

2012

# Aufbereitung und Inbetriebnahme der Steuerelektronik eines Spiegelteleskops



TE9W

Michael Maas &  
Florian Rings

26.03.2012

## Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung .....	- 5 -	
2. Ausgangssituation .....	- 7 -	
2.1. Auftraggeber .....	- 7 -	
2.2. Ist – Situation .....	- 8 -	
2.3. Soll – Zustand .....	- 10 -	
2.4. Qualitätssicherung.....	- 11 -	
2.5. Termine.....	- 12 -	
2.6. Schnittstellen.....	- 12 -	
3. Allgemeine Grundlagen eines Teleskops .....	- 13 -	
3.1. Geschichte und Aufbau eines Teleskops.....	- 13 -	
3.2. Achsen eines Fernrohres .....	- 14 -	
3.3. Deklinationsachse .....	- 14 -	
3.4. Rektaszensionsachse .....	- 15 -	
3.5. Linsenfernrohr (Refraktor) .....	- 16 -	
3.6. Das Galilei- Fernrohr .....	- 17 -	
3.7. Das Kepler-Fernrohr.....	- 17 -	
3.8. Das Okular .....	- 18 -	
4. Spiegelfernrohr (-teleskop) .....	- 19 -	
4.1. Übersicht.....	- 20 -	
4.2. Bestandteile .....	- 21 -	
4.3. Stützelemente .....	- 21 -	
4.4. Tubus.....	- 22 -	
4.5. Bauformen des Newton – und Cassegrainteleskops .....	- 22 -	
5. Steuerung eines Teleskops .....	- 24 -	
5.1. Netzteile .....	- 25 -	
5.1.1. Schaltnetzteil.....	- 25 -	
5.1.2. Trafonetzteil .....	- 27 -	
5.2. Servomotoren.....	- 28 -	
5.2.1. Regelkreise bei elektrischen Servoantrieben.....	- 30 -	
5.2.2. Servomotor Bauarten .....	- 31 -	
5.2.2.1. Bürstenloser Gleichstromservomotor .....	- 31 -	
5.2.2.2. Drehstromasynchron Servomotor.....	- 32 -	
5.2.2.3. Drehstromsynchronservomotor .....	- 33 -	
Projekt: DFM - Spiegelteleskop	Dokumentation –	- 2 -
	M.Maas, F.Rings	

5.2.2.4.	Servogeregelte Schrittmotoren.....	- 33 -
5.2.3.	Lagegeber.....	- 34 -
5.2.3.1	Inkrementelle Weggeber .....	- 34 -
5.2.3.2	Absoluter Weggeber .....	- 35 -
5.2.3.3	Resolver.....	- 35 -
6.	DFM Teleskop.....	- 36 -
6.1.	Genereller Aufbau .....	- 37 -
6.1.1.	Mechanisch.....	- 37 -
6.1.2.	Elektrisch .....	- 37 -
6.1.3.	Software.....	- 38 -
6.1.4.	Limits .....	- 41 -
6.1.5.	Hauptspiegel Klappen .....	- 41 -
6.1.6.	Aux Box.....	- 41 -
6.1.7.	GL 1200 .....	- 42 -
6.2.	Aufbau des Motor Driver Chassis.....	- 45 -
6.2.1.	Beschreibung der Betriebsmittel des Motor Driver Chassis .....	- 46 -
6.3.	Projektdurchführung.....	- 56 -
6.3.1.	Inbetriebnahme Leistungsteil.....	- 56 -
6.3.2.	Inbetriebnahme Motorsteuerung.....	- 59 -
6.3.2.1.	Spannungsinbetriebnahme von T11.....	- 62 -
6.3.2.2.	Spannungsinbetriebnahme von T12.....	- 63 -
6.3.2.3.	Spannungsinbetriebnahme von T13.....	- 64 -
6.3.2.4.	Spannungsinbetriebnahme von T14.....	- 65 -
6.3.3.	Inbetriebnahme Spiegelsteuerung.....	- 66 -
6.3.3.1.	Spannungsinbetriebnahme von T20.....	- 67 -
6.3.3.2.	Spannungsinbetriebnahme von T22A .....	- 68 -
6.3.3.3.	Spannungsinbetriebnahme von T22B .....	- 69 -
6.3.3.4.	Spannungsinbetriebnahme von T23.....	- 70 -
6.3.4.	Inbetriebnahme der Servomotoren mit dem Handbedienelement.....	- 71 -
6.3.4.1.	Inbetriebnahme der Motorsteuerungsplatinen .....	- 71 -
6.3.4.2.	Inbetriebnahme der inkrementellen Weggeber .....	- 74 -
6.3.4.3.	Verdrahtung des Front Panels.....	- 75 -
6.3.4.4.	Inbetriebnahme des 486er Computers .....	- 75 -
6.3.4.5.	Inbetriebnahme des gesamten Versuchsaufbaus.....	- 76 -
7.	Ergebnis.....	- 78 -
8.	Resümee.....	- 81 -
Projekt: DFM - Spiegelteleskop	Dokumentation –	- 3 -
	M.Maas, F.Rings	

9. Eidesstaatliche Versicherung .....	- 84 -
10. Literaturverzeichnis .....	- 85 -
11. Abbildungsverzeichnis.....	- 86 -
12. Abbildungsquellen .....	- 88 -
13. Anhangsverzeichnis .....	- 90 -

## **1. Einleitung**

Seit 1999 existiert in Waldbröl-Schnörringen ein astronomisches Observatorium – das SCHNÖRRINGEN TELESCOPE SCIENCE INSTITUTE (STSci). Diese Beobachtungsstation wurde von dem Atmosphärenphysiker Dr. Klaus Vollmann und dem Astrophysiker Dr. Thomas Eversberg gegründet. Das STSci hat eine anspruchsvolle Instrumentenausrüstung, sowie einen Kontrollraum mit kompletter Rechnerausstattung. Darüber hinaus ist eine mechanische Werkstatt mit Fräse und Drehbank vorhanden. Hintergrund dieses Observatoriums ist die frühere Forschungstätigkeit der Initiatoren. Der Schwerpunkt der aktuellen Arbeit liegt in der spektroskopischen Analyse massereicher Sterne. Diese erfolgt in Zusammenarbeit mit der internationalen Forschungsgemeinschaft

Im Sommer 2008 haben Herr Dr. Vollmann und Herr Dr. Eversberg für 40.000 Euro ein schweres Teleskop von 1,2 Tonnen Gewicht und einem Spiegeldurchmesser von 80cm erworben, welches bisher von der LUDWIG-MAXIMILIAN-UNIVERSITÄT München als Hauptinstrument für die astronomische Forschung in den Alpen betrieben und nun außer Dienst gestellt wurde. Das Gerät ist eines der zehn größten astronomischen Teleskope in Deutschland und der Wiederbeschaffungswert beträgt etwa 650.000 US\$.

Die Betreiber des STSci sowie ein Kreis von Unterstützern haben die Initiative zur Förderung der wissenschaftlichen Arbeit am STSci ergriffen. Der 2009 gegründete gemeinnützige "Initiativkreis STSci e.V." wird das Institut bei der wissenschaftlichen Arbeit und der Förderung des Nachwuchses unterstützen und potenzielle Förderer für den zwingend notwendigen instrumentellen Ausbau zu gewinnen versuchen.

Mehrere Institute weltweit haben ihr Wohlwollen für unser Projekt ausgedrückt. Darunter das Forschungszentrum Jülich, das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt, die University of Hawaii (USA), die Université de Montréal (Kanada), die Ludwig-Maximilian-Universität München, sowie das Instituto Astrofisico de La Laguna auf Teneriffa (Spanien). Die Stadt Waldbröl hat ebenfalls ihre Unterstützung zugesagt. Weitere Informationen finden sich auf der Webseite des Initiativkreises ([www.derblicknachvorn.de](http://www.derblicknachvorn.de)).

Aktuell ist der Bau einer umfangreichen Sternwarte in Waldbröl geplant, in der das 80cm Teleskop installiert werden soll. Der entsprechende Bauantrag wurde im September 2010 vom Oberbergischen Kreis in Gummersbach genehmigt (siehe auch [www.stsci.de](http://www.stsci.de)).

Das Teleskop soll nach der Installation in dem geplanten Kuppelgebäude mit einem Echelle-Spektrometer ausgestattet werden und insbesondere Himmelsobjekte untersuchen, die von Großteleskopen aus organisatorischen Gründen nur schwer zugänglich sind. Dazu gehören z.B. variable, massereiche Sterne deren Perioden relativ lang sind, daher Wochen oder Monate beobachtet werden müssen und für Großforschungseinrichtungen mit begrenzten Beobachtungsnächten pro Antragsteller aus diesen Gründen nicht geeignet sind.

An den geplanten Beobachtungsprogrammen sollen vor allen Dingen Schulen und Universitäten beteiligt werden. Studenten der Astronomie können das Teleskop als Übungsteleskop nutzen, oder in Diplomarbeiten gebaute Messgeräte austesten ohne dafür z.B. zu Forschungseinrichtungen nach Chile oder anderen Plätzen zu reisen. Lehrer können mit Schülergruppen astronomische Projekte im Physikunterricht oder Astro - AG's planen und daran anschließend am Teleskop arbeiten. Die Betreiber des STScl haben im Vorfeld mit Vertretern der umliegenden Universitäten, Fachhochschulen und den benachbarten Schulen Kontakt aufgenommen und entsprechende Kooperationsvereinbarungen getroffen.

Bei der ersten Besichtigung des Instrumentes 2008 auf dem Wendelstein wurde von den Betreibern der Universität München der Hinweis gegeben, dass die inzwischen 22 Jahre alte Elektronik nicht zu allen Zeitpunkten zuverlässig arbeitet und überholungsbedürftig ist. Unglücklicherweise mussten, aufgrund der räumlichen Verhältnisse in der Beobachtungsstation und der festen Installation des Kabelbaums, vor dem Rückbau des Teleskops nicht nur alle Kabelstränge vollständig entfernt, sondern auch alle Verbindungskabel zu den Antriebsmotoren und Steuerplatinen vor den Steckern durchtrennt werden. Der ursprüngliche Kabelbaum wurde entsorgt.

Bisher wurden von den neuen Besitzern keinerlei Vortests durchgeführt, um die Steuerelektronik auf prinzipielle Funktion zu testen.

Bei einer Anfrage an den Hersteller des Instrumentes, die Elektronik durch eine moderne Steuerung zu ersetzen, wurde von DFM - Engineering der Vorschlag unterbreitet die vorhandene Elektronik aufgrund ihrer Robustheit wieder in Stand zu setzen. Aus dieser Information entstand die Idee, die Überholung von Technikerschülern in ihrer praktischen Abschlussarbeit selbständig durchführen zu lassen.

## **2. Ausgangssituation**

**Projekt:** Aufbereitung und Inbetriebnahme der Steuerelektronik eines Spiegelteleskops

**Auftraggeber:** STSci SCHNÖRRINGEN TELESCOPE SCIENCE INSTITUTE  
Dr. Klaus Vollmann (Ansprechpartner des STSci)  
Ringweg 7  
51545 Waldbröl  
Tel: 02291/926935  
Email: Klaus.Vollmann@stsci.de  
Dr. Thomas Eversberg  
Am Kielshof 21a  
51105 Köln  
Email: [Thomas.Eversberg@stsci.de](mailto:Thomas.Eversberg@stsci.de)

**Auftragnehmer:** Michael Maas  
Luisenstr. 42  
53721 Siegburg  
Tel.: 0163/8728857  
Email: [michael.m1988@web.de](mailto:michael.m1988@web.de)  
Florian Rings  
Luisenstr. 42  
53721 Siegburg  
Tel.: 01577/1623526  
Email: [F.Rings@web.de](mailto:F.Rings@web.de)

### **2.1. Auftraggeber**

Die Auftraggeber setzen sich zusammen aus dem "INITIATIVKREIS STSci SCHNÖRRINGEN TELESCOPE SCIENCE INSTITUTE E.V.". Als Ansprechpartner ist Herr Dr. Vollmann benannt worden.

## **2.2. Ist – Situation**

Nach einer ersten Besichtigung der Steuerelektronik und Rücksprache mit Herrn Dr. Vollmann wurde die Ausgangssituation festgelegt. Diese besteht aus einem ca. 5 Meter hohen Teleskop, welches 1,2 Tonnen wiegt. Das Teleskop mit Motoren, Inkrementalgebern etc. ist bei Herrn Dr. Vollmann in einer Scheune eingelagert und aktuell nicht funktionsfähig. Der Hersteller des Teleskops ist die amerikanische Firma DFM - Engineering ([www.dfmengineering.com](http://www.dfmengineering.com)) mit Sitz in Longmont, Colorado. Das Teleskop wurde 1985 von der Universität München als wissenschaftliches Hauptinstrument angeschafft und auf der Wendelstein - Beobachtungsstation zur Erforschung von Galaxien aufgestellt.

Im Weiteren gibt es eine dazugehörige, veraltete und nicht getestete Steuerung mit zum größten Teil amerikanischer Dokumentation, da das Teleskop ursprünglich aus den USA kommt. Die Dokumentation der Steuerelektronik existiert in Form von Schaltplänen. Außerdem existiert eine englische Bedienungsanleitung des Teleskops, die im Laufe des Projektes vom Herrn Dr. Vollmann nachgereicht wurde.

Aufgrund der räumlichen Verhältnisse in der Beobachtungsstation und der festen Installation des Kabelbaums mussten vor dem Rückbau des Teleskops auf dem Wendelstein nicht nur alle Kabelstränge vollständig entfernt, sondern auch alle Verbindungskabel zu den Antriebsmotoren und Steuerplatinen vor den Steckern durchtrennt werden. Der ursprüngliche Kabelbaum wurde entsorgt.

Ein Neukauf der Steuerung wurde von DFM Engineering nicht empfohlen, da diese zu teuer und aufgrund der Robustheit ein Ersatz nicht notwendig ist. Die vorhandene Elektronik soll überholt und baugruppenweise in Betrieb genommen werden. Von Herrn Dr. Vollmann wurden keinerlei Vortests durchgeführt, um die Steuerelektronik auf prinzipielle Funktion zu testen.

Nach dem Besichtigungstermin im November 2010 im CRBK-Hennef konnten wir uns einen ersten Eindruck über den Zustand der Steuerungen und der Dokumentation machen.

Die Steuerung ist stark verstaubt, die Dokumentation veraltet und es ist nicht bekannt, ob sie vollständig ist. Die kompletten Schaltplanunterlagen sind mit amerikanischen Schaltzeichen versehen und müssen übersetzt werden. Des Weiteren befinden sich keinerlei Querverweise in den Plänen und die Erstellungsart weicht stark von den deutschen Standards ab.

Da das Teleskop ein amerikanisches Fabrikat ist, wird es aktuell mit einem Spannungswandler von 230VAC auf 110VAC betrieben. Danach werden mit weiteren Transformatoren die Spannungen für die jeweiligen Baugruppen weiter von 110VAC auf die benötigte Spannung herunter transformiert. Materialien für die Inbetriebnahme, wie Kabel, Motorzuleitungen etc. sind nicht vorhanden und müssen neu bestellt werden, ebenso Kleinbauteile, wie z.B. Widerstände und Kondensatoren.

Ein Arbeitsplatz, an dem die Steuerelektronik gelagert und getestet werden kann, ist bei Herrn Florian Rings, Im Pesch 23, 53797 Lohmar geschaffen worden.

Für die beiden angetriebenen Achsen (Rektaszensions - und Deklinationsachse) werden jeweils ein Servomotor und zwei Inkrementalgeber verwendet. Zur Verstellung des Sekundärspiegels und damit zur Fokussierung des Gesamtsystems wird ein Schrittmotor und ein Inkrementalgeber verwendet. Die vier Spiegelklappen werden mit jeweils einem Gleichstrommotor + Getriebe angetrieben. Im sogenannten Guide Acquire Module (GAM) befindet sich ein Schrittmotor, zur Positionierung eines Spiegels. Alle Motoren, Inkrementalgeber etc., stehen uns auf Anfrage zur Verfügung.

Nach Absprache mit Herrn Dr. Vollmann sind auch Tests vor Ort möglich.

### **2.3. Soll – Zustand**

Folgende Aufgaben müssen im Rahmen des Projektes bearbeitet werden:

1. Normgerechtes Bezeichnen einzelner Bauteile und gesamter Bauelemente im Schaltplan, sowie in der Elektronik (Betriebsmittelkennzeichnung).
2. Beschreibung der Funktion einzelner Baugruppen, sowie deren interne Zusammenhänge.
3. Einzelbetriebnahmen der Baugruppen anhand von Prüfpunkten.
4. Erstellung eines Prüfprotokolls, sowie die genaue Beschreibung von Prüfpunkten in der Steuerung.
5. Dokumentation der Funktionstests anhand Prüfprotokolle.
6. Instandsetzung bzw. Überholung notwendiger Komponenten.
7. Nachweis der Funktionsfähigkeit von einzelnen Baugruppen durch Anschluss der Peripherie wie z.B. Motoren und Geber anhand von Prüfprotokollen.
8. Herstellung eines Musterkabelbaums, um die komplette Steuerung in Betrieb nehmen zu können. Der Kabelbaum beinhaltet benötigte Steckerverbindungen, sowie geeigneten Motorzuleitungen und entsprechende Kabelquerschnitte. Die Länge beträgt 1-2 Meter.
9. Falls die Steuerelektronik funktionsfähig sein sollte, ist der Spannungswandler von 230V auf 110V und die vorhandenen Netzgeräte auszubauen und gegen eine geeignete Spannungsversorgung von 230V auf die an der Baugruppe benötigte Spannung zu ersetzen. Der benötigte Strom und die Anlaufströme der Motoren sind dabei besonders zu berücksichtigen.

Im Anschluss folgen „Kann“ – Ziele, die nicht unbedingt Bestandteil unserer Projektarbeit sein müssen, bei Bedarf aber noch durch das Projektteam durchgeführt werden können:

1. Herstellung eines neuen Kabelbaums mit ausreichenden Kabellängen, um diesen vor Ort zu implementieren und das Teleskop in Betrieb zu nehmen. Für die Montage des Kabelbaumes ist das Teleskop vorher, soweit wie nötig, zu demontieren.
2. Funktionstest des gesamten Teleskops vor Ort nachdem die Inbetriebnahme erfolgreich abgeschlossen ist (Rektaszensions - und Deklinationsachse, Verstellung des Sekundärspiegels, Verstellung der vier Spiegelklappen, sowie deren Inkrementalgeber).
3. Konzept für den Aufbau einer neuen Steuerung mit Hilfe einer Siemens S7 Steuerung und einer alternativen Motoransteuerung.

#### **2.4. Qualitätssicherung**

Ein wesentlicher Aspekt für eine gute Qualität unseres Projektes, ist das Erreichen der im Soll- Zustand festgehaltenen Punkte. Dies erreichen wir, indem wir unsere Arbeit mit qualitätssichernden Maßnahmen, wie das Erstellen von übersichtlichen, leicht verständlichen Messprotokollen und das normgerechte kennzeichnen von Betriebsmitteln. Dies werden wir in einer Gesamtdokumentation festhalten die am Ende der Projektlaufzeit an den Projektleiter Herrn Dr. Vollmann in schriftlicher und digitaler Form ausgehändigt wird.

## **2.5. Termine**

01.02.2011 bis 13.03.2011	Erstellung des Pflichtenheftes
14.03.2011	Projektbesprechung mit dem Ansprechpartner des Carl-Reuther-Berufskollegs (Herrn Kampen) und dem Ansprechpartner des STScI. (Kick- Off- Meeting)
15.03.2011 bis 30.03.2011	Planungsphase
01.04.2011 bis 31.12.2011	Praktische Umsetzung der Projektarbeit
01.01.2012	Zeitraum zum dokumentieren der erfolgten Arbeiten
26.03.2012	Abgabe der Dokumentation
April 2012	Projektpräsentation

## **2.6. Schnittstellen**

Betreuender Lehrer:	Herr Kampen
Schulbereichsleiter:	Herr Kramer
Projektleitung:	Herr Dr. Vollmann
Gebäude, Technik:	Herr Kias
Materialbereitstellung:	STScI Carl-Reuther-Berufskolleg Hennef Eigenmittel der Schüler
Auftragnehmer:	Michael Maas Florian Rings
Projektdurchführungsort:	Florian Rings Im Pesch 23 53797 Lohmar

### **3. Allgemeine Grundlagen eines Teleskops**

Nachfolgend werden einige Theoretische Grundlagen eines Teleskops behandelt, mit denen wir uns innerhalb der Projektlaufzeit auseinandergesetzt haben.

#### **3.1. Geschichte und Aufbau eines Teleskops**

Seit langer Zeit ist es der Wunsch des Menschen das Weltall zu bereisen. Aus diesem Grund beschäftigten sich schon in früher Zeit Menschen damit den Weltraum und das Universum zu erforschen. Hierfür brauchten sie eine Vorrichtung, die die Betrachtung des Weltraumes für Jedermann ermöglichte. Das Zeitalter des Fernrohrs oder auch Teleskop genannt war eingeläutet. Die Einsatzgebiete waren und sind vielfältig. Ob in der Astronomie, in der Schifffahrt oder im privaten Hobbybereich.

„Ein Fernrohr ist ein optisches Instrument, bei dessen Nutzung entfernte Objekte um ein Vielfaches näher oder größer erscheinen. Dies wird durch eine Vergrößerung des Seh winkels erreicht. Die Optik kann aus Linsen, Prismen und Spiegeln bestehen.“<sup>1</sup>



1. Abb.: Linsenteleskop

Dieses ist die Begriffsdefinition bei Wikipedia und fasst sehr gut die grundlegende Funktion des Fernrohrs zusammen. Im Ansatz unterteilt man das Fernrohr in zwei große Unterkategorien. Das Linsenfernrohr (Refraktoren) und das Spiegelfernrohr (Reflektoren).<sup>2</sup> Wie der Name sagt besitzt der Refraktor als Objektiv brechende Linsen und der Reflektor arbeitet mit Spiegeln. Diese beiden Merkmale sind die wesentlichen Unterschiede bei Teleskopen. Linsenfernrohre können aufgrund des großen Eigengewichtes und der damit verbundenen Durchbiegung nur bis zu einem Linsendurchmesser von maximal einen Meter hergestellt werden. Bei größer geplanten Fernrohren ist es daher nur möglich auf Spiegelsysteme zurück zu greifen.<sup>3</sup>



2. Abb.: Spiegelteleskop

<sup>1</sup> (Wikipedia F. , 2012)

<sup>2</sup> Vgl. (uni-protokolle)

<sup>3</sup> Vgl. (Wikipedia F. , 2012)

### 3.2. Achsen eines Fernrohres

Jedes bekannte Objekt am Himmel besitzt wie ein Ort auf der Erde Koordinaten. Die Himmelskoordinaten werden in Deklination (entspricht der geographischen Breite) und Rektaszension (entspricht geographischer Länge) angegeben. Ein Fernrohr besitzt daher grundsätzlich zwei anzutreibende Achsen, um jede Position am Himmel einstellen zu können:

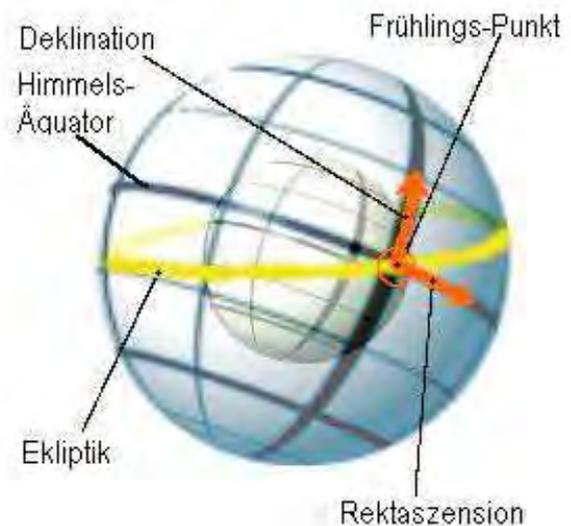
- Deklinationsachse
- Rektaszensionsachse.<sup>4</sup>

### 3.3. Deklinationsachse

Bei der Deklinationsachse handelt es sich um die vertikale Achse eines Teleskops. Sie wird auch „Himmlicher Breitengrad“ genannt und ist eine von zwei Koordinaten, die die Lage eines Objektes festlegt. Diese Achse gibt den Winkelabstand eines Objekts zum Himmelsäquator in Grad an, wobei der Himmelsäquator den an die Himmelskugel projizierten Erdäquator darstellt.<sup>5</sup>

Je weiter südlich sich das Objekt vom Himmelsäquator befindet desto negativer wird der Wert der Deklination. Sobald sich das Objekt nördlich vom Äquator befindet wird der Wert positiv. Als Symbol für die Deklination wird der Buchstabe  $\delta$  genutzt.

