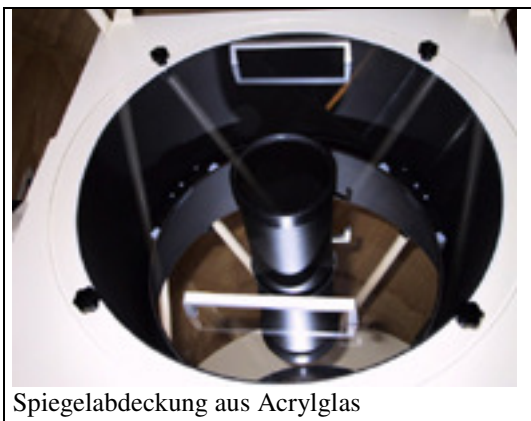
Die Blendenrohre haben die Aufgabe, den direkten Lichteinfall ins Okular bzw. auf den CCD, also den Lichteinfall unter Umgehung der Optik zu unterbinden. Andererseits führt eine zu restriktive Bemessung der Blendenrohre zu einer Vignettierung des Gesichtsfeldes. Die Dimensionierung für ein gewünschtes Gesichtsfeld kann durch maßstäbliches Zeichnen des Lichtweges mit dem Einzeichnen (durchfädeln) der Randstrahlen ermittelt werden. Wir haben auch ein kleines BASIC-Programm zur Berechnung entwickelt.

Die Blendenrohre bestehen aus 2 Teilen. Das hintere Blendenrohr wird von hinten durch die Spiegelzelle und die Hauptspiegelbohrung gesteckt und am Fokalinstrumentenflansch befestigt. Das vordere Blendenrohr sitzt auf der Sekundärspiegelzelle,

Bei uns ist das hintere Blendenrohr aus dünnem Nirostablech gerollt und verschweißt. Zur Befestigung am Fokalinstrumentenflansch wird eine Fassung aus Aluminium gedreht und schwarz eloxiert. Das Rohr selbst wird mit Schleifpapier aufgeraut und mit Schultafellack mattschwarz lackiert. Um einen einzelnen geschlossenen Staubschutzdeckel für den Hauptspiegel verwenden zu können, haben wir das hintere Blendenrohr geteilt und mit einer schraubbaren Verbindung versehen.

Die vordere Blende wurde aus Gewichtsgründen aus Alublech gerollt. Die Schweißnaht haben wir anfertigen lassen.

Spiegelabdeckung

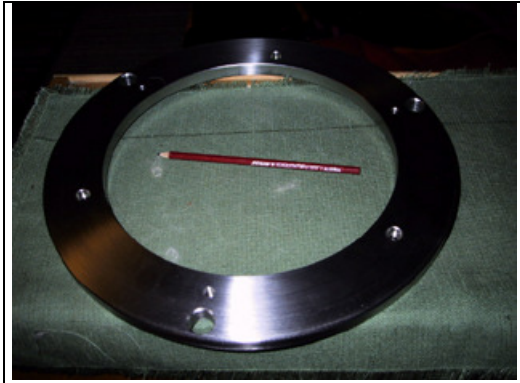


Spiegelabdeckung aus Acrylglas

Besonders wichtig ist die luftdichte Staubschutzabdeckung für den Hauptspiegel. Dicht muss die Abdeckung deswegen sein, um in Ruhestellung des Teleskops auch bei raschem Temperaturanstieg tagsüber ein Beschlagen des Spiegels zu verhindern. Weiters können auf diese Weise Insekten vom Hauptspiegel ferngehalten werden. Diese Probleme sind allen Besitzern stationär montierter Teleskope wohlbekannt. Die transparente Abdeckung aus Acrylglas erlaubt jederzeit eine Kontrolle des Spiegels und auch Tagesbesuchern einen Blick darauf. Hartnäckige Verfechter der These „*mein kleiner teurer Refraktor liefert aber doch schärfere Sterne*“ dürfen auch durchschauen, aber nur mit aufgesetzter Acrylglasabdeckung, damit ihre Illusion nicht zerstört wird.

Gegengewichtsringe

Es wäre völlig verkehrt, den Gewichtsausgleich für ein schweres Fokalinstrument durch kleinere Gewichte in der Nähe des Sekundärspiegels erreichen zu wollen. Erstens wird dadurch die Zentrierung gestört (siehe unter Konstruktionsmerkmale) und zweitens wird die Eigenfrequenz des Teleskops herabgesetzt. Das Gewicht der Sekundärspiegeleinheit bestimmt nämlich entscheidend die gesamte konstruktive Auslegung, und sollte so klein wie möglich sein. Auch das Anbringen von Schiebegewichten am Tubus ist aus den gleichen Gründen abzulehnen.



Gegengewichtsring mit 34cm Durchmesser

Genau betrachtet wird ein Gewichtsausgleich bezogen auf eine Drehachse dann erreicht, wenn der Schwerpunkt der drehbaren Masse genau auf der Drehachse zu liegen kommt (Gleichgewicht in jeder Lage) und nicht nur darüber (labiles Gleichgewicht) oder darunter (stabiles Gleichgewicht). Durch die Symmetrie der Konstruktion ist das leicht zu bewerkstelligen.

Der Tubuskonstruktion ist ein maximales Gewicht für Fokalinstrumente zu Grunde gelegt. Werden leichtere Fokalinstrumente (z.B. Okulare) verwendet, würde der Tubus nach vorne kippen. Es wird daher die Gewichtsdimension durch Gegengewichte ausgeglichen, die konzentrisch um das

Fokalinstrument herum ebenfalls am Fokalinstrumentenflansch zu befestigen sind. Diese Methode wird auch bei Großteleskopen angewendet.

Man fertigt einen Satz von zusammenschraubbaren eisernen Gegengewichtsringen die in ihrem Gewicht in etwa aufeinander abgestimmt sind. Als Korrosionsschutz für die Ringe bietet sich Schwarzverzinken an.

Wir haben bei unserem Teleskop ein maximales Instrumentengewicht von ca. 15kg zur Verfügung und können damit auch schwerere CCD-Kameras oder Photometer samt Filterräder und visuellem Einblick ansetzen.

Lackierung



fertiger Tubus aus Edelstahl vom Schweißen leicht „verbeult“ vor dem Lackieren

Infolge der mechanischen Spannungen die beim Schweißen entstehen, hat der fertige Tubus vor der Lackierung ein leicht „verbeultes“ Aussehen. Auf die spätere Funktion hat das keinerlei Auswirkungen. Bei der spiegelnden metallischen Oberfläche von rostfreiem Edelstahlblech fällt das besonders auf (siehe Bild). Wer auch auf ein ästhetisches Aussehen Wert legt, der wird vor der eigentlichen Lackierung Spachtelkitt aus dem Autolackierbedarf auftragen und nach dessen Aushärtung durch Abschleifen eine glatte Oberfläche erzielen. Eine genaue Beschreibung der Arbeitsvorgänge erfolgt in einem späteren Kapitel. Dort wird auch gezeigt, wie man zu der zweckmäßigen zweifarbigen Lackierung kommt (außen Weiß, innen Schwarz).



Spachtelkitt auftragen

© Konstruktion: Ing. Rudolf Pressberger 1996

© Sternwarte Harpoint, 2002 (Überarbeitet 2009), Autor: Dipl. Ing. Hans Robert Schäfer