Die Position eines Sterns kann sich nur durch deren geringfügige Eigenbewegung ändern. Beide Koordinaten ändern sich daher in großen Zeiträumen nur geringfügig.<sup>6</sup>



3. Abb.: Deklinationsachse (DEC-Achse)

<sup>4</sup> Vgl. (Wikipedia S. , 2012)

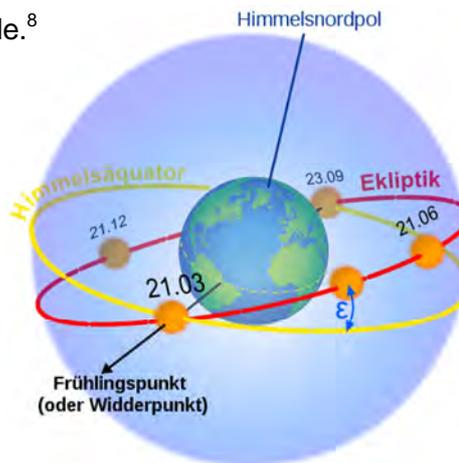
<sup>5</sup> Vgl. (Wikipedia D. , 2012)

<sup>6</sup> Vgl. (Wikipedia D. , 2012)

### 3.4. Rektaszensionsachse

Bei der Rektaszensionsachse handelt es sich um die umgangssprachlich bezeichnete Stunden - Achse. Die Rektaszension beschreibt die Himmlischen "Längengrade". Da sich die Erde in etwa 24 Stunden um ihre eigene Achse dreht, bewegt sich das Himmelskoordinatensystem entsprechend mit.<sup>7</sup>

Der Nullpunkt der Rektaszension wird auch "Frühlingspunkt" genannt. Dieser Punkt beschreibt den Schnittpunkt des Himmelsäquators mit der Ekliptik und ist der Ort am Himmel an dem die Sonne am Frühlingsanfang (21.März) steht. Dieser Nullpunkt entspricht dem nullten Längengrad auf der Erde.<sup>8</sup>



4. Abb.: Frühlingspunkt (RA-Achse)

Bei der Rektaszensionsachse wird die Angabe nicht in Grad sondern in Stunden angegeben. Hierbei wird vom Frühlingspunkt aus die 360 Grad Achse in „24 Stunden“ aufgeteilt und von Ost nach West gezählt. Als Symbol für die Rektaszension wird der Buchstabe  $\alpha$  genutzt.

Bei fast allen Teleskopen wird die Rektaszensionsachse automatisch nachgeführt, d.h., nach dem Anfahren des Himmelsobjektes bleibt dieser im Fernrohr Gesichtsfeld, sofern das Teleskop korrekt aufgestellt und ausgerichtet worden ist. Zur Ausrichtung des Teleskops muss die Rektaszensionsachse exakt zum Himmelsnordpol zeigen, d.h. , der Winkel zur Horizontalen entspricht exakt der geographischen Breite des Beobachtungsortes und die Achse muss zusätzlich genau in Nord - Südrichtung ausgerichtet werden. Aufgrund dieser Aufstellung erspart man sich die Bewegung um die Deklinationsachse, die automatisch auftreten würde, wenn man eine andere Aufstellung wählt. Man bezeichnet diese Art der Fernrohrmontierung als parallaktisch, im Gegensatz zur azimutalen Aufstellung, bei der eine der beiden Achsen senkrecht zum Erdboden ausgerichtet ist.<sup>9</sup>

<sup>7</sup> Vgl. (Wikipedia R. , 2012)

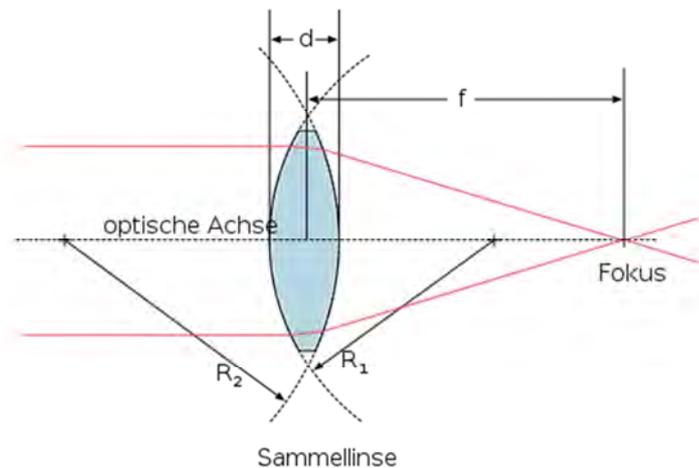
<sup>8</sup> Vgl. (Wikipedia R. , 2012)

<sup>9</sup> Vgl. (Wikipedia R. , 2012)

### 3.5. Linsenfernrohr (Refraktor)

Beim Linsenfernrohr wird durch eine oder mehrere Linsen das einfallende Licht mit einem Objektiv gesammelt und das entstehende reelle Bild kann im Brennpunkt (Fokus) durch das Okular betrachtet werden. Um wie viel das Bild Objekt vergrößert wird hängt von den Brennweiten des Objektivs und des Okulars ab.

Die Brennweite wird durch den Abstand vom Fokus bzw. Brennpunkt zur Optik (Objektiv) definiert, wobei die einfallenden Strahlen parallel sein müssen. Die Brennweite ist außerdem von mehreren Faktoren abhängig, wie Lichtfarbe bzw. Wellenlänge, Linsenform (Sammellinse oder Zerstreuungslinse) etc.<sup>10</sup>

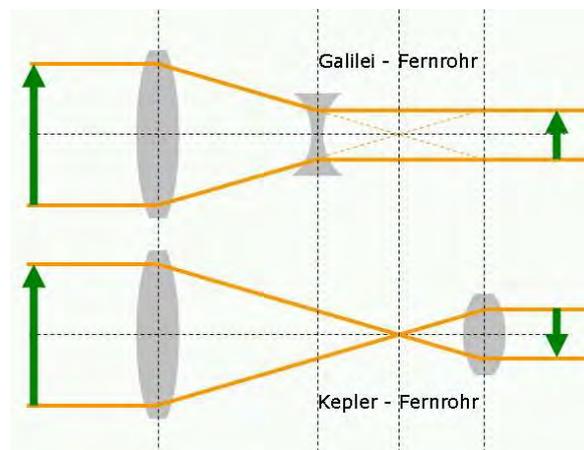


5. Abb.: Brennweite einer Sammellinse

In der Abbildung 5 zeigt der Buchstabe f die Brennweite der Sammellinse an.

Bei Linsenfernrohren gibt es zwei wesentlich Fernrohre:<sup>11</sup>

- Galilei-Fernrohr
- Kepler-Fernrohr



6. Abb.: Vergleich Galilei-, Kepler-Fernrohr

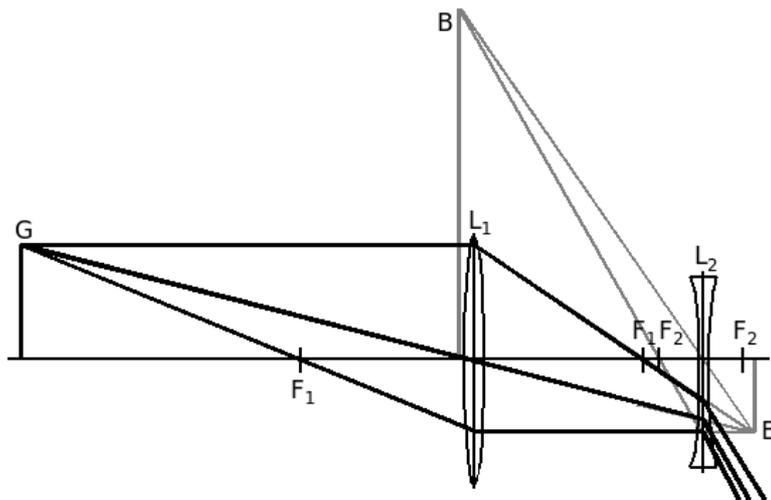
<sup>10</sup> Vgl. (Wikipedia F. , 2012)

<sup>11</sup> Vgl. (Wikipedia F. , 2012)

### 3.6. Das Galilei- Fernrohr

Das Galilei - Fernrohr wurde von Hans Lipperhey 1608 erfunden und von Galilei weiterentwickelt. Grundlegend hat das Galilei - Fernrohr als Objektiv eine Sammellinse und als Okular eine Zerstreuungslinse.

Vorteile des Galilei-Fernrohres sind das aufrecht stehende Bild und die kurze Bauweise. Nachteile besitzt dieses Fernrohr jedoch auch. Es hat ein kleines Sehfeld und im Gegensatz zum Kepler - Fernrohr kann hier kein Zwischenbild erzeugt werden, um ein Fadenkreuz mit einzubinden.<sup>12</sup>



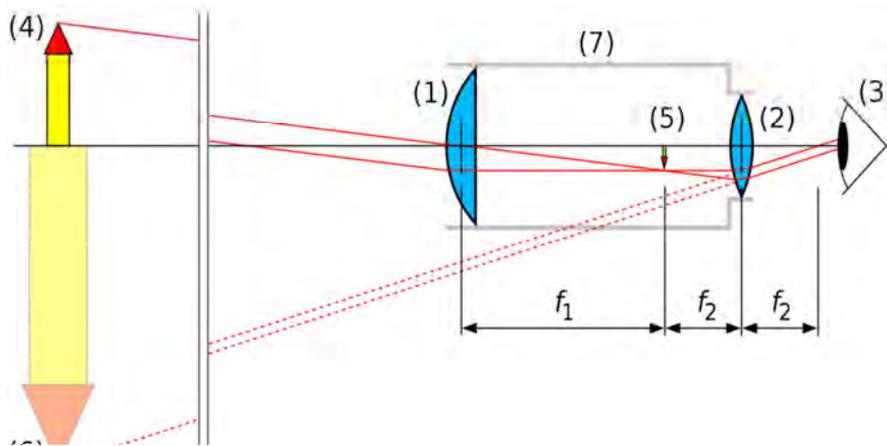
7. Abb.: Galilei-Fernrohr mit Sammellinse und Zerstreuungslinse

### 3.7. Das Kepler-Fernrohr

Das Kepler - Fernrohr wurde 1611 von Johannes Kepler erfunden. Der ausschlaggebende Unterschied zum Galilei-Fernrohr ist, dass auch das Okular eine konvexe Sammellinse ist. Das Verhältnis aus Objektivbrennweite und Okularbrennweite ergibt die jeweilige Vergrößerung. Bei diesem Fernrohr wird vom ursprünglichen Bild bzw. Objekt durch das Objektiv ein reelles, umgekehrtes Bild erzeugt, das mit Hilfe einer Lupe, in dem Fall das Okular betrachtet werden kann. Das Auge sieht ein sichtlich vergrößertes Bild in scheinbar geringer Entfernung. Dies ist auf der Abbildung 8 auf der nächsten Seite sehr gut ersichtlich.<sup>13</sup>

<sup>12</sup> Vgl. (Wikipedia F. , 2012)

<sup>13</sup> Vgl. (Wikipedia F. , 2012)



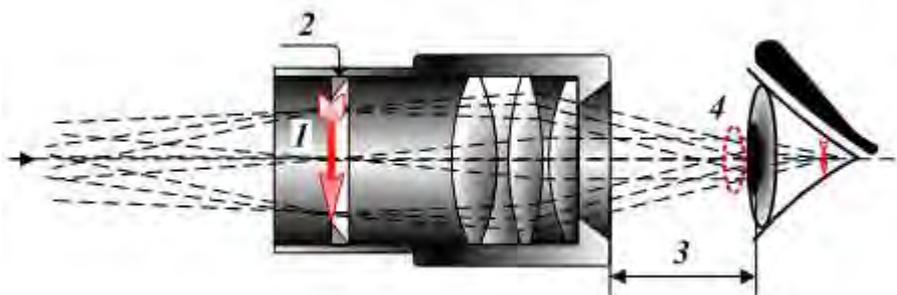
- 1. Objektiv
- 2. Okular
- 3. Auge
- 4. Objekt
- 5. Zwischenbild
- 6. Bild

8. Abb.: Kepler-Fernrohr

Um das Bild umzukehren gibt es verschiedene Möglichkeiten wie z.B. durch Prismen oder eine Sammellinse. In handelsüblichen Ferngläsern werden vor allen Dingen Prismen zur Umkehrung eingesetzt.<sup>14</sup>

### 3.8. Das Okular

Das Okular ist ein optisches System von Linsen, das es dem Beobachter ermöglicht, dass durch das Objektiv entstandene Bild vergrößernd zu betrachten. Das Okular fungiert dabei wie eine übliche Vergrößerungslupe. Im Groben besteht das Okular aus der Augenmuschel, einer Feldblende, Filtergewinde, Stechhülse und der Befestigung am Teleskop.<sup>15</sup>



- 1. reelles Bild
- 2. Feldblende
- 3. Augenabstand
- 4. Austrittspupille

9. Abb.: Okular allgemeiner Aufbau

<sup>14</sup> Vgl. (Wikipedia F. , 2012)

<sup>15</sup> Vgl. (Wikipedia O. , 2012)

Je nach zu beobachtendem Objekt verwendet man verschiedene Vergrößerungen, die durch die Okularbrennweite bestimmt werden. Es ist daher sinnvoll verschiedene Okulare im Bestand zu haben, um für die unterschiedlichen Situationen gerüstet zu sein.<sup>16</sup>



10. Abb.: Okular eines Linsenteleskopes

Es gibt viele verschiedene Okulartypen auf die hier jedoch nicht näher eingegangen wird. Unter folgendem Link sind weitere Okulartypen zu finden <http://de.wikipedia.org/wiki/Okular>.<sup>17</sup>

#### 4. Spiegelfernrohr (-teleskop)

In diesem Teil werden die Spiegelteleskope kurz charakterisiert. In diesem Projekt wird ein Cassegrain Spiegelteleskop verwendet. Aus diesem Grund sind Kenntnisse über den allgemeinen Aufbau unverzichtbar.

Spiegelteleskope werden in sehr großen Bauformen errichtet und finden häufig ihren Einsatz in der Astronomie. Sie eignen sich für die Beobachtung von ultraviolett, infrarot und sichtbarem Licht. Es besitzt als optisches Hauptelement einen Hohlspiegel, der wie das Linsenobjektiv zunächst ein reelles Bild des Objekts produziert.<sup>18</sup>



11. Abb.: Cassegrain Spiegelteleskop

<sup>16</sup> Vgl. (Wikipedia O. , 2012)

<sup>17</sup> Vgl. (Wikipedia O. , 2012)

<sup>18</sup> Vgl. (Wikipedia S. , 2012)

## 4.1. Übersicht

Das Spiegelteleskop wurde schon Anfang 1500 durch Leonardo da Vinci beschrieben. Den ersten Einsatz fand das Spiegelteleskop jedoch erst 1616. Um 1670 entwickelte Newton ein weiteres Teleskop, welches sich vom Grundprinzip bis heute nicht wesentlich verändert hat.<sup>19</sup>

Das größte Problem war schon immer die Herstellung des sehr großen Hauptspiegels. Dieser kann bei heutigen modernen Teleskopen bis zu 10 Meter Durchmesser groß sein und mehrere zehn Tonnen wiegen. Durch sein hohes Eigengewicht bestand früher immer die große Gefahr, dass der Spiegel beim Herstellungsprozess bricht. Für das Gießen werden Rohlinge aus speziellen Materialien benötigt, die einen geringen Wärmeausdehnungskoeffizienten besitzen. Ein gegossener Spiegel kann für den Auskühlungsprozess bis zu einem Jahr benötigen. Noch bis in das frühe 19. Jahrhundert stellte man die Spiegel aus Spiegelmetall her. Der große Nachteil bei diesem Material lag darin, dass es nach einer gewissen Zeit anlieft und daraufhin aufwendig poliert werden musste. Heut zu Tage benutzt man ein Spiegelglas mit einer Aluminiumdampfschicht, welches das Reflexionsvermögen auf bis zu 99% ansteigen lässt.<sup>20</sup>

Das unten abgebildete Gran Telescopio Canarias, auf der Kanaren-Insel La Palma, ist das derzeit größte Spiegelteleskop der Welt.<sup>21</sup>



12. Abb.: Gran Telescopio Canarias

---

<sup>19</sup> Vgl. (Wikipedia S. , 2012)

<sup>20</sup> Vgl. (Wikipedia S. , 2012)

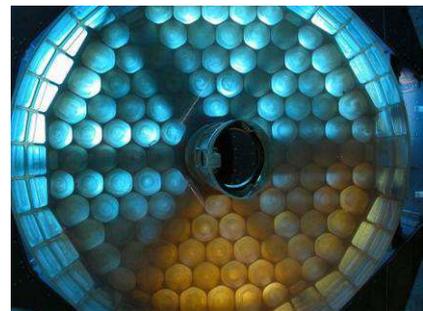
<sup>21</sup> Vgl. (Wikipedia S. , 2012)

## 4.2. Bestandteile

Im Wesentlichen besteht ein Spiegelteleskop aus einem Hauptspiegel (primär), einem Fangspiegel (sekundär) und dem Okular wodurch das zu beobachtende Objekt betrachtet werden kann. Beim Spiegelteleskop wird das einfallende Licht zunächst auf den Hauptspiegel geworfen, zurück auf den Fangspiegel und dann in das Okular. Das Licht wird dabei nicht wie beim Linsenteleskop gebrochen. Das bietet den Vorteil, dass keine Farbfehler auftreten können, die bei Refraktoren durch komplizierte Linsenordnungen herauskorrigiert werden müssen. Der Sensor des Beobachters ist nur noch bei Hobbyastronomen das Auge. Im wissenschaftlichen Betrieb wurden die traditionellen Empfänger, wie Fotoplatte oder Fotofilm inzwischen durch CCD- oder CMOS-Sensoren ersetzt. Die aufgezeichneten Ergebnisse können dann z.B. auf einem Computer angeschaut und ausgewertet werden.<sup>22</sup>

## 4.3. Stützelemente

Da das Spiegelteleskop, im Gegensatz zum Linsenteleskop, einen großen Hauptspiegel besitzt muss dieser durch sein Eigengewicht gestützt werden. Dies geschieht meistens durch die richtig ausgewählte Dicke des Spiegels. Das Problem bei der Herstellung ist, dass der Spiegel durch seine erhöhte Dicke extrem lange für die spannungsfreie Auskühlung nach dem Gießen benötigt.<sup>23</sup>



13. Abb.: Hauptspiegel mit Stützelementen

Eine weitere Möglichkeit ist es Stützelemente in Wabenform herzustellen und diese dann am Spiegel zu befestigen. Diese Elemente sind aus dem gleichen Material wie der Spiegel, sind von innen hohl und haben so nur eine geringe Gewichtskraft.<sup>24</sup>

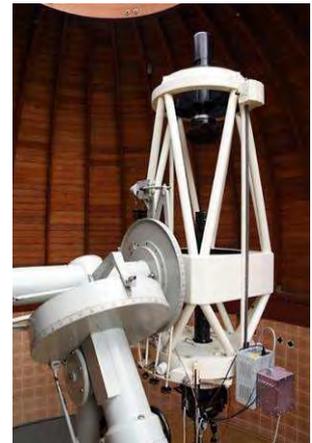
<sup>22</sup> Vgl. (Wikipedia S. , 2012)

<sup>23</sup> Vgl. (Wikipedia S. , 2012)

<sup>24</sup> Vgl. (Wikipedia S. , 2012)

#### 4.4. Tubus

Der Tubus ist ein Gittergerüst aus Rohren und ist die Halterung für Haupt- Fang-, bzw. Ablenkspiegel und häufig noch das Okular. Diese ganzen Elemente sitzen auf einer gemeinsamen optischen Achse. Hierbei sitzt am unteren Ende der Hauptspiegel und am oberen Ende der Fangspiegel.<sup>25</sup>

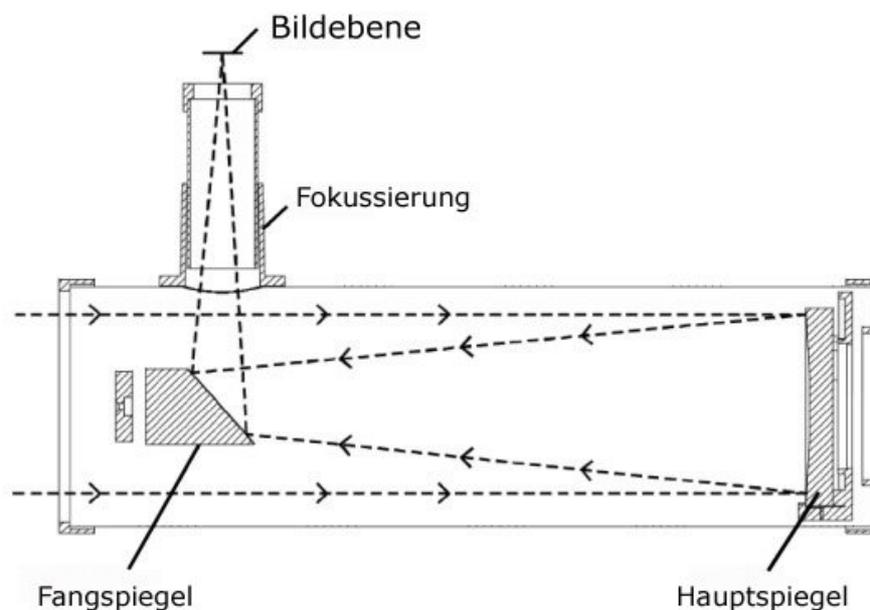


14. Abb.: Tubus eines Teleskops

#### 4.5. Bauformen des Newton – und Cassegrainteleskops

Das Newton Teleskop ist von Isaac Newton 1668 entwickelt worden und zeichnet sich durch seine einfache Bauform aus. Es besitzt einen Haupt- und einen Fangspiegel, der das einfallende Licht im 90 Grad Winkel seitlich am Teleskop heraus wirft und durch das Okular betrachtet werden kann<sup>26</sup>

Im folgenden Bild kann man den Strahlengang im Newton-Teleskop nachvollziehen.



15. Abb.: Newton Teleskop Lichtverlauf

<sup>25</sup> Vgl. (Wikipedia S. , 2012)

<sup>26</sup> Vgl. (Wikipedia S. , 2012)

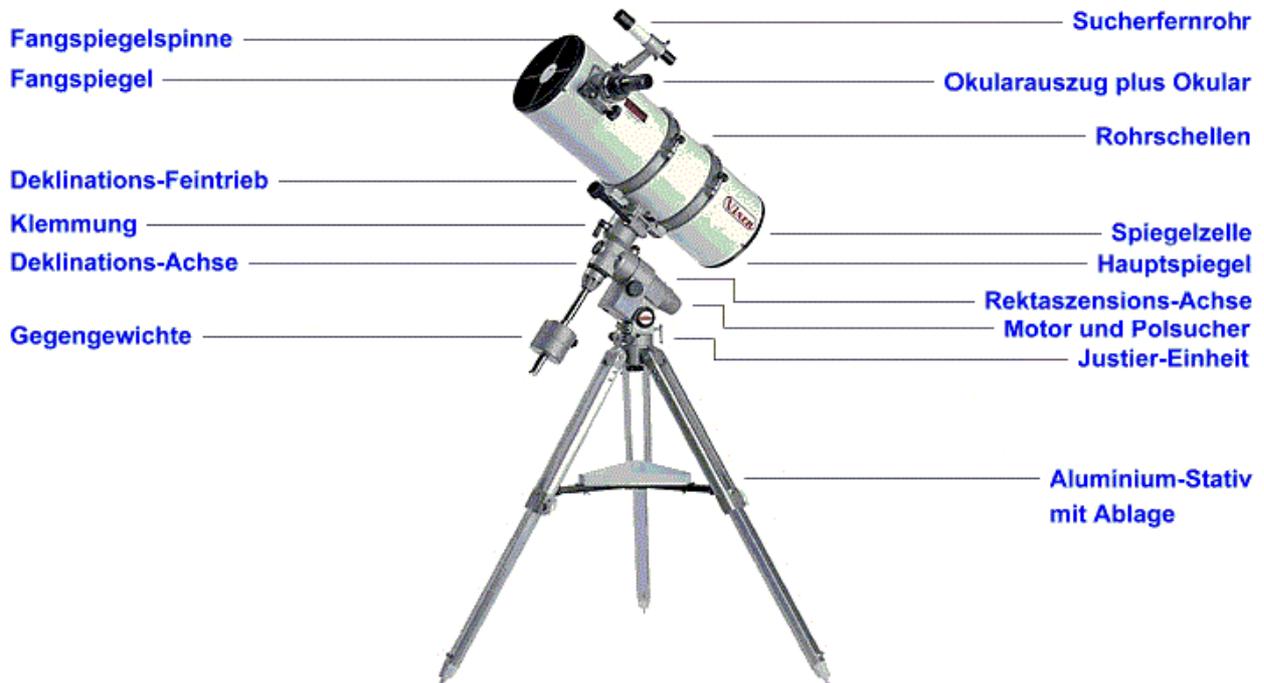
Eine weitere Möglichkeit besteht darin den Fangspiegel durch einen konvexen Spiegel zu ersetzen. Dadurch verlängert man virtuell die Brennweite des Teleskops, ohne dabei die Baulänge zu vergrößern. Solche Spiegelteleskope nennt man Cassegrain - Teleskope.<sup>27</sup>

Es gibt noch weitere Bauformen von Spiegelteleskopen, die jedoch sehr spezieller Natur sind und daher nicht beschrieben werden.

Bei Bedarf finden sich weitere Bauformen von Spiegelteleskopen unter folgendem Link:

<http://de.wikipedia.org/wiki/Spiegelteleskop>

## Newton-Spiegel-Teleskop



16. Abb.: Newton Teleskop

<sup>27</sup> Vgl. (Wikipedia S. , 2012)

## **5. Steuerung eines Teleskops**

Ein Teleskop muss stetig der Erddrehung folgen, um einen Stern kontinuierlich beobachten zu können. Damit dies möglich ist, bedarf es einer äußerst genauen Steuerung und eines absolut schlupffreien Getriebes. Um die Bewegung des Teleskops und damit die Steuerung zu erleichtern ist das Teleskop in einer Achse parallel zur Erdachse aufgestellt. Somit muss nur eine Achse (die Stundenachse) kontinuierlich bewegt werden, um die Erddrehung auszugleichen und damit die Position der Himmelsobjekte im Gesichtsfeld des Okulars zu halten. Weiterhin muss entweder eine Verstellung des Okulars oder des Sekundärspiegels geschaffen werden, um die Fokussierung des Objekts zu ermöglichen. Außerdem ist es bei größeren Spiegeln von Bedeutung, dass der Hauptspiegel bei Nichtgebrauch abgedeckt wird, um die aluminisierte Oberfläche vor Schmutzeinflüssen zu bewahren. Dies wird bei dem im Projekt eingesetzten Fernrohr z.B. durch vier Spiegelklappen übernommen, welche ebenfalls mit einer elektrischen Verstellmöglichkeit ausgerüstet sind. Alle genannten Aufgaben können von verschiedensten elektrischen Antrieben und Rückmeldeeinrichtungen durchgeführt werden. Geeignete Antriebe sind Servomotoren, Schrittmotoren oder Gleichstrommotoren. Rückmeldeeinrichtungen können zum Beispiel inkrementelle, absolute Wegaufnehmer oder Endschalter sein. Jeder Antrieb benötigt eine eigene Steuerung. Diese Steuersignale werden beispielsweise bei kleinen Hobbyteleskopen durch kompakte freikäufliche Teleskopsteuerungen generiert die meistens mit Schrittmotoren arbeiten. Die Steuerung größerer Teleskope wäre durch eine geeignete SPS realisierbar. Eine weitere Möglichkeit stellt der Einsatz eines Microcontrollers dar. Eine geeignete Strom - und Spannungsversorgung muss durch entsprechende Netzteile und Spannungswandler ebenfalls vorhanden sein. Damit eine Crashfahrt verhindert wird, sollten Endschalter an jeder Achse bzw. Spiegelklappe angebracht sein, die zur Abschaltung der Antriebe dienen.

## 5.1. Netzteile

Die Stromversorgung ist auch bei Teleskopen von elementarer Bedeutung, damit die Aktoren und Sensoren zu jedem Zeitpunkt einwandfrei arbeiten können. Bei schwankender oder fehlerhafter Stromversorgung wäre es beispielsweise möglich, dass die Beobachtung eines Sternes nicht möglich ist, weil die Motoren die Position nicht entsprechend korrigieren können, oder die Weggeber falsche Positionsinformationen ausgeben.

In der vorliegenden Teleskopsteuerung sind einige Netzteile und Trafos eingesetzt, um verschiedene Arten von Spannungen für die jeweiligen Peripherien zu erzeugen.

Es gibt grundlegend zwei verschiedene Arten von Netzteilen. Das

- Schaltnetzteil und das
- Trafonetzteil

In der Steuerung befinden sich Trafonetzteile, welche kostengünstig und simpel im Aufbau sind. Jedoch kommen heutzutage überwiegend Schaltnetzteile zum Einsatz. Sie arbeiten mit höheren Frequenzen als der Netzfrequenz. Ihr Frequenzbereich liegt zwischen 10 - und 100 kHz. Aus diesem Grund können bei gleicher Leistung kleinere Transformatoren eingesetzt werden. Ihre grundlegende Eigenschaft besteht darin, aus einer unregelmäßigen Eingangsspannung eine geregelte Ausgangsspannung zu generieren. Alle Netzteile liefern an ihren Abgangsklemmen einen geregelten Strom bzw. Spannung. Die Schaltnetzteile setzen sich, trotz komplexerer Bauform, bei immer höher werdenden Energie- und Rohstoffpreisen mehr und mehr gegen die Trafonetzteile durch.<sup>28</sup>

### 5.1.1. Schaltnetzteil

Das Schaltnetzteil ist ein sehr kompaktes Bauteil mit einem sehr hohen Wirkungsgrad (bis 90%). Bei diesem Spannungswandler wird die Eingangsspannung erst gleichgerichtet, dann in eine höher frequentierte Wechselspannung umgeformt und danach wieder gleichgerichtet. Dieser Vorgang hat den großen Vorteil, dass hohe Leistungen bei nur sehr kleinen und leichten Transformatoren übertragen werden können. Zur Verringerung der Hysterese- und Wirbelstromverluste werden die Eisenkerne meistens aus Ferrit hergestellt.<sup>29</sup>

Ein zur Übertragung von 4000 Watt geeigneter Transformator wiegt beispielsweise:

- bei 50 Hz etwa 25 kg<sup>30</sup>
- bei 125 kHz dagegen nur 0,47 kg<sup>31</sup>

---

<sup>28</sup> Vgl. (Wikipedia N. , 2012)

<sup>29</sup> Vgl. (Wikipedia S. , 2012)

<sup>30</sup> Vgl. (Wikipedia S. , 2012)

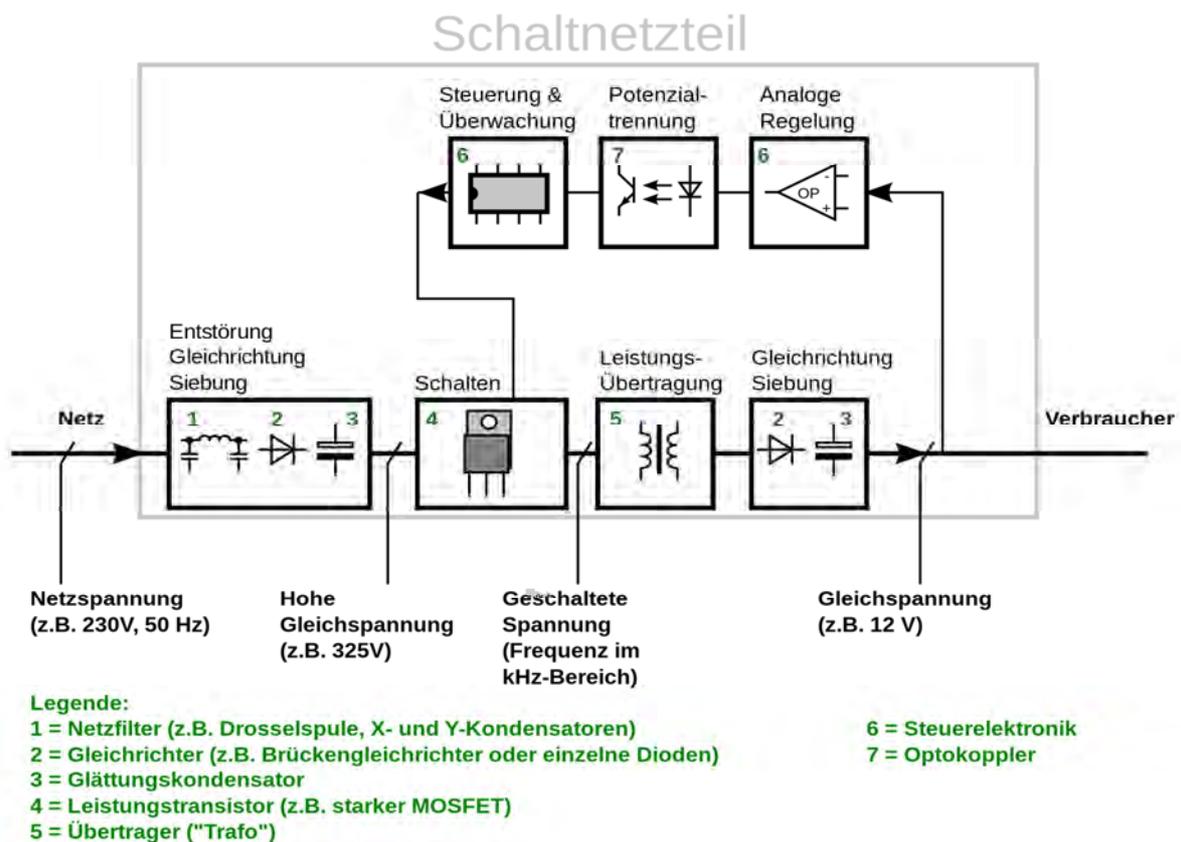
<sup>31</sup> Vgl. (Wikipedia S. , 2012)

Ein Schaltnetzteil ist ein geschlossener Regelkreis und liefert abgangsseitig einen konstanten Strom sowie eine konstante Spannung.

In den folgenden Punkten wird die Gleichrichtung des Schaltnetzteiles erläutert:

- Gleichrichtung der Primärwechselspannung
- Glättung der Gleichspannung
- „Zerhacken“ der Gleichspannung
- Transformation der neuen Wechselspannung
- Gleichrichtung der Wechselspannung
- Siebung der Gleichspannung

Der Regelkreis eines Schaltnetzteiles besteht aus vielen Einzelteilen. Im folgenden Bild sind die einzelnen Bauteile abgebildet.<sup>32</sup>



17. Abb.: Regelkreis eines Schaltnetzteiles

<sup>32</sup> Vgl. (Wikipedia S. , 2012)

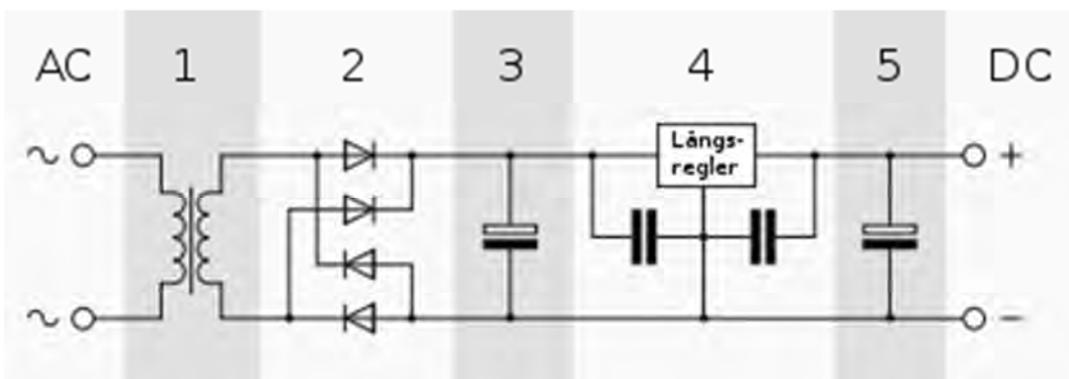
Die Regelung sorgt auch dafür, dass nur so viel Energie von dem Netzteil aufgenommen wird wie verbraucht wird. Dies gewährleistet weniger Verluste im System. Das Schaltnetzteil verfügt über einen Ferrit – Kern - Transformator und somit eine galvanische Trennung. Damit auch die Regelstrecke galvanisch getrennt ist, muss ein Optokoppler eingesetzt werden, welcher in der Abbildung 17. zu sehen ist.

In der Zeichnung sieht man weiterhin, dass der Schalttransistor im primären Kreis sitzt, also vor dem Transformator. Für die Schalttransistoren können MOSFET's oder Thyristoren verwendet werden. Als Gleichrichtung werden Schottkydioden oder auch umgangssprachlich „schnelle“ Dioden verwendet. Die Schnelligkeit liegt vor allem an ihren kleinen Sättigungskapazitäten. Diese Dioden gewährleisten schnelle Sperrzeiten und geringe Durchlassspannungen.

Als Kondensatoren werden sekundärseitig häufig mehrere parallel geschaltete ELKO's verwendet. Ihre zu gering dimensionierte Größe oder austrocknen der Kondensatoren ist der häufigste wärmebedingte Ausfallgrund bei Schaltnetzteilen.<sup>33</sup>

### 5.1.2. Trafonetzteil

Ein Trafonetzteil ist ein sehr einfach aufgebauter Transformator mit einer Gleichrichtung und Glättung. Diese Kombination wurde früher sehr oft verwendet, jedoch liegt der Wirkungsgrad nur bei ca. 50 %. Das hat zur Folge das man auch bei „Stand-by Betrieb“ durch die schlechte Qualität des Eisenkernes einen sehr hohen Energieverbrauch hat. Diese Eigenschaft ist nicht im Sinne des Umweltschutzes und aus diesem Grund wird diese Art der Netzteile heute nur noch sehr selten eingesetzt.<sup>34</sup>



18. Abb.: Aufbau eines Trafonetzteiles

<sup>33</sup> Vgl. (Wikipedia S. , 2012)

<sup>34</sup> Vgl. (Wikipedia N. , 2012)

Auf der Primärseite des Trafonetzteiles sitzt der Transformator (1) an dem die Wechselspannung angeschlossen wird (z.B. 230VAC). Punkt 2 beinhaltet die Gleichrichtung und den Glättungskondensator an dem die geglättete Gleichspannung entsteht. Punkt 4 ist die Linearregelung welche eine konstante Ausgangsspannung sicherstellt.

Es gibt auch Trafonetzteile ohne Linearregelung, die aus diesem Grund kostengünstiger sind. Punkt 5 ist ein weiterer Glättungskondensator.<sup>35</sup>

## 5.2. Servomotoren

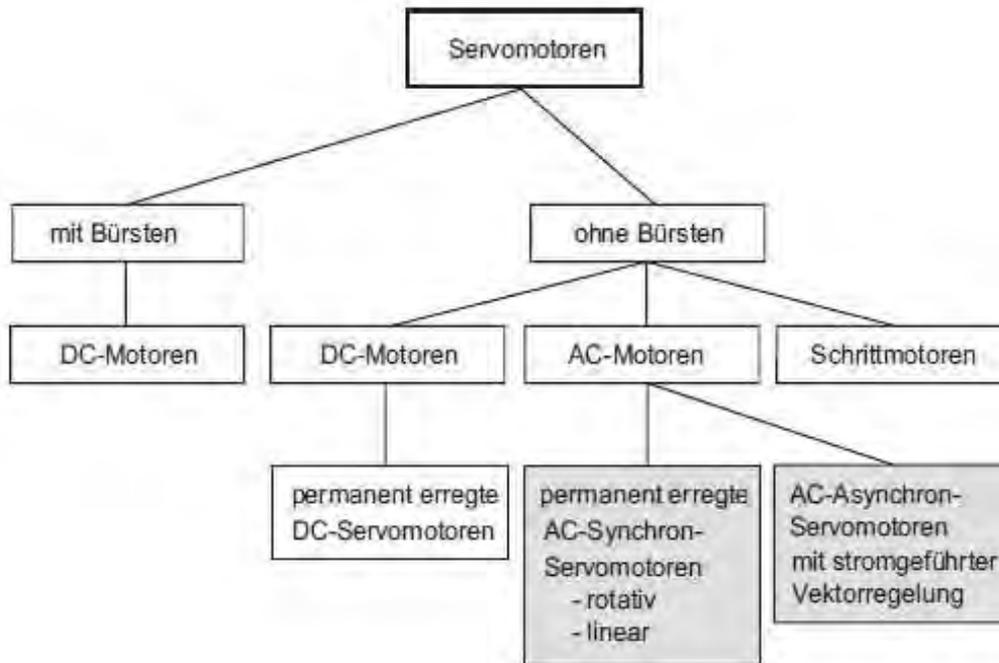
Als Servomotor oder Servomaschine werden alle Motoren bezeichnet, die in einem geschlossenen Regelkreis betrieben werden. Als Stellglied wird ein Servoregler eingesetzt welcher mit IST - und SOLL - Größen von Drehzahl, Drehmoment und Position den Motor betreiben kann. Der Betrieb des Motors kann drehzahl-, drehmoment- oder positionsgeregelt sein. Durch Zusammenführung dieser Größen besteht die Möglichkeit nach allen Größen gleichzeitig zu regeln. Ein Servomotor wird immer in Kombination mit einer geeigneten Steuerelektronik, wie z.B. einem Servoumrichter oder einen Servoverstärker eingesetzt. Diese Elektronik übernimmt alle erforderlichen Regelaufgaben, um den Motor entsprechend zu betreiben. Durch die hochdynamischen Eigenschaften, wie der Anlauf auf Nenndrehzahl in wenigen Millisekunden, das ebenso schnelle Abbremsen oder die Drehrichtungsumkehr sind diese Antriebe besonders für die Regelung von Winkeln, Lagen, Wegen oder dynamisch veränderlichen Drehzahlen geeignet. Anwendungsbereiche sind vor allem in Handhabungs- oder Transportanlagen, sowie in Industrierobotern. Weitere Eigenschaften sind der extrem gute Rundlauf, auch bei sehr niedrigen Drehzahlen von  $n \leq 1 \text{ min}^{-1}$ , die hohe Drehzahlgenauigkeit selbst bei dynamisch variablen Lasten (z.B. Exzentertriebe), die sehr gute und reproduzierbare Positioniergenauigkeit.<sup>36</sup>

---

<sup>35</sup> Vgl. (Wikipedia N. , 2012)

<sup>36</sup> Vgl. (www.servotechnik.de, 2012)

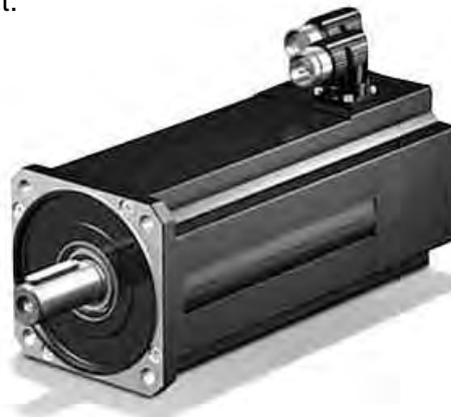
Servomotoren lassen sich wie folgt unterteilen:



19. Abb.: Servomotoren Familie

Ein Servoantrieb kann jede Art von Elektromotor enthalten wie z.B. einen Gleichstrommotor, einen Asynchronmotor oder einen Synchronmotor. Der Unterschied zu anderen Motoren liegt ausschließlich in der Ansteuerung über einen geschlossenen Regelkreis. Im Gleichstrom – Motor - Bereich geht der Trend zum bürstenlosen Gleichstrommotor mit elektronischer Kommutierung. Auch kann ein Schrittmotor mit Mini – oder Mikroschrittbetrieb als Servoantrieb eingesetzt werden.<sup>37</sup>

In den meisten Fällen ist der Encoder (Lage- bzw. Winkelsensor des Motors) direkt auf der Motorwelle montiert und bildet, falls ein Getriebe vorhanden ist, mit diesem und dem Motor eine feste Einheit. Die Stromversorgung des Encoders bzw. des Motors ist über Stecksysteme ausgeführt.

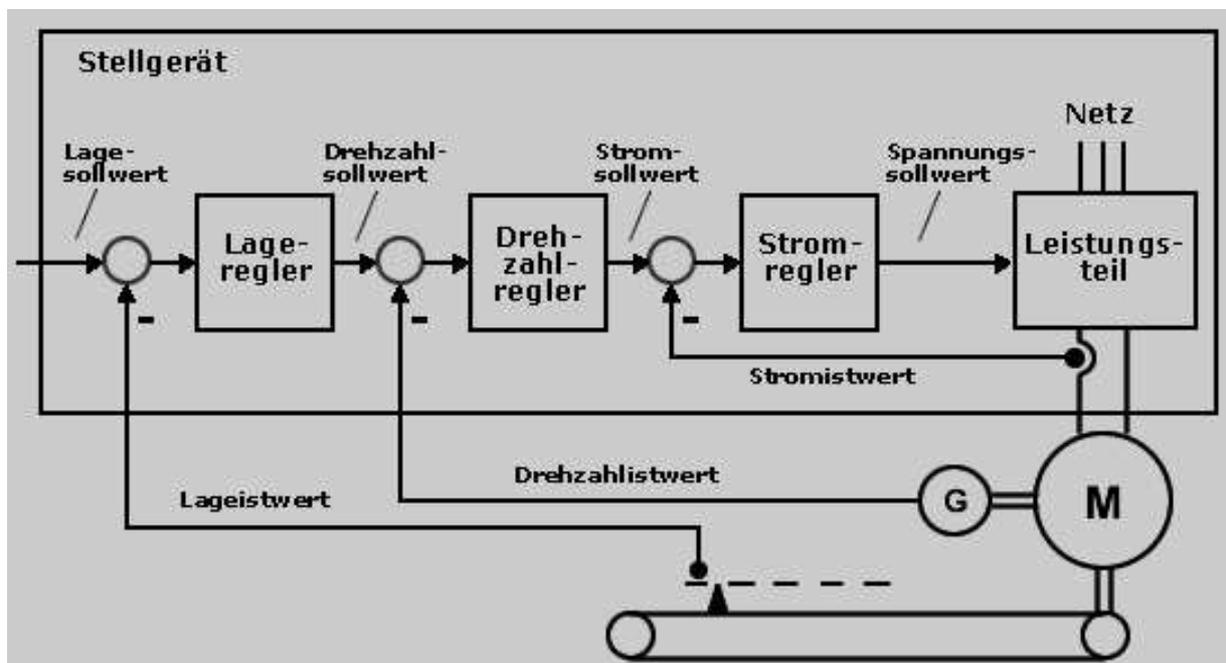


20. Abb.: Gleichstromservomotor

<sup>37</sup> Vgl. (Schenke, 2010)

### 5.2.1. Regelkreise bei elektrischen Servoantrieben

Bei der Regelung von Servoantrieben werden drei verschiedene Regelkreise übereinandergelegt. Es wird nach Drehmoment, Drehzahl und Lage des Motors separat geregelt. Die verschiedenen Regler sind in einer Kaskade angeordnet, wobei der überlagerte Regler dem unterlagerten Regelkreis den jeweiligen Sollwert mitteilt. Dem Stellgerät wird beispielsweise ein Lagesollwert vorgegeben, welcher umgehend vom Lageregler in einen Drehzahlsollwert umgerechnet und an den Drehzahlregler weitergegeben wird. Der Drehzahlregler gibt einen Stromsollwert an den Stromregler. Mit Hilfe des Stromsollwertes ermittelt der Stromregler als untergeordneter Regelkreis den Spannungssollwert und gibt diesen Wert an einen Leistungssteller weiter. Die Strom-, Spannungs- und Lage-Istwerte werden durch entsprechende Sensorik an das Stellgerät übermittelt, in den Regelkreis integriert und verrechnet. Je nach Sollregelgröße können die verschiedenen Regler auch in einer anderen Positionierung zueinander stehen. Es ändert sich in diesem Fall allerdings nichts an dem Kaskadenaufbau des Reglers. Diese Art von Regelkreis hat den Vorteil, dass sich die verschiedenen Regler sehr gut aufeinander abstimmen und optimieren lassen. Abhängig vom eingesetzten Motortyp unterscheiden sich die Stellgeräte meist nur gravierend in der Stromregelung. Alle vorgelagerten Regelkreise weisen keine gravierenden Unterschiede auf.<sup>38</sup>



21. Abb.: Regelkreise bei elektrischen Servoantrieben

<sup>38</sup> Vgl. (www.servotechnik.de, 2012)

## 5.2.2. Servomotor Bauarten

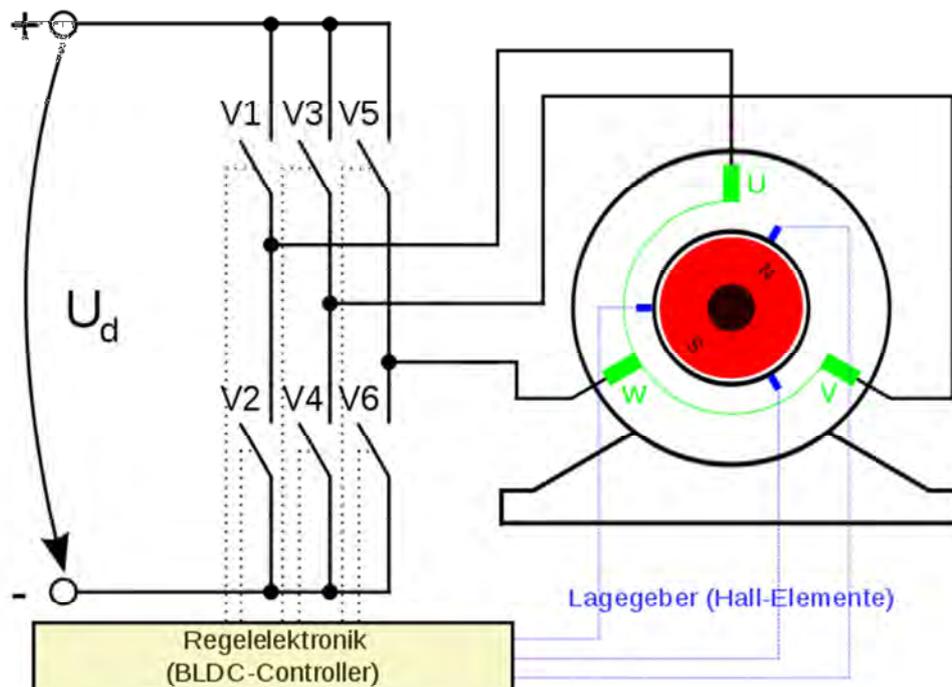
Es gibt viele verschiedene Arten von Servoantrieben. Die Antriebe unterscheiden sich in ihrer Motorart und nach ihrem Wegmesssystem. Im Folgenden wird auf verschiedene Motoren und Wegmesssysteme eingegangen.

### 5.2.2.1. Bürstenloser Gleichstromservomotor

Ein bürstenloser Gleichstrommotor ist ein elektronisch kummutierter Motor. Das bedeutet, dass es keine Kohlen und die damit verbundenen Nachteile wie Staub oder Bürstenfeuer gibt. Die Kummutioneinrichtung wird durch ein Lage- und Drehzahlsignal des Ankers gesteuert und bestromt analog dazu die einzelnen Wicklungen. Der mechanische Aufbau des Motors ähnelt, bis auf die Wicklungen, dem des permanentenerregten Drehstrom-Synchron-Motors. Stator (permanentenerregt) und Anker sind getauscht, das bedeutet, dass die Wicklungen im Stator liegen und die Dauermagnete im Anker. Wicklungsstränge gibt es mindestens drei, manche Motoren haben sogar sechs oder neun Wicklungstränge.<sup>39</sup>



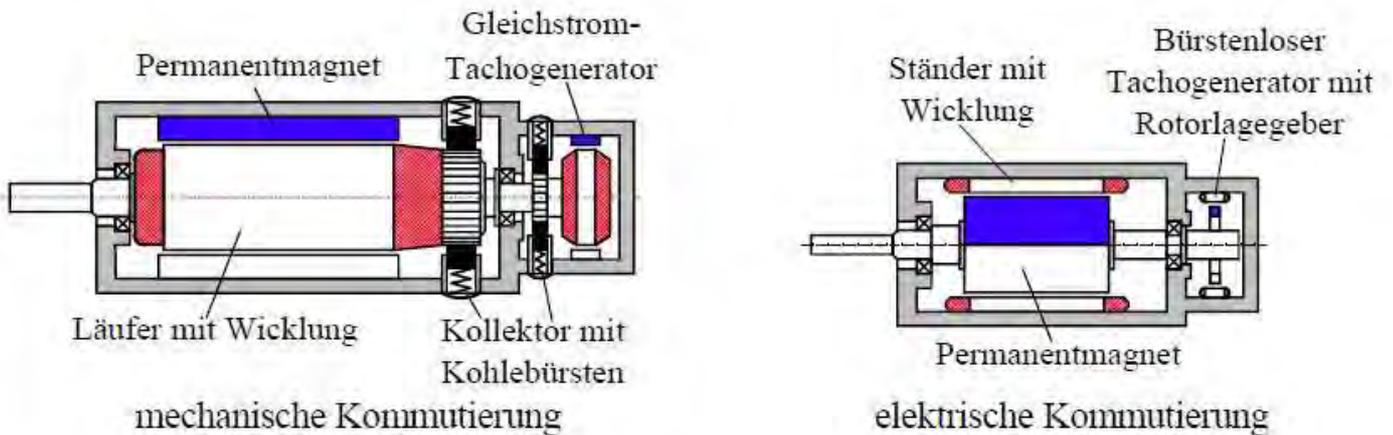
22. Abb.: Bürstenloser Gleichstromservomotor



23. Abb.: Prinzipdarstellung eines dreisträngigen Gleichstrommotors mit elektronischer Kummution

<sup>39</sup> Vgl. (Schenke, 2010)

Dieser Motortyp weist ein Nebenschlussverhalten auf, das bedeutet, dass die Drehzahl mit Kommutierungsfrequenz einstellbar ist und das Drehmoment über den zugeführten Strom. Die Höchstdrehzahl ist von den mechanischen Fliehkräften die auf die Magnete wirkt und der Kugellagerlebensdauer abhängig. Leistungen von 0,3 bis 30kW sind möglich.<sup>40</sup>



24. Abb.: Vergleich von mechanischer und elektronischer Kommutierung

#### 5.2.2.2. Drehstromasynchron Servomotor

Der Aufbau des Motortyps bleibt unverändert, es wird lediglich auf die Motorwelle ein Messsystem für Drehzahl und Rotorlage installiert. Diese beiden Komponenten ergeben eine mechanische Einheit. Der elektrische Anschluss erfolgt über Steckverbindungen an einen Servo – Frequenzumrichter. Dieser ist mit Mikroprozessoren ausgestattet und bildet so die Regelungseinrichtung des Motors. Das Regelungsprinzip ist das Prinzip der feldorientierten

Regelung, um ein ähnliches Lasterhalten wie bei einem Gleichstrommotor zu generieren. Leistungen von 0,3kW bis ca. 100kW bei Drehzahlen von 3000min<sup>-1</sup> und 1500min<sup>-1</sup> sind möglich.<sup>41</sup>



25. Abb.: Drehstromasynchron Servomotor

<sup>40</sup> Vgl. (Schenke, 2010)

<sup>41</sup> Vgl. (Schenke, 2010)

### 5.2.2.3. Drehstromservomotor

Auch bei einem Drehstromservomotor bleibt der Aufbau des Motors unverändert. Lediglich auf die Motorwelle wird ein absoluter Positionsgeber montiert, da die absolute Lage des Rotors immer bekannt sein muss. Es ist erforderlich einen Servoumrichter über Steckverbinder am Motor und am Positionsgeber anzuschließen. Leistungen von 0,2kW bis 50kW und Drehzahlen bis 4000min<sup>-1</sup> sind möglich. Durch das geringe Massenträgheitsmoment sind diese Motoren sehr dynamisch.<sup>42</sup>



26. Abb.:  
Drehstromservomotor

### 5.2.2.4. Servogeregelte Schrittmotoren

Wenn ein Schrittmotor als Servoantrieb verwendet wird, ist darauf zu achten, dass Voll-, Halb-, Mini- oder Microschritt durch die Regeleinheit beherrscht werden kann. Hierdurch ist eine wesentlich genauere Positionierung gewährleistet. Auch dieser Motor muss mit einem Gebersystem auf der Motorwelle ausgestattet sein und wird von einer Schrittmotorservosteuerung angesteuert.<sup>43</sup>



27. Abb.: Servogeregelter  
Schrittmotor

---

<sup>42</sup> Vgl. (Schenke, 2010)

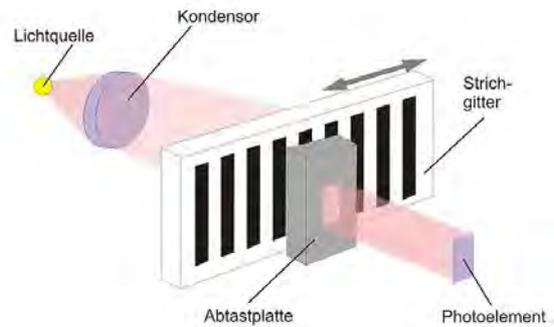
<sup>43</sup> Vgl. (Schenke, 2010)

### 5.2.3. Lagegeber

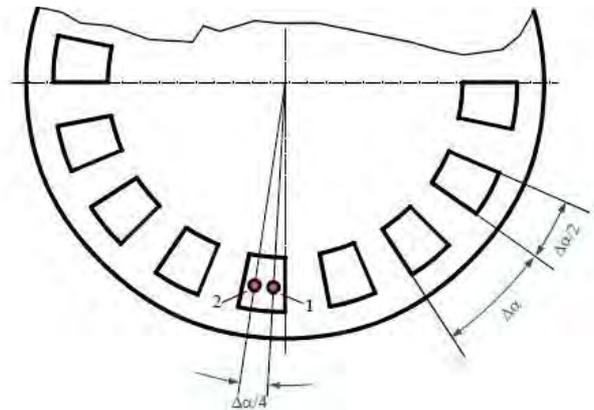
Jeder Servomotor ist mit einem Lagegeber versehen, der die IST - Position des Motors entweder absolut oder inkrementell an den Regelkreis bzw. Servoumrichter weitergibt. Lagegeber sind z.B. Resolver, Inkrementalgeber oder absolute Geber.

#### 5.2.3.1 Inkrementelle Weggeber

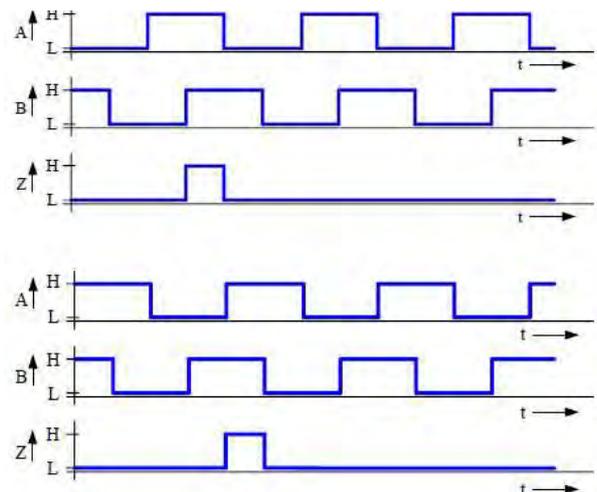
Inkrementelle Weggeber bestehen im Wesentlichen aus einem Photoelement und einer Lichtquelle. Die Lichtquelle wird bei Bewegung des Strichgitters abwechselnd verdeckt und wieder für das Photoelement sichtbar. Hierdurch ändert das Photoelement seinen Schaltungszustand. Diesen Zustandswechsel kann man über einen Zähler auf eine zurückgelegte Wegstrecke umrechnen. Hierfür muss lediglich der Strichgitterabstand  $\Delta$   $\alpha$  bekannt sein. Eine weitere Möglichkeit ist es nach dem Reflektionsverfahren zu arbeiten. Hierbei befinden sich Lichtquelle und Photoelement auf derselben Seite des Strichgitters. Das Funktionsprinzip ist bei beiden Anordnungen identisch. Das Strichgitter ist ein aus Glas hergestellter Körper welcher abwechselnd mit einem lichtundurchlässigen Strich und einer lichtdurchlässigen Lücke aufgebaut ist. Die Gitterteilung besteht meist aus 512 bis 16384 ( $2^9 - 2^{14}$ ). In der Abb. ist als Beispiel ein zweispuriger Encoder abgebildet. Das bedeutet, dass eine lichtdurchlässige Lücke von zwei Photoelementen (Spur A und Spur B) abgetastet werden kann. Durch diese spezielle Anordnung kann durch den ersten Flankenwechsel die Drehrichtung ermittelt werden. Weiterhin gibt es eine Referenzspur bzw. einen Referenzpunkt der eine Flanke bei



28. Abb.: Aufbau Inkrementaler Weggeber



28. Abb.: Strichcodescheibe

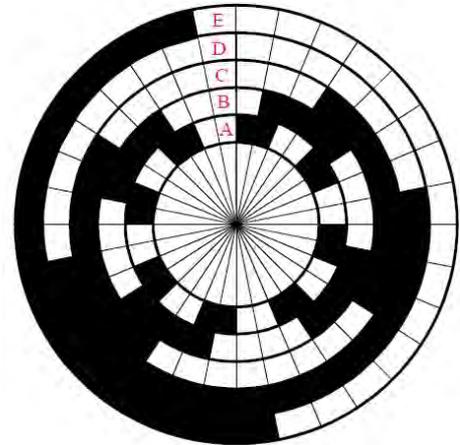


30. Abb.: Ausgangssignale verschiedener Drehrichtungen

jeder Drehung um 360° generiert (Spur Z). Bei Verwendung dieses Weggebers ist nach dem Einschalten eine Lernfahrt erforderlich damit die Position bekannt ist.<sup>44</sup>

### 5.2.3.2 Absoluter Weggeber

Absolute Weggeber bestehen wie der inkrementelle Geber aus einer Strichcodescheibe, Lichtquellen und Fotoelementen. Das Besondere an einem absoluten Weggeber ist, dass dieser ohne Referenzfahrt zu jeder Zeit seine absolute Position kennt. Dies wird durch einen Strichcode mit mehreren Spuren realisiert. Die Abbildung zeigt eine fünf spurige Strichcodescheibe mit Gray Code die am weitesten verbreitet ist. Dieser Code hat den Vorteil, dass sich bei Übergang zur nächsten Position immer nur eine Spur den Zustand wechselt. So können Positionsfehler in der Auswerteeinheit direkt



29. Abb.: Strichcodescheibe mit Gray-Codierung

erkannt und die Ausgabe von falschen Positionen verhindert werden. Die Position wird ermittelt indem jede Spur durch Lichtquellen und Fotoelemente ausgelesen wird und anschließend mit Hilfe eines Signalverstärkers aufbereitet wird. Um die Position über 360° zu erkennen benötigt man bei diesem Messsystem ebenfalls einen Zähler, der mit einem Trigger die zurückgelegten Umdrehungen zählt (Zähler kann Batteriegepuffert sein, damit Zahlerstand bei Spannungsverlust nicht verloren geht). Bei Verwendung dieses Weggebers ist nach dem Einschalten keine Lernfahrt erforderlich, da die absolute Position durch abtasten der Strichcodescheibe bekannt ist.<sup>45</sup>

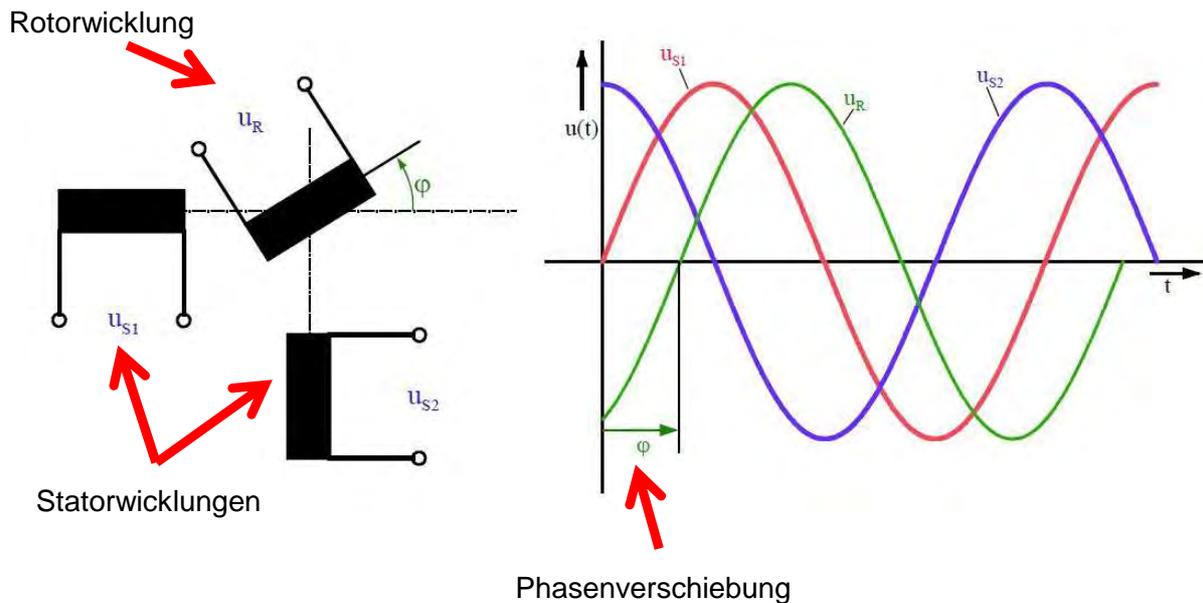
### 5.2.3.3 Resolver

Ein Resolver besteht aus drei verschiedenen, präzisen Wicklungen. Zwei der drei Wicklungen sind auf dem Stator um 90° zueinander versetzt montiert, die dritte Wicklung ist auf dem Ständer montiert. Die Spannung der Ständerwicklung kann durch Schleifkontakte abgegriffen werden. Dies ist ein Nachteil eines Resolvers, da dieser durch die Schleifkontakte regelmäßig gewartet und überprüft werden muss. Durch die versetzte Lage der Wicklungen entsteht durch Induktion Spannung. Diese Spannungen sind phasenverschoben und können mit Hilfe eines Auswertegerätes auf die genaue Lage des Ständers hin analysiert werden. Für diese Analyse wird die Phasenverschiebung zwischen  $U_{s1}$  und  $U_r$  gemessen.<sup>46</sup>

<sup>44</sup> Vgl. (Schenke, 2010)

<sup>45</sup> Vgl. (Schenke, 2010)

<sup>46</sup> Vgl. (Schenke, 2010)



30. Abb.: Resolver Prinzipdarstellung / Ausgangssignale

Dieses Messverfahren ist ein zyklisch absolutes Messverfahren. Dies ist darauf begründet, dass bei mehr als einer Umdrehung des Resolvers die Umdrehungen zyklisch addiert oder subtrahiert werden müssen, um die genaue Lage ermitteln zu können. Vorteile dieser Wegmessung sind die kleine Bauweise und die hohe Genauigkeit.<sup>47</sup>

## 6. DFM Teleskop

Bei dem Teleskop des Herstellers DFM - Engineering, INC. handelt es sich um ein 1,2t schweres Teleskop mit einem Spiegeldurchmesser von 80cm, das 1985 ursprünglich von der Universität München angeschafft und auf dem Wendelstein installiert worden ist. Die Gesamthöhe beträgt ca. 4,5 Meter. Gesteuert wird das Teleskop mit Hilfe eines Schaltschranks, in dem ein 486er PC, zwei 19 Zoll Einschubböden mit Spiegelsteuerung und der Motorsteuerung enthalten sind. Neben der Hardware ist auf dem PC ein Steuerprogramm installiert, das mit der Hardware kommuniziert und dem Beobachter die Möglichkeit bietet Objekte am Himmel anzufahren. Die Optik des Teleskops besteht aus einem elliptischen Hohlspiegel und einem Sekundärspiegel, der das vom Objekt empfangene Licht zurückreflektiert und durch eine Bohrung des Hauptspiegels dem Fokus zuführt.

<sup>47</sup> Vgl. (Schenke, 2010)

## 6.1. Genereller Aufbau

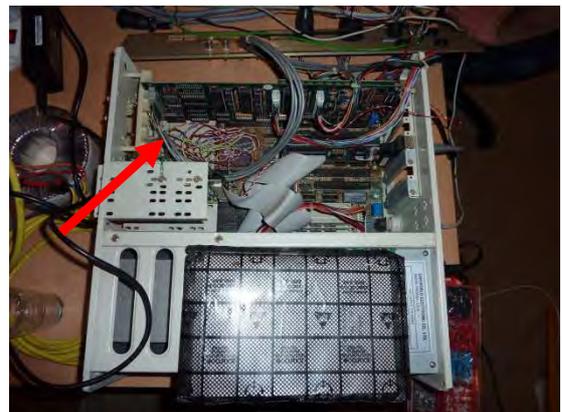
Die Teleskopmontierung besteht aus mechanischen und elektrischen Komponenten, die zusammenarbeiten müssen. In den folgenden Abschnitten werden die Einzelteile und deren Zusammenspiel dargestellt.

### 6.1.1. Mechanisch

Es handelt sich bei der DFM - Montierung um eine Gabelmontierung. Angetrieben wird das Teleskop über einen zwei - stufigen Friktionsantrieb. Dieser Antrieb ist so aufgebaut, dass der Servomotor ein kleines Reibrad antreibt. Dieses Reibrad treibt über Flächenpressung ein größeres Reibrad an, welches das Teleskop bewegt. Dieses Getriebe hat den entscheidenden Vorteil, dass es absolut spielfrei und nahezu ohne Schlupf arbeitet, was für eine exakte Positionierung und Rundlaufgenauigkeit der Achsen unerlässlich ist. Der Sekundärspiegel wird zur Fokussierung des optischen Systems verwendet. Er wird mit Hilfe eines Schrittmotors eingestellt und über einen entsprechenden Encoder positionsmäßig ausgewertet. Der Hauptspiegel liegt auf einem Luftsack der durch eine Sackpumpe aufgepumpt wird. Diese Art der mechanischen Halterung des Spiegels wurde gewählt, da schon bei geringer thermischer Ausdehnung oder mechanischer Belastung die Haltevorrichtungen aus Metall Spannungen im Spiegelglas verursachen und dadurch Verzerrungen der Abbildung hervorgerufen werden können, die sich extrem negativ auswirken.<sup>48</sup>

### 6.1.2. Elektrisch

Das Teleskop wird über einen Computer angesteuert und geregelt. Es befindet sich eine I/O - Karte im PC, die die Antriebe des Teleskops regelt. Der Computer ist über ein 37-poliges Kabel (AMP-Steckverbinder) mit der Motorsteuereinheit verbunden. Des Weiteren gibt es ein Handpaddle, dass mit der Motorsteuereinheit verbunden ist und einen zweiten Schaltkasten in dem die Ansteuerung

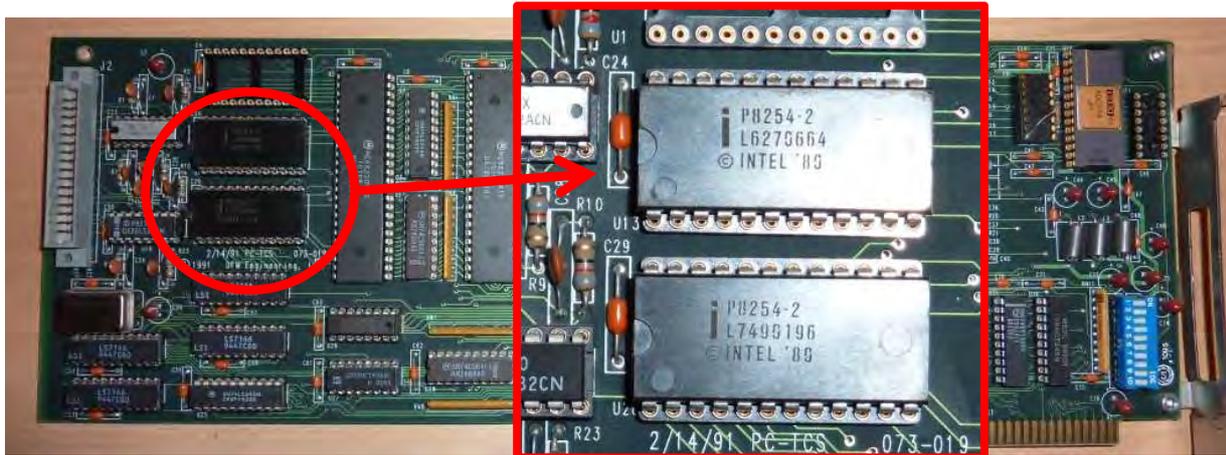


31. Abb.: Computer mit I / O Karte

für die Mirror-Doors und die Sackpumpe für den Spiegel-Luftsack untergebracht ist. In dem ersten Schaltkasten befindet sich die Ansteuerung der beiden Achsmotoren. Beide Einschübe enthalten Netzteile, Motorsteuerplatinen und Steuerlogik.<sup>49</sup> Weiterhin ist ein Quecksilber-Endschalter an dem

<sup>48</sup> Vgl. (DFM Engineering, INC. 1988, 1995)

<sup>49</sup> Vgl. (DFM Engineering, INC. 1988, 1995)



32. Abb.: I / O Karte mit Intel 8254 Pulsfrequenzgeneratoren

Ost-Achsschenkel des Teleskops montiert, der sofort alle Bewegungen des Teleskops unterbricht, wenn der Tubus eine Horizontdistanz von weniger als 15° erreicht hat. Auf der I/O Karte des Computers sitzt ein Intel 8254 Pulsfrequenzgenerator für die Bewegungen der einzelnen Achsen. Weiterhin werden LSI 7166 Zähler benutzt, um die Achsenposition zu halten. Ein AD-574a (12 - Bit) Analog – Digital - Wandler wird verwendet, um die Fokusslage zu lesen bzw. zu erkennen. Alle elektrischen Bauteile sind in einer 19 Zoll großen Schaltbox untergebracht und haben eine Spannungsversorgung von 115VAC.<sup>50</sup>

### 6.1.3. Software

Die Software ist in 80486 Assembler - Code und CPL0, eine Pascal-ähnliche Sprache geschrieben. Die Software ist multitaskingfähig. Dies wurde mit Hilfe eines Timers erreicht, der ein Interrupt generiert, um Zeit zwischen den einzelnen Aufgaben zu schaffen. Diese Zeit ist ausreichend, um es so erscheinen zu lassen, dass alle Aufgaben (Task 0 - 9) zur selben Zeit ausgeführt werden. Insgesamt gibt es 10 verschiedene Aufgaben, die das Programm übernimmt. Weiterhin dient es der Kontrollfunktion des Teleskops.<sup>51</sup>

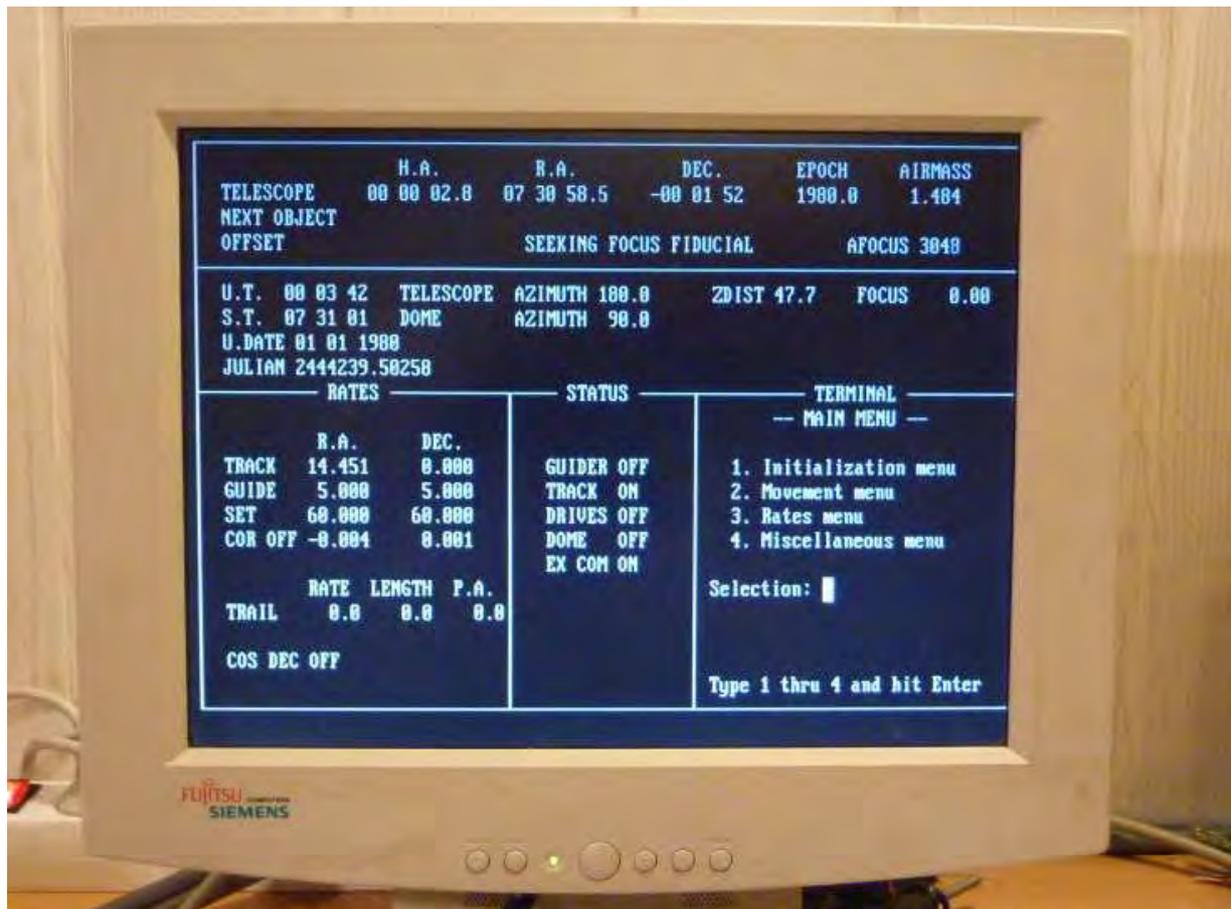
- TASK 0 Darstellung des Menüs und Abfrage der Tastatur-Eingaben
- TASK 1 berechnet die Position des Teleskops und zeigt diese Informationen an
- TASK 2 zeigt Teleskop-Status
- TASK 3 führt Menü und externe Computer-Befehle aus
- TASK 4 steuert den Rektaszensions Servomotor
- TASK 5 steuert den Deklinations Servomotor
- TASK 6 Verarbeitung der Handpaddel - , Limits - und Frontpanel - Signale
- TASK 7 steuert die Kuppel

<sup>50</sup> Vgl. (DFM Engineering, INC. 1988, 1995)

<sup>51</sup> Vgl. (DFM Engineering, INC. 1988, 1995)

- TASK 8 Dienste für eine serielle Schnittstelle von einem zusätzlichen, externen Rechner
- TASK 9 führt Menü und EXCOM Befehle für die GAM mit COM2 Schnittstellen aus

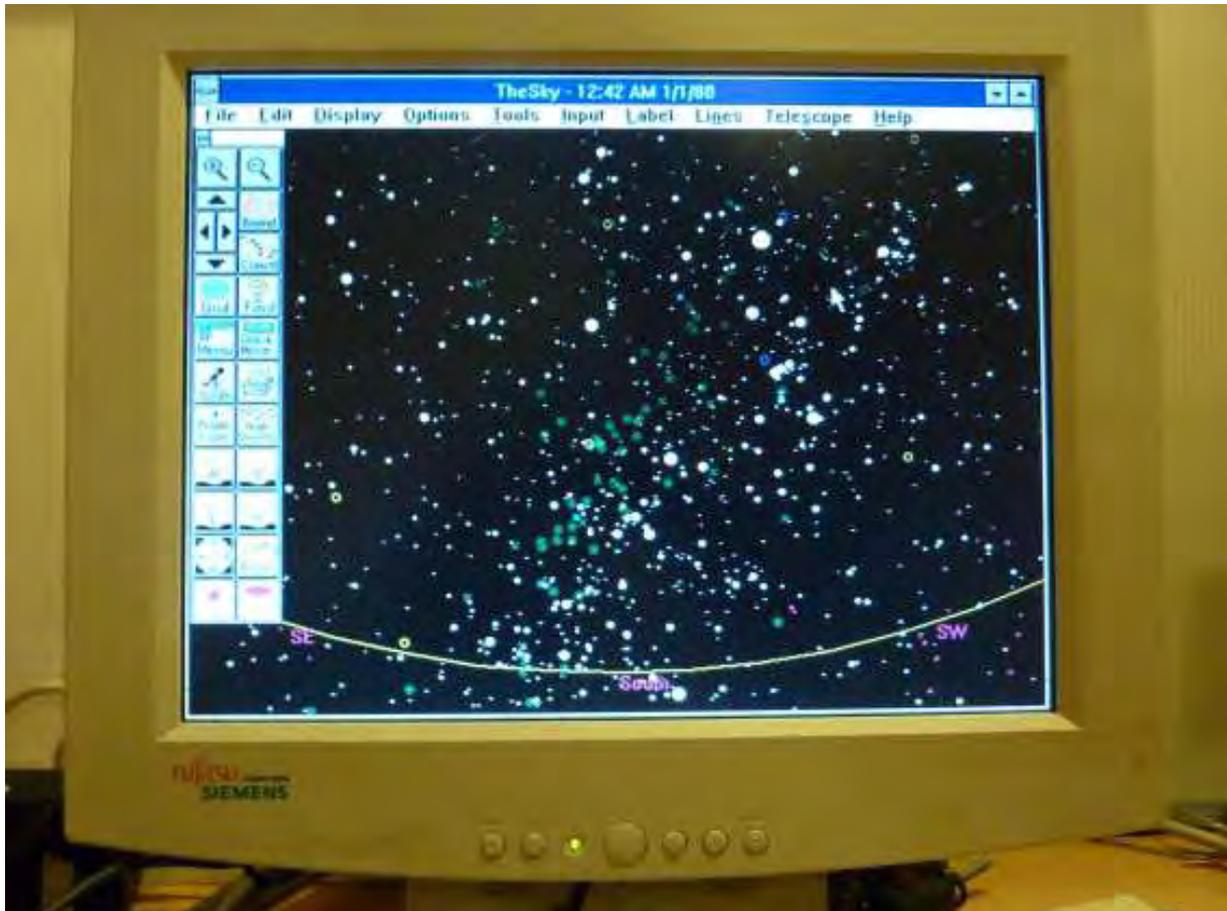
Die Steuerungssoftware ist für generelle Forschungszwecke mit einem Teleskop auf beiden Hemisphären (Nord und Südhemisphäre) geschrieben. Die Handhabung, nach Koordinaten, erlaubt den Betrieb in jeder Epoche (Referenzzeitpunkt für zeitlich veränderliche Größen). Das Programm ist in der Lage Korrekturen an der Präzession, Nutation (*lateinisch*: Nicken), Aberration (*lateinisch*: Abweichung), Refraktion (Lichtbrechung), mechanische und optische Verzerrungen und an mechanischen Biegungen durchzuführen.<sup>52</sup> Es sind nur kleine Änderungen erforderlich, um die Steuerung mit ortsspezifischen Informationen einschließlich Längengrad, Breitengrad und Höhe anzupassen. Diese Änderungen werden in der Initialisierungsdatei verwendet, um System-Variablen (z.B.: Encoder und Motoren) zu initialisieren, einzustellen und zu speichern. Man gelangt über den Befehl "c:\Munich>tcs" im DOS - Modus des Computers in das Initialisierungsprogramm.



33. Abb.: Initialisierungsprogramm

<sup>52</sup> Vgl. (DFM Engineering, INC. 1988, 1995)

Um Windows 3.1 zu starten ist im DOS - Modus der Befehl "c:\Munich>win" zu verwenden. Anschließend wird Windows gebootet und es kann mit dem Programm "The Sky" gearbeitet werden.



34. Abb.: Programm "The Sky"

Das Programm ist die Schnittstelle zwischen der I/O - Karte und der Teleskopsteuerung. Außerdem bietet es eine komplette Sternenkarte und verschiedene weitere Befehle an. In der TASK - Leiste unter "Hilfe" findet man die genaue Beschreibung der Menüpunkte und Auswahllisten.

#### 6.1.4. Limits

An der Montierung ist ein Quecksilber Notendschalter montiert. Dieser Endschalter unterbricht die Spannungsversorgung für die Motoren wenn der Tubus fast horizontal ist.

Wenn diese Endschalter ansprechen, zeigt dies die grüne LED ("Horizontal Limit") auf dem Frontblech des Motor Driver Chassis durch erlöschen an. Um das Teleskop aus dieser Endlage wieder herausfahren zu können, ist es notwendig den Schalter "STOP" (S11) an der Außenseite der Motorsteuerbox zu drücken (Öffner) und das Teleskop manuell aus dem Grenzwert wieder heraus zu fahren.<sup>53</sup>



35. Abb.: "Stop" - Schalter S11

#### 6.1.5. Hauptspiegel Klappen

Es gibt vier motorangetriebene Türen, welche den Hauptspiegel abdecken, wenn das Teleskop nicht in Betrieb ist. Die Ansteuerung für diese Türen ist in dem 19 Zoll Spiegelsteuerungseinschubkasten untergebracht. Die Türen werden mit Hilfe eines Schalters auf dem Frontpanel geöffnet und geschlossen.<sup>54</sup>

#### 6.1.6. Aux Box

In der AUX Box befinden sich vom Teleskop zur Schaltbox (Reck → Blauer Hauptschaltkasten) "durchgeschliffene" Kabel, die für verschiedene Zwecke (Messleitung, Spannungsversorgung, etc.) genutzt werden können. Weiterhin befand sich ein Lüfter mit Trafo in dieser Box welcher jedoch nicht mehr in Funktion ist. Die Aux Box greift an keiner Stelle in die Funktion der Steuerung ein und wird daher nicht benötigt.<sup>55</sup>



36. Abb.: Aux Box Vorder- und Rückansicht

<sup>53</sup> Vgl. (DFM Engineering, INC. 1988, 1995)

<sup>54</sup> Vgl. (DFM Engineering, INC. 1988, 1995)

<sup>55</sup> Vgl. (DFM Engineering, INC. 1988, 1995)

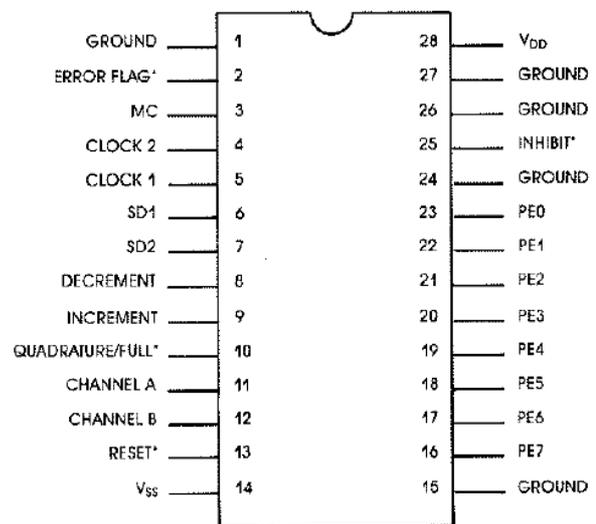
### 6.1.7. GL 1200

Die beiden Achsen (RA - und DEC - Achse) des Teleskopes werden von einem Microchip geregelt, welcher jeweils auf jeder Steuerplatine (A11A und A11B => Schaltplan 034-134 in aufgelöster Darstellung; Schaltplan 101-201 Steckplatzbelegung) für die Deklinations- und die Rektaszensionsachse sitzt. Beide Platinen sind von ihrem elektrischen Aufbau und ihrer Funktion identisch. Dieser Chip stellt die zentrale Motorsteuerung der Servomotoren da. Er ist direkt mit dem Motorencoder und der I/O Schnittstelle des Computers verbunden. Der Motorencoder stellt die Rückführgröße des Regelkreises dar, wobei die I/O – Schnittstellenkarte des PCs Sollwerte und eine Clockrate (5MHz) vorgibt. Es gibt zwei dieser Steuerplatinen. Eine steuert die Bewegung der RA - Achse, die andere die Bewegung der DEC - Achse



37. Abb.: Motorsteuerplatine mit GL 1200

Der GL1200 ist ein Single - Chip - Controller mit einem 28-poligen Gehäuse. Er bietet Closed-Loop Positions- und Drehzahlregelung für einen DC - Motor. Der Chip erwartet eine Rückmeldung von einem Zwei-Kanal-Inkrementalgeber. Die Positionsbefehle werden über ein Impulsfolge-Format eingelesen. Die aktuelle Position und Sollposition werden kontinuierlich in einem 12 - Bit - Register gespeichert und aktualisiert.<sup>56</sup>



38. Abb.: GL 1200

<sup>56</sup> Vgl. (GALIL Motion Control, Inc., 1988)

Der GL1200 vergleicht die Ist - Position mit der Soll - Position und bildet so einen 12 – Bit - Positionierungsfehler. 8 Bits des Positionsfehlers sind Puls – Weiten - Modulations (PWM) Signale und gleichzeitig der Ausgang für die Motorsteuerung (Leistungs transistor). Der GL 1200 berechnet auch die Ableitung des Positionsfehlers für die Dämpfung. Dadurch entfällt die Notwendigkeit für ein Geschwindigkeitsfeedback von einem Tachometer.<sup>57</sup>

Der GL1200 gibt den Puls - Weiten - Modulations-Positionsfehler und Ableitung des Positionsfehlers heraus. Diese Signale, die extern aufsummiert und in analoge Signale umgewandelt werden, sind die einzigen Ausgangssignale die für eine präzise Motorsteuerung benötigt werden. Die Anfahr- und Verzögerungsrampe ist durch externe Widerstände für eine optimale Leistung einstellbar. Der GL 1200 ist ein Bauteil welches dem Impuls (5Mhz generiert in I/O - Karte) nach eilt. Z.B. bewegt sich der Motor bei einem Eingabeimpuls einen Encoder Impuls weiter.<sup>58</sup>

Das Geschwindigkeitsprofil des Motors wird durch die Impulseingangsfrequenz des Motor-Encoders bestimmt. Wenn die Encoder-Impulse im Vergleich zur Soll- Geschwindigkeit zu stark abweichen generiert der GL 1200 einen Fehlersignal (LOW- Signal; siehe Datenblatt GL1200 im Anhang). Der Position Fehler kann kontinuierlich durch einen 8-Bit-Fehler-Ausgang (Pin 16 – 23) überwacht werden.<sup>59</sup>

Eingänge des GL1200:<sup>60</sup>

- Clock 1 (Pin 5): externer Takt-Eingang. Maximale Frequenz liegt bei 5 MHz.
- Dekrement (Pin 8): Verringert Position Befehlszähler um einen Zähler für jede steigende Flanke am Dekrement Eingang.
- Inkrement (Pin 9): Erhöht Position Befehlszähler um einen Zähler für jede steigende Flanke am Inkrement Eingang
- Quadrature / Full1 (Pin 10): Zum Auswählen der Eingangs-Auflösung. Wenn anliegender Wert niedrig ist, wird bei jedem Inkrement oder Dekrement Flanke der Motor um vier Flanken der Encoder - Signale (4x Encoder - Zyklen) weiter gedreht. Bei hohem anliegendem Wert wird bei jedem Inkrement oder Dekrement Befehl der Motor nur um eine Flanke des Encoders weiter gedreht.
- Encoder A / B (Pin 11 / 12): zwei Channel Encoder mit TTL - Level. Der Controller führt die Decodierung der Encoder-Signale selbstständig aus.
- Reset (Pin 13): Setzt alle Positionszähler zurück und setzt die pulsweitenmodulierte Positionsfehlerausgabe in den Tri - Starte.

<sup>57</sup> Vgl. (GALIL Motion Control, Inc., 1988)

<sup>58</sup> Vgl. (GALIL Motion Control, Inc., 1988)

<sup>59</sup> Vgl. (GALIL Motion Control, Inc., 1988)

<sup>60</sup> Vgl. (GALIL Motion Control, Inc., 1988)

Ausgänge des GL 1200:<sup>61</sup>

- MC (Pin 3): Pulsweitenmodulierte Positionsfehler muss mit SD1 und SD2 addiert werden (Schaltung siehe Abbildung 1 im Datenblatt; Anhang)
- SD1, SD2 (Pin 6 / 7): TTL Level Systemdämpfungs Signale. Müssen mit MC addiert werden (Schaltung siehe Abbildung 1 im Datenblatt; Anhang) um den analogen Motor-Befehl zu bilden.
- Position Error Port (Pin 16 - 23): 8 - Bit-Position Fehler-Port für die Überwachung der Positionsfehler
- Error Flag (Pin 2): wenn dieses Signal auf low wechselt, ist der Positionsfehler größer als 8-Bit, bzw der Wert 127. Wenn der Fehler-Ausgang low ist, ist der GL 1200 aus seinem linearen Bereich abgewichen und der Motor Befehl ist gesättigt.
- Clock 1 / 2 (Pin 5 / 4): Wenn ein externer Takt nicht verwendet wird, LC-Schaltung, wie in Beispiel 4 gezeigt (siehe Beispiel 4 im Datenblatt; Anhang), zwischen Clock 1 und Clock 2

Eine Beschreibung des Regelalgorithmus befindet sich im Datenblatt des GL 1200 (im Anhang).

Da der GL 1200 mit einer hohen Clockrate von 5Mhz betrieben wird, kann der Algorithmus kontinuierlich ausgeführt und berechnet werden. Die Terme  $K_p$  und  $K_d$  sind für die Optimierung der Leistung verantwortlich. Dies wird durch das Einstellen der Potenziometerwiderstände  $R_{damping}$  und  $R_{gain}$  angepasst. Die Schaltung von Abbildung 1 des Datenblattes hat die Parameter  $K_p = 10 \text{ V pro } 128 \text{ counts}$  bei einem Widerstand an  $R_{damping}$  von  $26,2\text{k}\Omega$  und  $K_d = 1\text{V pro } 10000\text{counts/sek}$ . Das Geschwindigkeitsprofil der Eingangs-Befehl sollte so eingestellt werden, dass der Motor diesen Befehlen folgen kann ohne das der GL 1200 in die Sättigung bzw. einen Fehlerzustand geht.<sup>62</sup>

Eine I / O Karte ermöglicht es den Chip mit einem Computer zu kommunizieren und Funktionen über das Computersystem zugänglich zu machen. Weiterhin macht diese I/O Karte es möglich, mehrere Funktionen zusätzlich zu nutzen. Der Hersteller des GL1200 empfiehlt (um die Regelung abzugleichen) die Sprungantwort des Motors aufzuzeichnen und die  $K_p$  und  $K_d$  – Werte mit  $R_{damping}$  und  $R_{gain}$  entsprechend einzustellen.<sup>63</sup>

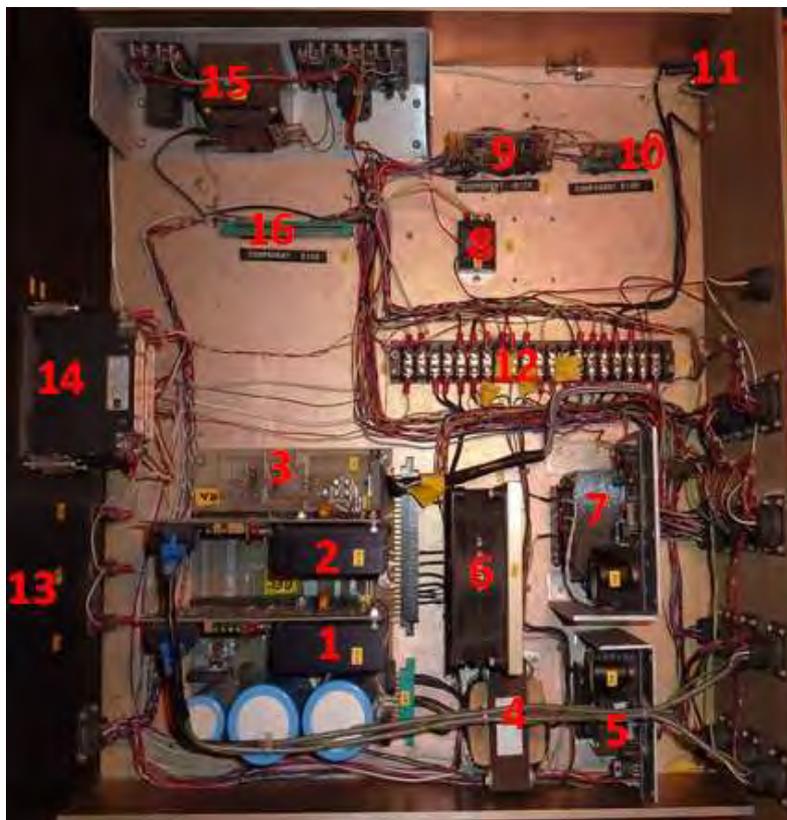
<sup>61</sup> Vgl. (GALIL Motion Control, Inc., 1988)

<sup>62</sup> Vgl. (GALIL Motion Control, Inc., 1988)

<sup>63</sup> Vgl. (GALIL Motion Control, Inc., 1988)

## 6.2. Aufbau des Motor Driver Chassis

### Draufsicht auf Motorsteuerplatine



39. Abb.: Motorsteuerchassis Draufsicht

Nr.	Betriebsmittelkennzeichnung	Beschreibung
1.	A11A	Servomotorplatine für die DEC - Achse
2.	A11B	Servomotorplatine für die RA – Achse
3.	A11	Grundplatine mit Spannungsgleichrichtung für beide Servomotorplatinen
4.	T11	Trafo für Spannungsversorgung der Grundplatine von Servomotorplatinen
5.	T14	Spannungsversorgung für RA und DEC Positionscoder
6.	M20	Lüfter für die Servomotorplatinen
7.	T12	Spannungsversorgung für Frondpanel, Quittungslampe von S11, Dome Panel
8.	K1	Solid State Relais Spannungsfreigabe Trafo T11
9.	A10	Platine Fokussteuerung
10.	A13	Platine 6 - Channel Inverter
11.	X15	Spannungsversorgung 110 VAC mit Kaltgerätestecker
12.	X1	Hauptklemmleiste
13.	F10 - F14	Sicherungen
14.	P10 / P11	Analoge Amperemeter für RA / DEC - Motoren
15.	T13	Spannungsversorgung für 6 – Channel Inverter A13, Fokussteuerung A10
16.	A12	Platinenhalter (frei)

Tabelle 1 Betriebsmittel der Motorsteuerung

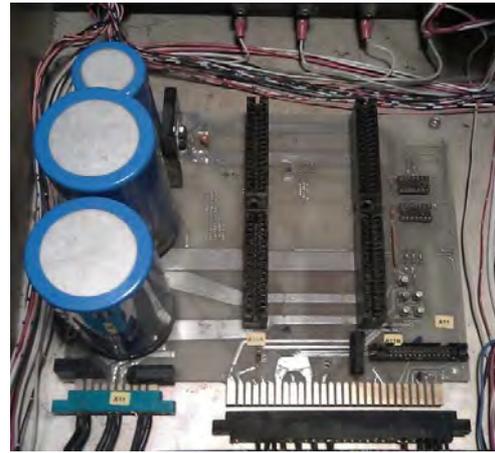
## **6.2.1. Beschreibung der Betriebsmittel des Motor Driver Chassis**

### **Nr. 1 – 3 Betriebsmittel A11A ; A11B ; A11:**

Punkt 1, 2 und 3 zeigen jeweils die beiden eingesteckten Motorsteuerplatinen, sowie die Hauptplatine mit den zugehörigen Steckplätzen. Die Primärseite wird wie alle anderen Transformatoren in dieser Box mit 115VAC gespeist. Die zwei Motorsteuerplatinen erhalten drei Wechselspannungen (8-, 2 x 24VAC). Die Gleichrichtungen der jeweiligen Spannungen findet auf der Hauptplatine durch Festspannungsregler statt. Die großen blauen Kondensatoren dienen zur Glättung der Gleichspannung (5VDC → TTL, +30VDC, -30VDC → Motorspannung). Die zwei Motorplatinen sind gesteckt und können gezogen werden. Des Weiteren werden an die beiden Platinen die Encoder angeschlossen, welche an den beiden Steckern sehr gut erkennbar sind. Beide Platinen besitzen eine rote LED, die eine Überlastung der Motoren anzeigt (Schaltplanseite 034-134).



41. Abb.: Motorsteuerplatinen mit Netzteil



40. Abb.: Steckplatz Steuerplatinen

### **Nr. 4 Betriebsmittel T11:**

Punkt 4 ist der Transformator (siehe Abb.: 41) für die beiden Motorsteuerplatine (Betriebsmittelkennzeichnung T11).

Er hat eine Eingangsspannung von 115VAC. Er liefert Ausgangsseitig drei verschiedene Spannungen: 8VAC und 2 x 24VAC. Die 8VAC werden für die TTL Logik benötigt und die beiden 24VAC Spannungen für die Motorsteuerung.

### **Nr. 5 Betriebsmittel T14:**

Punkt 5 ist das Netzteil für RA und DEC Positionencoder (Betriebsmittelkennzeichnung T14).

Das Netzteil besteht aus einem Transformator mit integrierter Gleichrichtung der primär eine Spannungsversorgung von 115VAC benötigt. Ausgangsseitig gibt die Gleichrichtung eine Spannung von 5VDC raus. Diese Spannung wird für die Versorgung der RA / DEC Positions-Encoder benötigt und ist direkt über die Klemmleiste X12 / Kl. 8 und 9 auf die Stecker der Encoderanschlüsse (RA MTR Encoder Pin 5; DEC MTR Encoder Pin5) gebrückt.



42. Abb.: Netzteil T14

### **Nr. 6 Betriebsmittel M20:**

Punkt 6 ist der Lüfter für die Servomotorplatten (Betriebsmittelkennzeichnung M20).

Der Lüfter ist direkt an den Hauptschalter (S10) angeschlossen und schaltet sich automatisch bei Betrieb der Steuerung ein. Er ist primär für die Kühlung der Leistungssteller der Motorsteuerung verantwortlich.



43. Abb.: Lüfter im Motor Driver Chassis

### **Nr. 7 Betriebsmittel T12:**

Punkt 7 ist das Netzteil für Frontpanel, Quittungslampe von Schalter S11 und Dome Panel

Das Netzteil besteht aus einem Transformator mit integrierter Gleichrichtung, das primär eine Spannungsversorgung von 115VAC benötigt. Nach der Gleichrichtung liefert es eine Spannung von 24VDC für das Front-, Domepanel und für die Quittungslampe des Stoppschalters S11. Die Anschlussklemmen befinden sich auf der Hauptanschlussklemmleiste X12 an den Klemmpunkten 10 und 11.

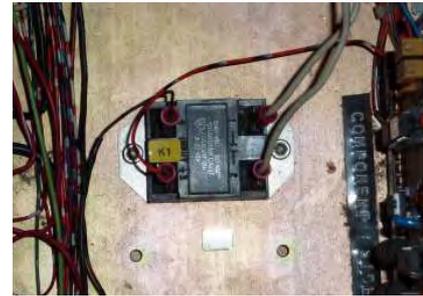


44. Abb.: Netzteil T12

### **Nr. 8 Betriebsmittel K1:**

Punkt 8 ist das Solid State Relais (Schaltplan 138-221) für die Freigabe der Spannungsversorgung 110VAC des Trafos T11 (Servomotor Spannungsversorgung).

Dieses Relais ist so lange durchgeschaltet bis die horizontalen Limits erreicht werden. Beim Betätigen dieser Endschalter werden alle Antriebe abgeschaltet damit keine Bewegung des Teleskopes mehr möglich ist.

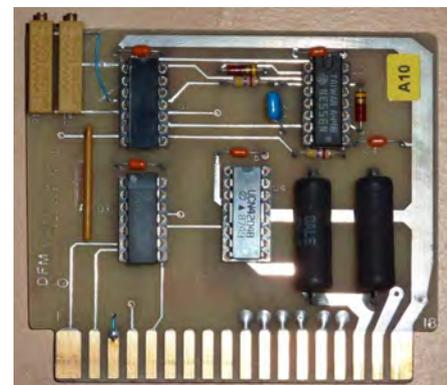


45. Abb.: Solid State Relais

### **Nr. 9 Betriebsmittel A10:**

Punkt 9 ist eine Platine, welche für die Steuerung des Fokus verantwortlich ist (Schaltplan 138-219; Betriebsmittelkennzeichnung A10).

Die genaue Funktion dieser Platine kann nicht ermittelt werden, da die erforderlichen Schaltungsunterlagen 073-007 (Verweis von Schaltplan 138-219) fehlen.

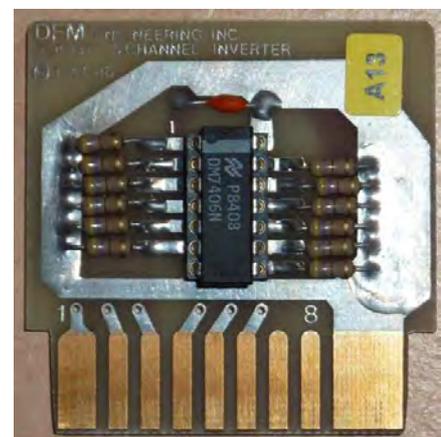


46. Abb.: Platine Fokussteuerung

### **Nr. 10 Betriebsmittel A13:**

Punkt 10 ist eine Platine mit einem 6 Channel Inverter (Schaltplan 034-137 und 138-221; Betriebsmittelkennzeichnung A13)

Der 6 Channel Inverter ist ein Negierer der mit Hilfe eines IC 7406 und 470Ω Widerständen Signalzustände wandelt. Er ist maßgeblich an der Freischaltung des Solid State Relais (K1) verantwortlich. Er verarbeitet das Signal des Drivers On / Off Schalters auf dem Front Panel, sowie digitale Computerbefehle, um den Dome zu steuern (Schaltplanrückseite 138-221; 2 externe Solid State Relais für den Dome Motor)



47. Abb.: Platine 6 Channel Inverter

**Nr. 11 Betriebsmittel X15:**

Punkt 11 ist der Anschluss für die zentrale Spannungsversorgung von 110VAC des Motor Driver Chassis (Betriebsmittelkennzeichnung X15).

X15 ist die Einspeisung der Spannungsversorgung 110 VAC mit Hilfe einer Kaltgerätebuchse auf der Rückseite des Chassis. Diese Spannung wird aus den Transformatoren des Leistungsteils generiert welche auf dem Boden des Hauptschaltrack montiert sind.

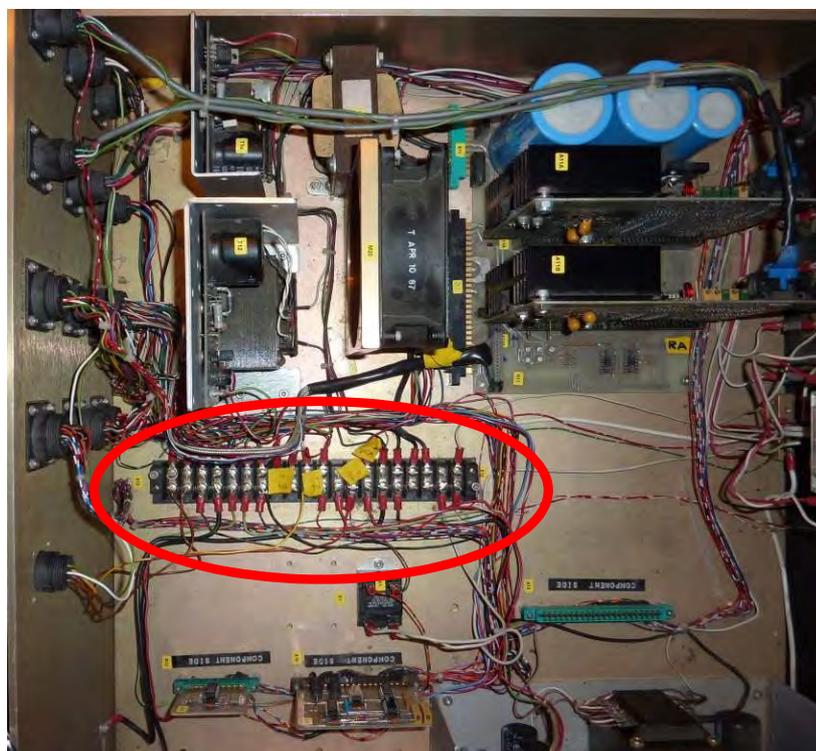


**48. Abb.:**  
**Kaltgeräteanschluss**

**Nr. 12 Betriebsmittel X12:**

Der Punkt 12 ist die Klemmleiste X12. Diese Klemmleiste ist die Hauptklemmleiste in dem Motor Driver Chassis.

Hier sind alle Spannungen und Potentiale aufgelegt, werden von dort aus weiter gebrückt und geschliffen. Die Klemmleiste beinhaltet Wechsel-, Gleichspannungen und ist als Doppelklemme ausgeführt. Ein Klemmenplan ist auf der Folgeseite dargestellt (siehe Tabelle 2).



**49. Abb.:** Hauptklemmleiste X12

### Klemmenbelegungsplan X12 Motorensteuerung

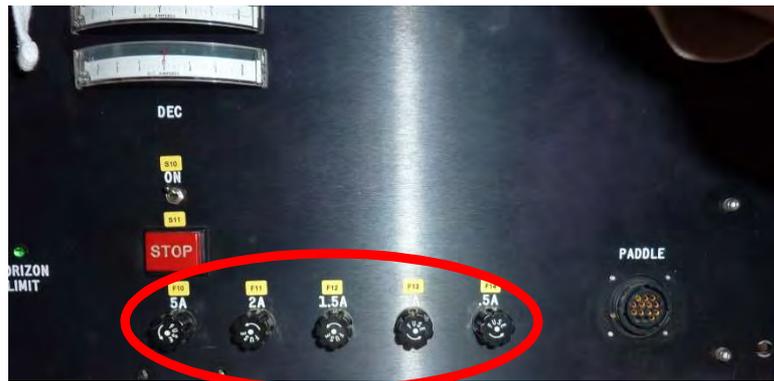
Betriebsmittel	Brücke	Klemmennummer	Brücke	Betriebsmittel	
Masse DOME PANEL		1		RA/DEC Motor	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: flex-end;"> <div style="margin-bottom: 10px;">Masse 5-24VDC</div> <div style="margin-bottom: 10px;">5V</div> <div style="margin-bottom: 10px;">24V</div> <div style="margin-bottom: 10px;">5V</div> <div style="margin-bottom: 10px;">24V</div> <div style="margin-bottom: 10px;">N</div> <div>115VAC</div> </div>
Masse K1		2		Front Panel / Focus Motor	
PE/Masse Zuleitung		3		2xPaddle/ 1x Comp.	
Masse A13		4		2xMasse Comp.	
Masse A12		5		2xMasse Comp./ 1 Masse LIMITS	
Masse S12 (Beleuchtung)		6		TCS Masse	
-		7		T12/T14 Masse	
-		8		5V T14/RA Enc./DEC Enc.	
24VDC DOME PANEL		9		2x5V Comp./	
24V S11 (Beleuchtung)		10		24V Frontpanel	
5VDC A13		11		24V T12	
5VDC T13/ LED FRONT		12		P1	
24VDC A10		13		-	
Zuleitung N		14		TCS +	
T13 N		15		T12/T14 N	
-		16		T11 N	
Zleitung K11		17		M10 N	
Zuleitung S11		18		Zuleitung M10	
		19		-	
		20		Zuleitung T12-T14	

Tabelle 2 Klemmenplan X12

**Nr. 13 Betriebsmittel F10 – F14:**

Punkt 13 sind diverse Sicherungen für die einzelnen Transformatoren und Netzteile.

Die Betriebsmittelkennzeichnung ist logisch aufgebaut. So kann z.B. der Sicherung F11 der Transformator T11 zugeordnet werden. Die Sicherung F10 stellt die Hauptsicherung des 110V Stromkreises dar. Der genaue Sicherungstyp bzw. die Amperezahl kann aus dem Schaltplan 138-222 entnommen werden.



50. Abb.: Sicherungen F10 - F14

**Nr. 14 Betriebsmittel P10 ; P11:**

Punkt 14 sind Analoge Amperemeter für die Stromaufnahme der RA - und DEC - Servomotoren (Betriebsmittelkennzeichnung P10 und P11).

Diese Amperemeter messen die Stromaufnahme der RA - und DEC – Servomotoren. Sie zeigen den Strom analog über eine Skala mit Zeiger an. Die Skala ist so aufgebaut, dass der Nullpunkt mittig liegt und der Zeiger nach rechts und links ausschlagen kann. Diese Anzeige macht die Erkennung der Drehrichtungen der Motoren möglich.

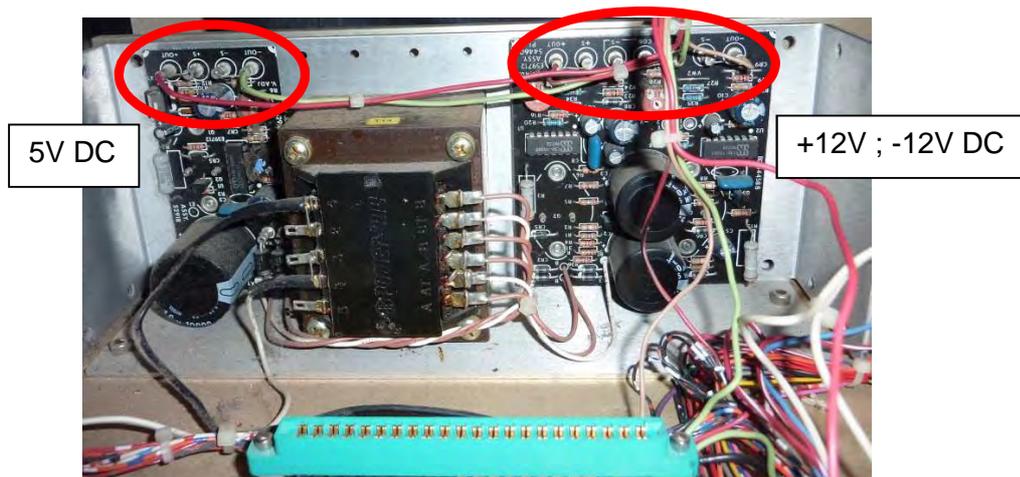


51. Abb.: Analoge Amperemeter

**Nr. 15 Betriebsmittel T13:**

Punkt 15 ist das Netzteil für den 6 - Channel Inverter (BMK A13) und Fokusbildsteuerung (BMK A10)

Das Netzteil besteht aus einem Transformator mit integrierter Gleichrichtung der primär eine Spannungsversorgung von 115VAC benötigt. Ausgangsseitig gibt die Gleichrichtung eine Spannung von 5VDC, +12VDC und -12VDC aus.

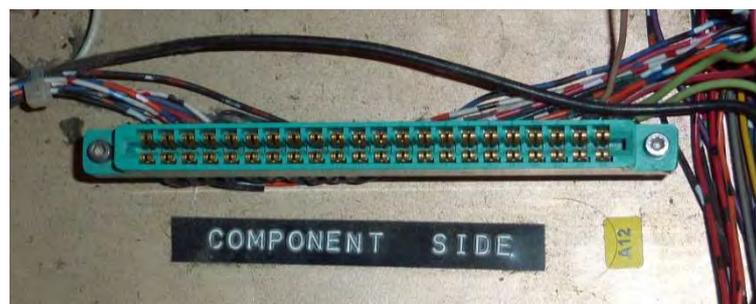


52. Abb.: Spannungsversorgung T13

**Nr. 16 Betriebsmittel A12:**

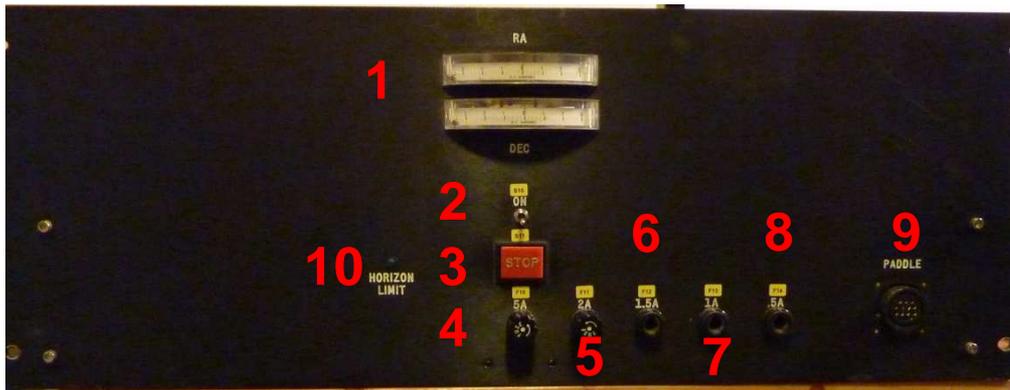
Punkt 16 ist eine Platine für den Anschluss der Component Side.

Diese Platine fehlt. Die aufgelegten Drähte sind gebrückt. Der Zweck dieser Platine geht nicht aus den vorhandenen Schaltungsunterlagen hervor und ist somit unbekannt.



53. Abb.: Platinenhalter

**Frontsicht auf Motorsteuerung**



54. Abb.: Frontansicht der Motorsteuerung

<u>Nr.</u>	<u>Betriebsmittelkennzeichnung</u>	<u>Betriebsmittelbeschreibung</u>
1.	P10 / P11	Amperemeter der RA- und DEC-Servomotoren
2.	S10	S10- Hauptschalter (110VAC)
3.	S11	3. S11- Stoptaster- Freigabe für Motorplatinen (NC)
4.	F10	F10- Haupsicherung
5.	F11	F11- Sicherung Motorsteuerplatinen RA und DEC (T11)
6.	F12	F12- Sicherung für T12
7.	F13	F13- Sicherung für T13
8.	F14	F14- Sicherung für T14
9.	-	Frontanschluss für Paddle
10.	-	Quittierungs LED für horizontales Limit

Tabelle 3 Übersicht Motorsteuerung Frontansicht

## Rückenansicht der Motorsteuerung



55. Abb.: Rückansicht der Motorsteuerung

Nr.	Stecker
1.	RA MTR Encoder (Motorencoder)
2.	DEC MTR Encoder (Motorencoder)
3.	Front Panel
4.	J2
5.	Dome Panel
6.	RA Motor
7.	DEC Motor
8.	Focus Motor
9.	Limits
10.	Auto Guider
11.	Dome Control
12.	Computer
13.	Paddle
14.	Netz- Anschluss 110VAC

Tabelle 4 Steckerübersicht Motorsteuerung

<u>Einschub</u>	<u>Name Anschluss</u>	<u>Steckerart</u>	<u>Polzzahl</u>	<u>genutzte Polzahl</u>	<u>Schrim</u>
<b><u>Motor Steuerung</u></b>	RA MTR Encoder	Stecker	9	9	X
	RA Motor	Stecker	9	5	X
	Auto Guider	Stecker	9	6	O
	DEC MRT Encoder	Stecker	9	9	X
	DEC Motor	Stecker	9	5	X
	Dome Control	Stecker	9	4	O
	Fron Panel	Buchse	9	5	O
	Focus Motos	Buchse	14	12	O
	Computer	Stecker	37	37	O
	J2	Buchse	14	14	O
	Limits	Stecker	16	10	O
	Paddle	Buchse	14	12	O
	Dome Panel	Stecker	9	5	O
<b><u>Spiegel Steuerung</u></b>	Door 1	Stecker	9	7	O
	Door 2	Stecker	9	7	O
	Door 3	Stecker	9	7	O
	Door 4	Stecker	9	7	O
	P1	Stecker	16	14	O
	Mirros Supports	Stecker	16	16	O
	Fron Panel	Stecker	2	4	O

Tabelle 5 Steckerübersicht

### **6.3. Projektdurchführung**

Unser Ziel war es jede Baugruppe einzeln in Betrieb zu nehmen, um mögliche Fehlerquellen direkt identifizieren zu können. Zunächst wurde die zentrale Spannungsversorgung, (Leistungsteil) welche sich im Rollcontainer befindet, in Betrieb genommen. Anschließend die Motorsteuerung und die Spiegelsteuerung.

#### **6.3.1. Inbetriebnahme Leistungsteil**

Nach erster Besichtigung der Schaltpläne (153-205) und des Rollcontainers entschieden wir uns dafür den Leistungsteil der Teleskopsteuerung komplett zu erneuern und zu modernisieren. Dieser war nicht ordnungsgemäß nach DIN VDE 0100 / 0113 verdrahtet. Weder eine fachgerechte Erdung der Betriebsmittel noch die Verbindungen der spannungsführenden Leiter waren korrekt gegeben bzw. lebensgefährlich ausgelegt. Außerdem besteht in der Steuerung, an den Sicherungen und Schaltern keine Fingersicherheit. Leider konnten wir dies nicht modernisieren, da uns das Material und die notwendige Zeit fehlte. Weiterhin wurde von uns eine Klemmleiste eingesetzt, an der jetzt die Möglichkeit besteht durch diverse Messpunkte im Leistungsteil eine schnelle Fehlereingrenzung zu tätigen (Messprotokoll Anhang)



**56. Abb.: Leistungsteil vor der Überarbeitung**



**57. Abb.: Leistungsteil nach der Überarbeitung**

Im Gegensatz zu vorher sind nun Betriebsmittel Kennzeichnungen auf den Bauteilen, auf der Montage Platte und im Schaltplan vorhanden, um eine Suche der Bauteile möglichst zu vermeiden. Die Steckdosen am Rollcontainer wurden ebenfalls mit Öl-Flex-Mantelleitung verdrahtet, um für den Betreiber einen höchstmöglichen Schutz zu gewährleisten. Vorher waren diese mit starrer Leitung, Einzelader und ohne Zugentlastung verdrahtet. Zur optischen Verbesserung wurden alle Drähte gebündelt, in einem Strang verlegt und mit Kabelbindern gebündelt. Die Klemmleiste und alle anderen Bauteile wurden ebenfalls geerdet. Der Leistungsteil wurde vom Querschnitt auf die maximale Stromaufnahme der Anlage ausgelegt. Die Absicherungen der Transformatoren und die Transformatoren wurden beibehalten. Es bestand unseres Erachtens kein Bedarf einer Erneuerung, weil Transformatoren mit knapp 2KW sehr teuer und langlebig sind. Trafo mit der Betriebsmittelkennzeichnung T3, für die Kühlung / Heizung, fehlt aus unbekanntem Gründen. Wir gehen davon aus, dass vor längerer Zeit in dem Schaltschrank eine Kühlung/ Heizung verbaut war, um die Langlebigkeit der Bauteile zu erhöhen. Es wurde genug Platzreserve eingeplant, um eine Nachrüstung zu gewährleisten. Die Klemmleiste verfügt über fünf Reserveklemmen, um den Trafo T3 nachrüsten zu können und diesen auch mit Messpunkten zu versehen. Die komplette Belegung der Klemmleiste ist in der Tabelle 6 (Seite 57) 4ersichtlich. Auch die Kabelverlegung der anderen Leitungen ist mit genug

Reserve ausgelegt. Trafo T2 sollte unter Beobachtung bleiben, da dieser stark „brummt“. Mangels eines geeigneten Messgerätes wurden Schutzleiterwiderstand sowie Isolationswiderstand mit einem Multimeter ermittelt. Eine korrekte Messung nach DIN VDE 0100 konnte nicht durchgeführt werden.

### Klemmenbelegungsplan Leistungsteil X0

<u>Betriebsmittel</u>	<u>Klemme</u>	<u>-</u>	<u>-</u>	<u>Betriebsmittel</u>	<u>Klemme</u>
Zuleitung	PE	PE	PE	 F1 / F2 F1 / F2	 1 2
	L1	L1	L1		
	N	N	N		
-	-	PE	PE	X1 / X2   	 1 2
	4	1L1	1L1		
	3	N1	N1		
-	-	PE	PE	frei	-
	4	1L2	1L2		
	3	N2	N2		
Reserve	-	Re1	Re1	Reserve	-
	-	Re2	Re2		
	-	Re3	Re3		
	-	Re4	Re4		
	-	Re5	Re5		

Tabelle 6 Klemmenbelegungsplan Leistungsteil

### **6.3.2. Inbetriebnahme Motorsteuerung**

Bei der Inbetriebnahme der Transformatoren von Motor - und Spiegelsteuerung wurden diverse Messpunkte vor dem Einschalten definiert, welche sich aus den Schaltplanunterlagen und der Steuerelektronik ergeben haben. Die Strombelastbarkeit wurde mit Hilfe eines 40W-Potentiometers realisiert. Die einzelnen Netzteile wurden mit dem im Schaltplan (138-222) angegebenen Strom getestet. Hierzu muss das Potentiometer langsam auf den Nennstrom erhöht werden. Die Messung musste schnell erfolgen, da die Leistung des Potentiometers zu gering ausgewählt wurde und sich die Temperatur sehr schnell erhöhte. Es standen uns keine anderen Mittel zu Verfügung.

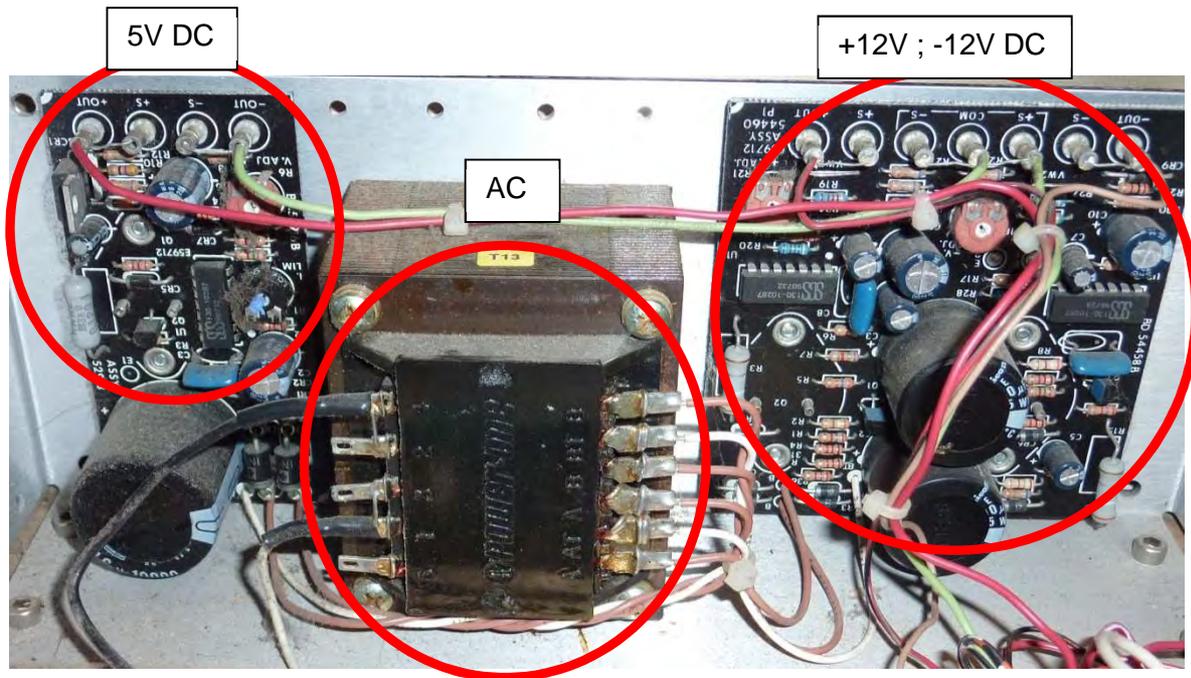


**58. Abb.: 40W Potentiometer**

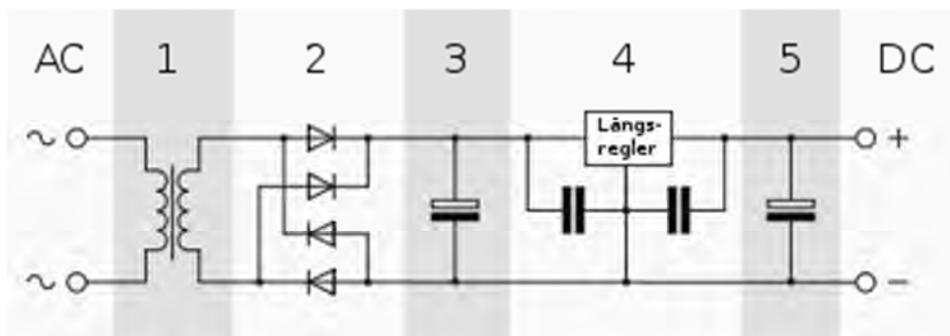
Bei der Inbetriebnahme wurden die vier vorhandenen Transformatoren der Steuerungen auf ihre Funktion getestet (Wechsel- und Gleichstromseitig). Grundsätzlich gibt es nur eine Art von Netzteil in der Motor- und Spiegelsteuerung. Diese Netzteile sind Trafonetzteile und bestehen aus einem Wechselspannungstransformator, welcher die Spannung von 230V auf die gewünschten Spannungen herunter transformieren. Die Klemmenbezeichnung der Messpunkte sind bei allen Transformatoren die gleichen (B-BT; B-BT; A-AT; A-AT). Die Transformatoren besitzen eine geteilte Spule, so dass ein Abgriff von zwei verschiedenen Wechselspannungen möglich ist.

Der linke und rechte Kreis auf der Abbildung 59 symbolisiert einen festen Gleichspannungsabgriff für die jeweiligen Betriebsmittel. Die Anschlussklemmen sind hier bei jedem Netzteil OUT+ und OUT-. Ausnahme ist der Transformator für die Motorsteuerplatine (T11). Er besitzt einen Abgriff für zwei verschiedenen Spannungen und die Gleichrichtung befindet sich auf der Motorsteuergrundplatine.

Die genauen Messergebnisse können aus den im Anhang befindlichen Messprotokollen entnommen werden (Anhang Seite 126ff).



59. Abb.: Netzteil



60. Abb.: Schematischer Aufbau eines Netzteiles

In Abbildung 60 ist das Schema des Trafonetzteiles ersichtlich.

Vor der Inbetriebnahme jedes Netzteiles oder Transformators haben wir eine Grundstellung definiert die ein sicheres Testen ermöglichte. Bei der Inbetriebnahme wurden vier Transformatoren auf ihre Funktion getestet (Wechsel- und Gleichstromseitig). Anbei ist der genaue Ablauf der Inbetriebnahme beschrieben:

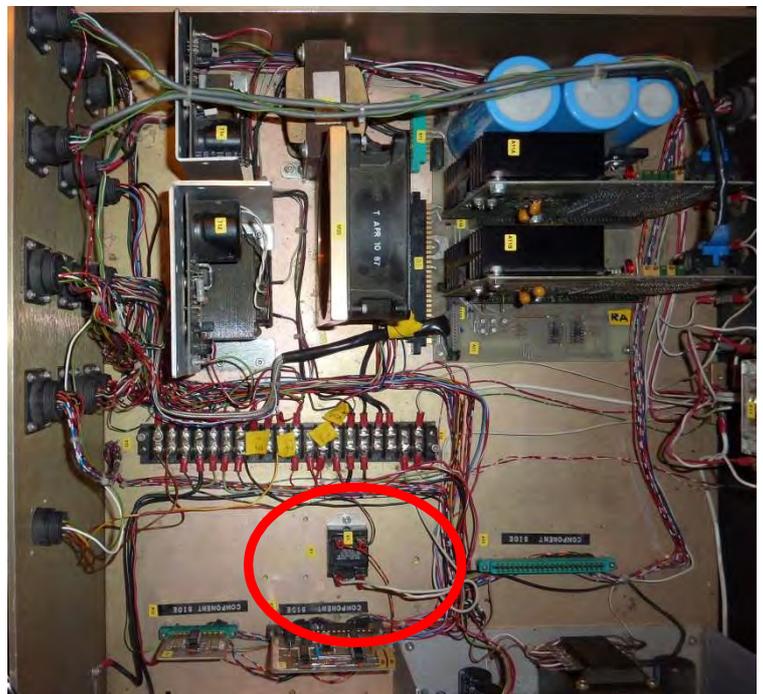
Grundstellungsdefinition:

- alle Sicherungen raus drehen ( F10 – F14)
- S10 und S11 Kontakte öffnen
- S10 Schalterstellung unten (offen)
- S11 Schalterstellung reindrücken (offen, weil NO = Normally Open)

Des Weiteren müssen die Adern sekundärseitig, die auf die Klemmleiste X12 gehen, abgeklemmt werden, damit an dieser Stelle das Potentiometer angeschlossen und die Spannungsquelle unter Volllast in Betrieb genommen werden kann.

- Transformator T12: von OUT+ auf die X12 : 11
- Transformator T13: von OUT+ auf die X12 : 13
- Gleichspannung an Platine von T13 muss gemessen werden (OUT- → brauner Draht)
- Transformator T14 von OUT+ auf die X12 : 8
- die Klemmleiste X11 muss gezogen werden

Diese Grundstellung, welche wir aus der 138-22 entnommen haben, erlaubt es uns eine „Step by Step“ Inbetriebnahme. Mit Einschalten der Schalter S10, S11 und Einschrauben der Sicherung F10 haben wir alle Spannungen bis zu Sicherung den Netzteile (F11-F14) zugeschaltet. Um den Transformator T11 in Betrieb zu nehmen, ist es notwendig das Solid State Relais K1 zu brücken. Dieses Relais ist in die Zuleitung von F11 geschaltet, verhindert die Inbetriebnahme von T11 und wird im Betrieb von den horizontalen Limits freigeschaltet. Da diese noch nicht vorhanden sind muss vorerst ein Draht für das brücken des Schaltkontaktes aushelfen.



61. Abb.: Draufsicht Motorsteuerung Relais K1

### 6.3.2.1. Spannungsinbetriebnahme von T11

Nun wurde die Netzspannung, aufbauend auf der Grundstellung, eingeschaltet und folgende Punkte abgearbeitet.

- Sicherung F10 + F11 eindrehen
- Stecker X11 (Stecker für sek.Spg von Trafo T11) abziehen
- Spannung kann nun eingeschaltet werden
- betätigen der Schalter S10 und danach S11

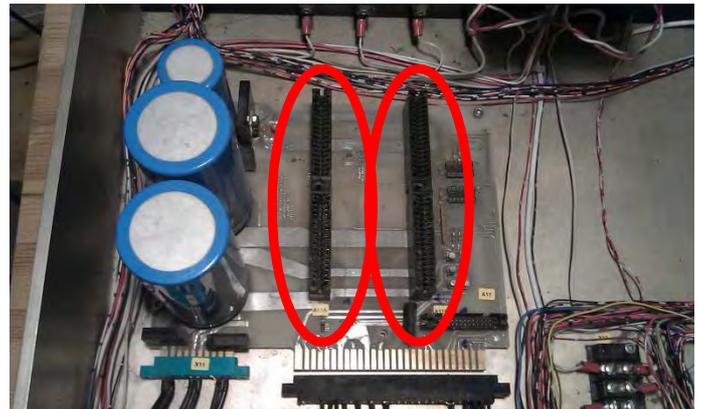
Wechselspannung:

- nun kann von der Sicherung F11 abgangsseitig auf Klemme X12 : 15-17 (Masse 115VAC) gemessen werden
- danach können alle 3 Spannungen der sekundären Seite des Transformators an dem Stecker X11 gemessen werden. Klemmen 1+2 => 24VAC, 5+6 => 8VAC, 9+10 => 24VAC

Gleichspannung:

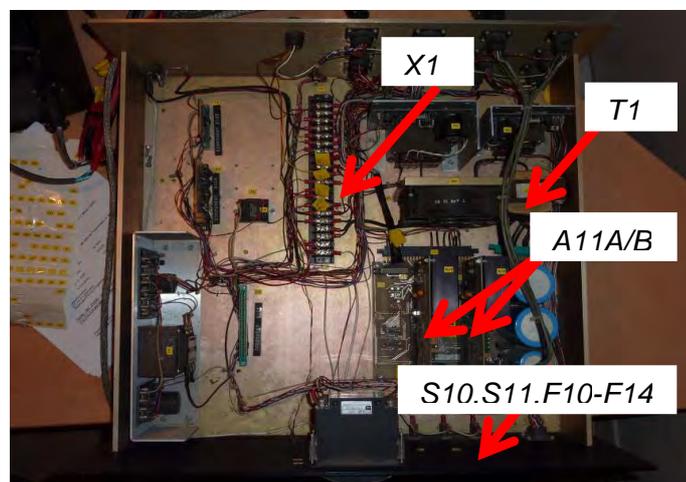
Die Gleichspannung wurde direkt an den Slot's der zwei Motorsteuerplatinen der beiden Achsen gemessen (BMK A11A/B). Die Messpunkte haben wir aus der Schaltplanseite 101-201 ermittelt.

- A→M (+30VDC) ; E→M (-30VDC);  
U→ M (5VDC)
- Messwerte notieren
- S10 und S11 ausschalten
- Sicherungen F10 und F11 entfernen



62. Abb.: Slot's der Motorsteuerplatinen

Im folgenden Schaubild sind alle Lagen der Komponenten ersichtlich:



63. Abb.: Übersicht der Betriebsmittel im Motorsteuerungschassis

### 6.3.2.2. Spannungsinbetriebnahme von T12

Nach dem Anschluss des Potentiometers für die Inbetriebnahme unter Vollast und der Grundstellung wurden folgende Punkte abgearbeitet:

- Stecker X11 an Motorsteuerung TCS muss entfernt sein
- F10 und F12 Sicherung reindreihen
- S10 einschalten

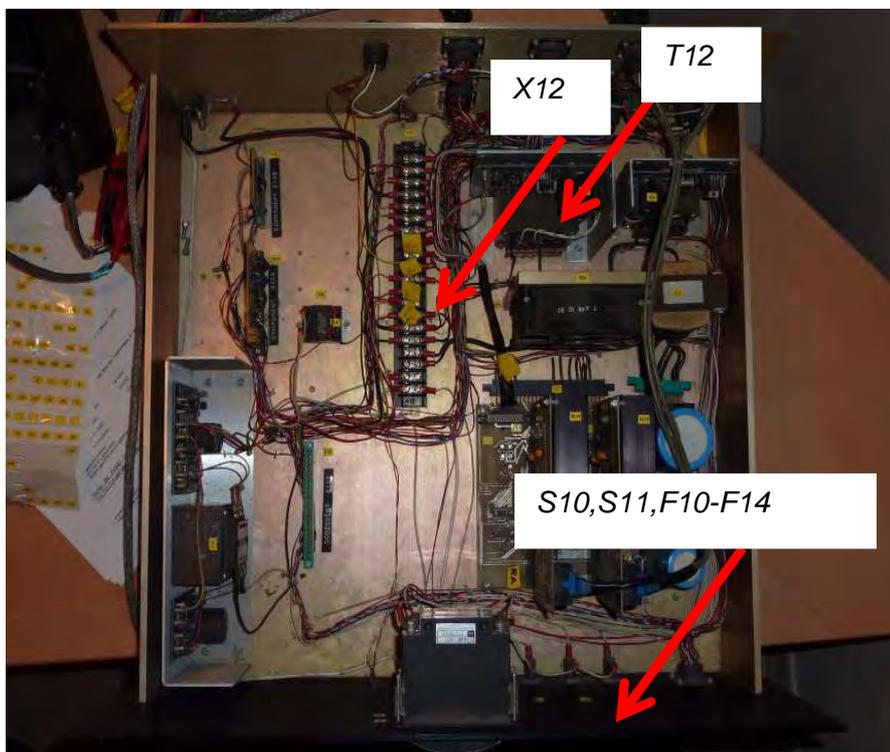
*Wechselspannung:*

- Primär Spg. An Transformator T12 messen Klemme 1 und 4 (115VAC)
- Sekundär Spg. An Transformator T12 messen Klemme A und A (30VAC)
- Sekundär Spg. An Transformator T12 messen Klemme B und B (5VAC)

*Gleichspannung:*

- X12 : 11 (abgeklemmt → T12 OUT+) auf X12 : 1 (24VDC)
- S10 ausschalten und Sicherungen F10 und F12 wieder entfernen

Im folgenden Schaubild sind alle Lagen der Komponenten ersichtlich:



64. Abb.: Übersicht der Betriebsmittel im Motorsteuerungschassis

### 6.3.2.3. Spannungsinbetriebnahme von T13

Nach dem Anschluss des Potentiometers für die Inbetriebnahme unter Vollast und der Grundstellung wurden folgende Punkte abgearbeitet:

- Stecker X11 an Motorsteuerung TCS muss entfernt sein
- F10 und F13 Sicherung einschrauben
- S10 einschalten

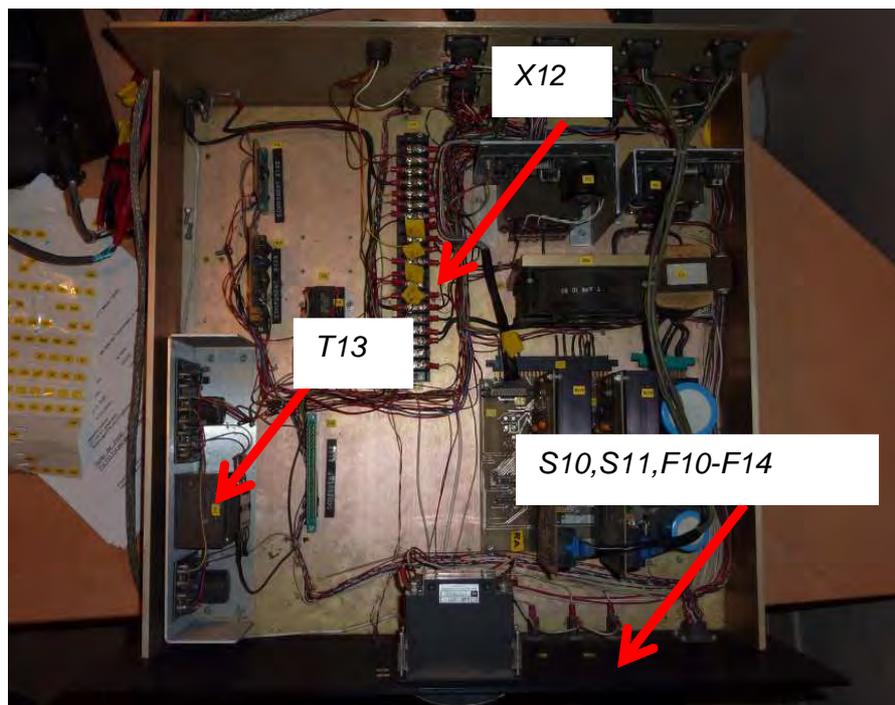
*Wechselspannung:*

- Primär Spg. An Transformator T13 messen Klemme 1 und 4 (115VAC)
- Sekundär Spg. An Transformator T13 messen Klemmen B-BT und A-AT (18VAC und 8VAC)

*Gleichspannungen:*

- X12 : 13 (abgeklemmt → T13 OUT+) auf X12 : 1 (5VDC)
- T13 OUT-- (grün-rot ) 12VDC
- T13 OUT-- (braun -- > angelötet geht auf Component Side) auf X12 : 1 (-12VDC)
- S10 ausschalten und Sicherungen F10 und F13 wieder entfernen

Im folgenden Schaubild sind alle Lagen der Komponenten ersichtlich.



65. Abb.: Übersicht der Betriebsmittel im Motorsteuerungschassis

#### 6.3.2.4. Spannungsinbetriebnahme von T14

Nach dem Anschluss des Potentiometers für die Inbetriebnahme unter Vollast und der Grundstellung wurden folgende Punkte abgearbeitet:

- Stecker X11 an Motorsteuerung TCS muss entfernt sein
- F10 und F14 Sicherung einschrauben
- S10 einschalten

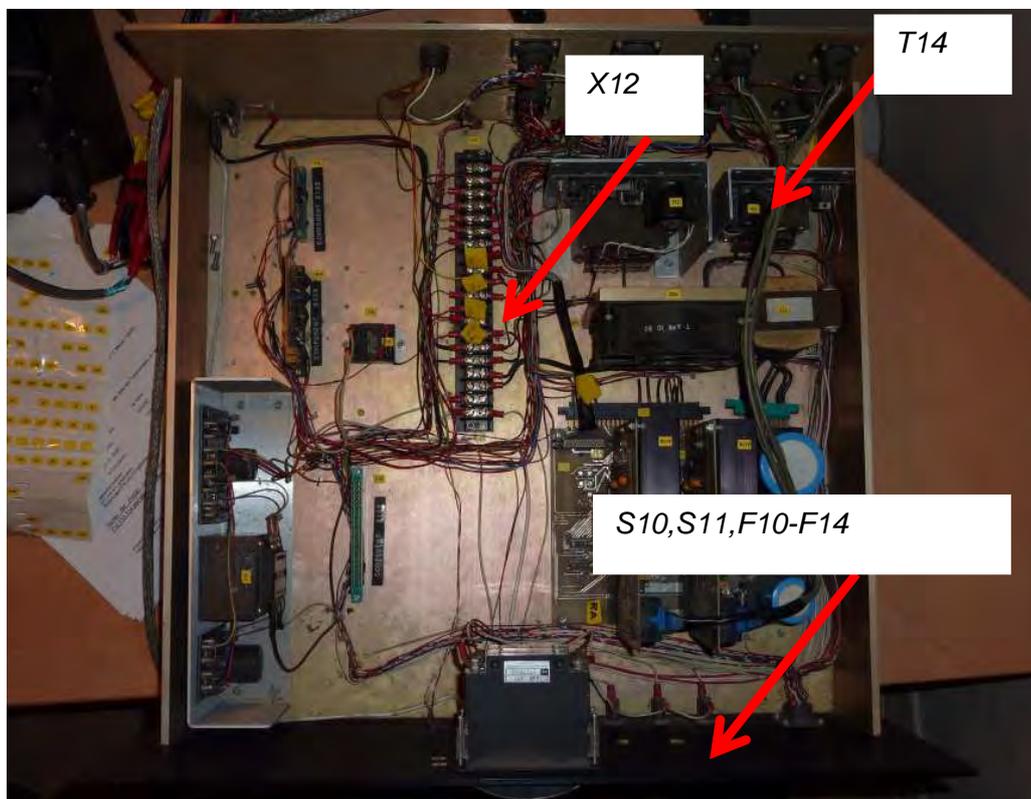
*Wechselspannung:*

- Primär Spg. An Transformator T14 messen Klemme 1 und 4 (115VAC)
- Sekundär Spg. An Transformator T14 messen Klemmen A → AT (8VAC)

*Gleichspannungen:*

- X12 : 8 (abgeklemmt → T14 OUT+) auf X12 : 1 (5VDC)
- S10 ausschalten und Sicherungen F10 und F14 wieder entfernen
- Anlage vom Netz trennen (Netzstecker)

Im folgenden Schaubild sind alle Lagen der Komponenten ersichtlich:



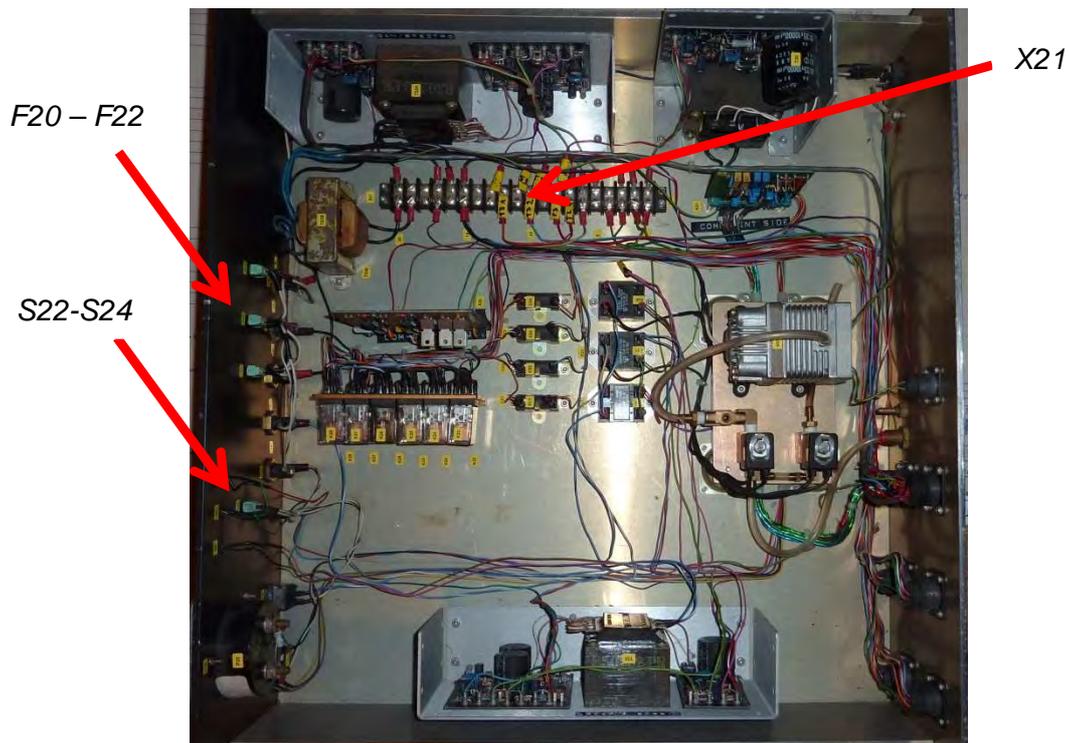
66. Abb.: Übersicht der Betriebsmittel im Motorsteuerungschassis

### 6.3.3. Inbetriebnahme Spiegelsteuerung

Bei der Inbetriebnahme der Transformatoren wurden diverse Messpunkte vor dem Einschalten definiert, welche sich aus den Schaltunterlagen und der Steuerelektronik ergeben haben (Schaltplan 138-235). Bei der Inbetriebnahme wurden vier Netzteile auf ihre Funktion getestet (Wechsel- und Gleichstromseitig). Auch diese Netzteile wurden mit Hilfe eines 40W Potentiometers unter Volllast in Betrieb genommen. Anbei ist der genaue Ablauf der Inbetriebnahme beschrieben.

#### Vorbereitung:

- Bereitstellen eines 230V / 110V Trafos
- Alle Schalter der Steuerplatine auf Schalterstellung Off bringen
- Sicherung F24 (Pumpensicherung) entfernen
- Sicherung F21 (Sicherung für Relais) entfernen
- Sicherung F20 (Sicherung für Trafo T20) entfernen
- Sicherung F22 (Sicherung für Trafo T22A + T22B) entfernen
- An Klemme X21 Anschlüsse von Trafo T22A abklemmen (3 Kabel)



67. Abb.: Übersicht der Betriebsmittel im Spiegelsteuerungschassis

### 6.3.3.1. Spannungsinbetriebnahme von T20

- Sicherung F20 einschrauben
- S22 und S24 schalten

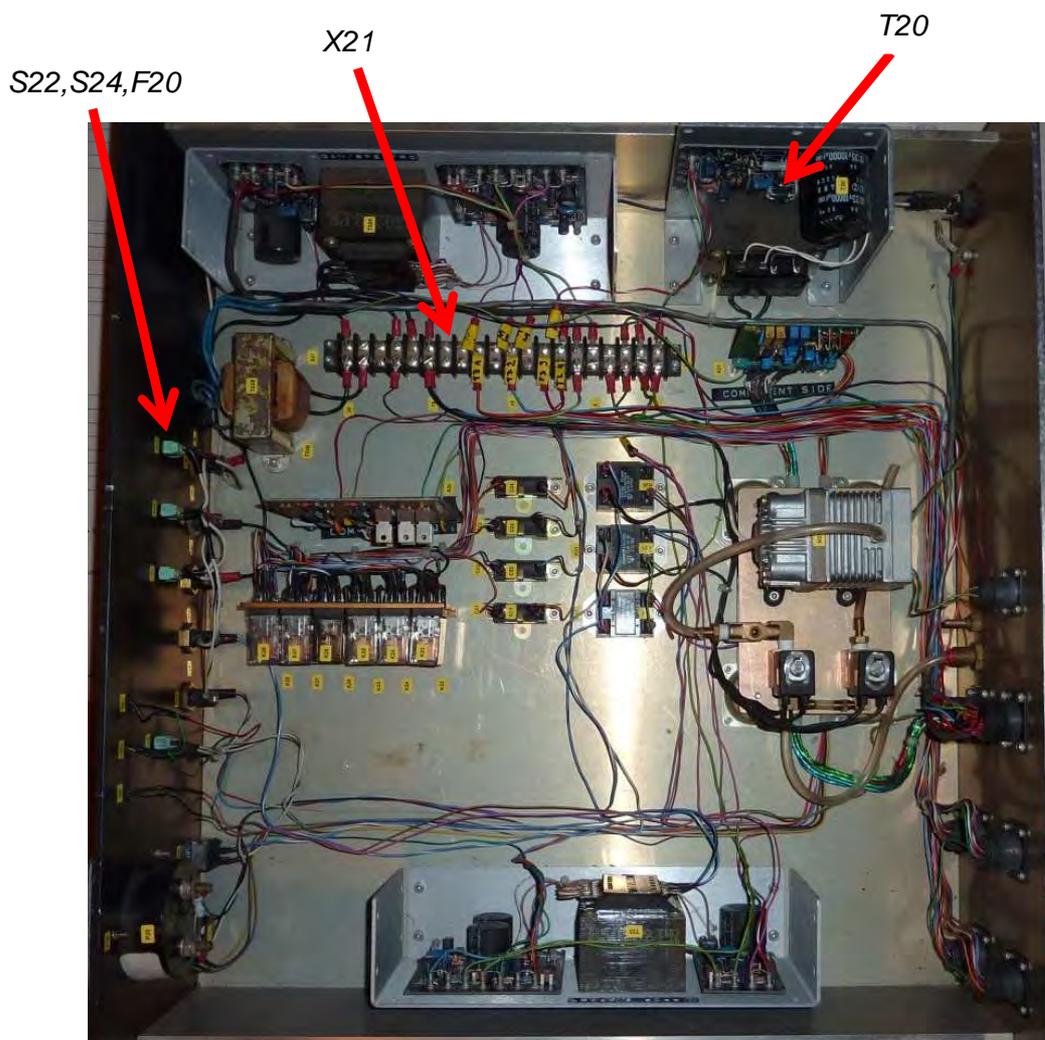
*Wechselspannung:*

- Primärspannung an den Anschlüssen 1 und 4 messen (110V AC)
- Sekundärspannung an den Anschlüssen A u A sowie B u B messen (12V AC)

*Gleichspannung:*

- An Stecker J1 (unterster Pin) gegen Masse an X21 Spannung messen (+ 12V DC)

Im folgenden Schaubild sind alle Lagen der Komponenten ersichtlich.



68. Abb.: Übersicht der Betriebsmittel im Spiegelsteuerungschassis

### 6.3.3.2. Spannungsinbetriebnahme von T22A

Nach dem Anschluss des Potentiometers für die Inbetriebnahme unter Vollast und der Grundstellung wurden folgende Punkte abgearbeitet:

- Sicherung F22 einschrauben
- S22 und S24 schalten

*Wechselspannung:*

- Primärspannung an den Anschlüssen an Klemme X21 messen (110VAC)

*Gleichspannung:*

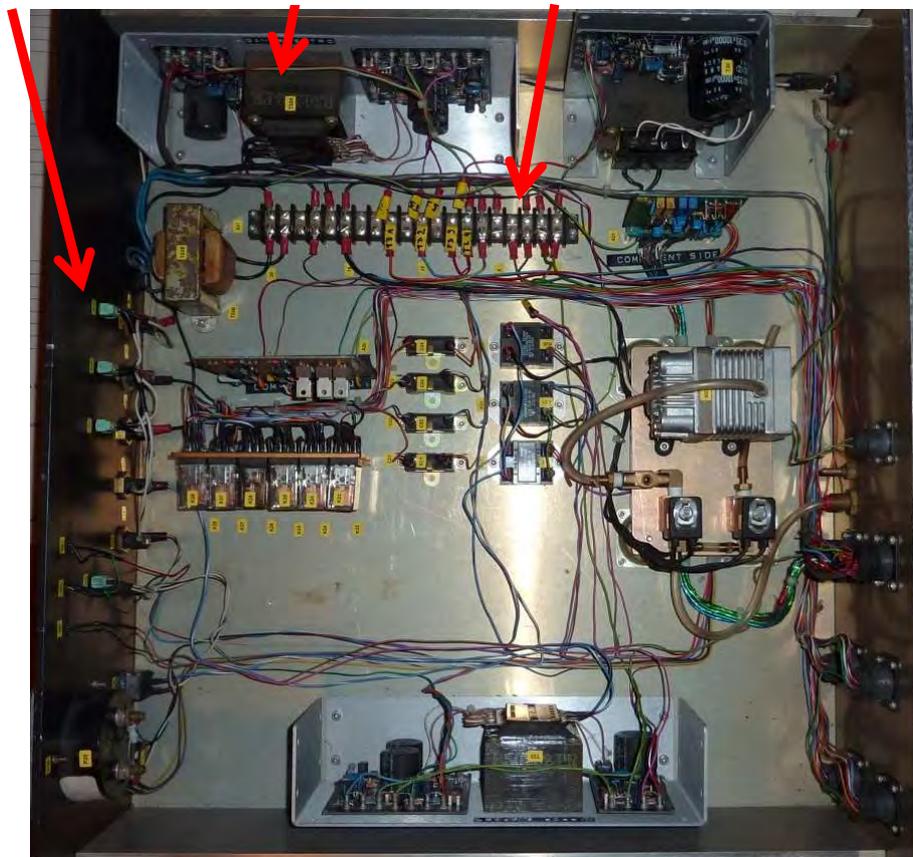
- Sekundärspannung an den Anschlüssen A u. AT, A u AT, BT u B, BT u B messen (+5VAC, + 12VAC, -12VAC)
- An Klemme X21 Spannungen nach Gleichrichter messen (+5VDC, + 12VDC, -12VDC)

Im folgenden Schaubild sind alle Lagen der Komponenten ersichtlich.

S22,S24,F22

T22A

X21



69. Abb.: Übersicht der Betriebsmittel im Spiegelsteuerungschassis

### 6.3.3.3. Spannungsinbetriebnahme von T22B

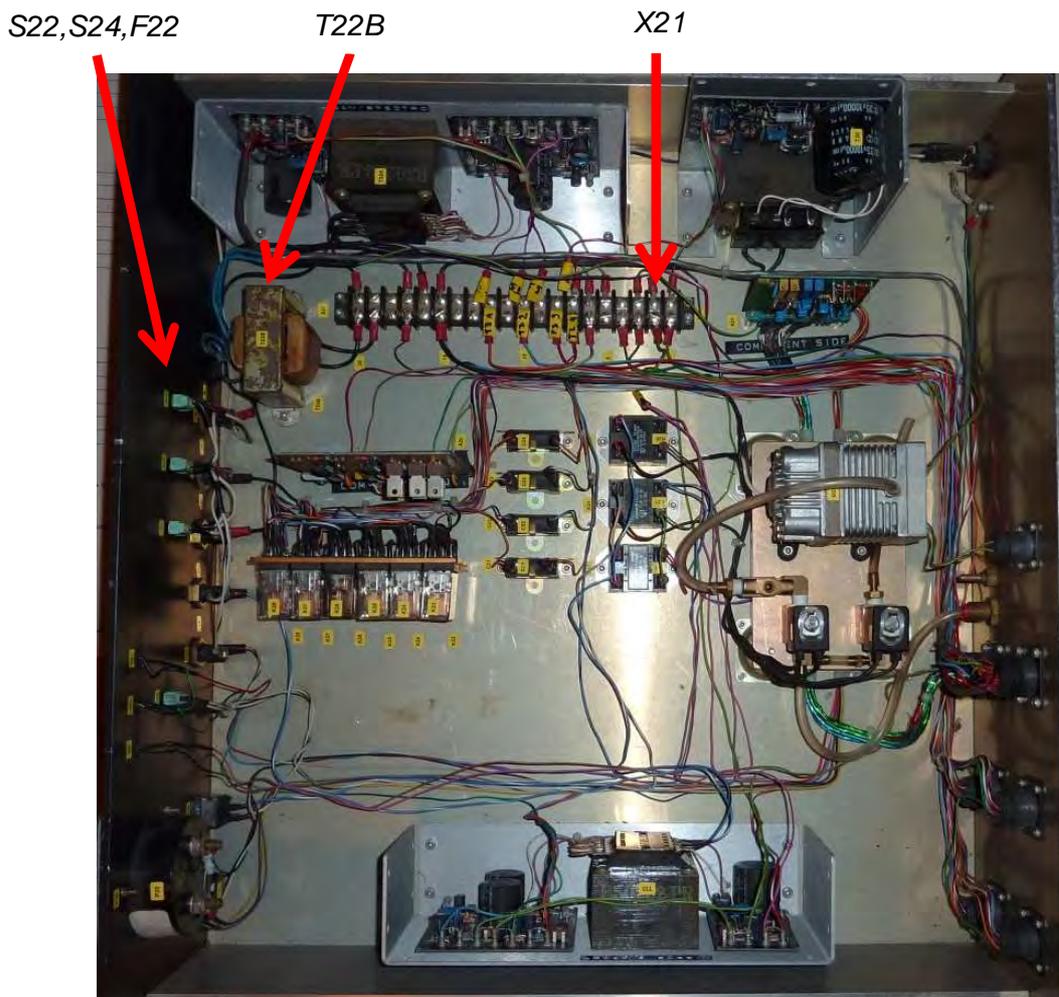
Nach der Grundstellung wurden folgende Punkte abgearbeitet:

- Sicherung F22 einschrauben
- S22 und S24 schalten

*Wechselspannung:*

- Primärspannung an den Anschlüssen 1 und 2 des Trafos messen (110VAC)
- Sekundärspannung an den Anschlüssen 3 und 4

Im folgenden Schaubild sind alle Lagen der Komponenten ersichtlich.



**70. Abb.: Übersicht der Betriebsmittel im Spiegelsteuerungschassis**

#### 6.3.3.4. Spannungsinbetriebnahme von T23

Nach dem Anschluss des Potentiometers für die Inbetriebnahme unter Vollast und der Grundstellung wurden folgende Punkte abgearbeitet:

- Sicherung F23 einschrauben
- S24 schalten

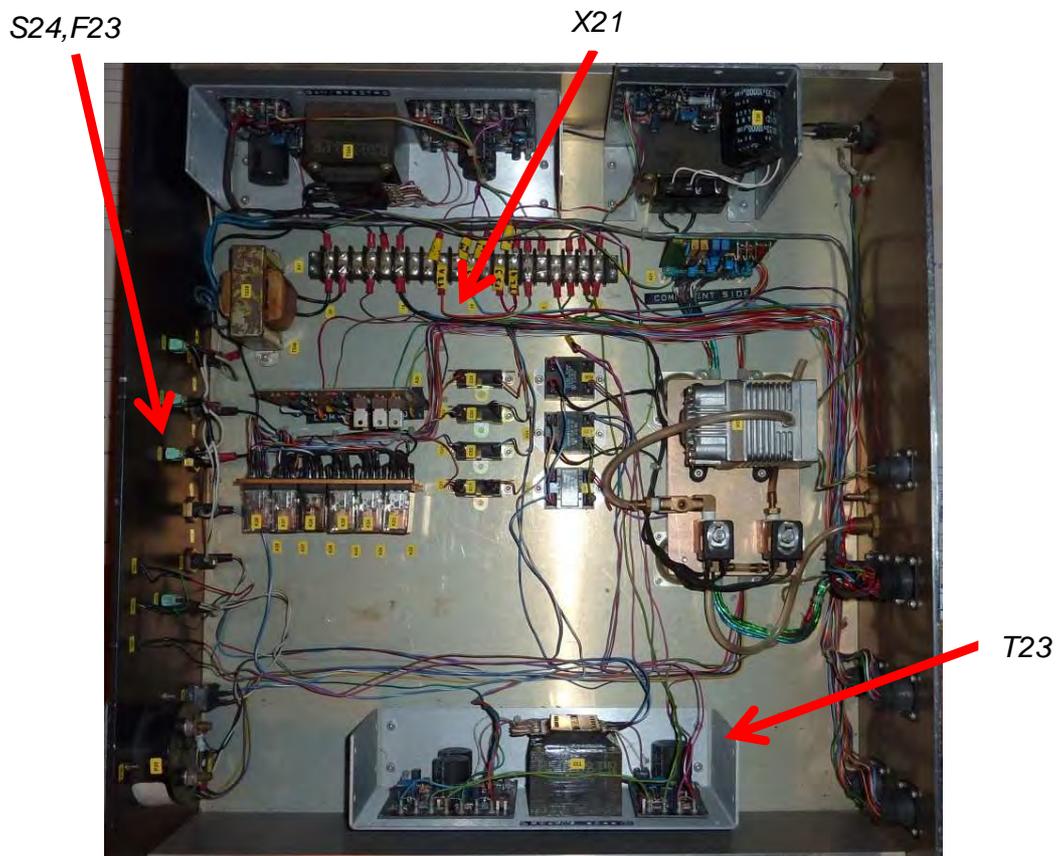
*Wechselspannung:*

- Primärspannung an den Anschlüssen 1 und 2 des Trafos messen (110VAC)
- Sekundärspannung an den Anschlüssen A u. AT, A u AT, BT u B, BT u B messen (+5VAC, + 12VAC, -12VAC)

*Gleichspannung:*

- Am Platinen Anschluss „Component Side“ an den Klemmen 1-3 Spannungen am Gleichrichter messen (+5VDC, + 12VDC, -12VDC)

Im folgenden Schaubild sind alle Lagen der Komponenten ersichtlich.



71. Abb.: Übersicht der Betriebsmittel im Spiegelsteuerungschassis

### **6.3.4. Inbetriebnahme der Servomotoren mit dem Handbedienelement**

Unser Ziel bestand darin die Servomotoren der DEC - und der RA - Achse des Teleskops mit Hilfe des Handbedienteiles und der Motorsteuerung in Betrieb zu nehmen. Ziel des Vorhabens war es die Funktion von Motor, Motorsteuerung, Handbedienelement, sowie der inkrementellen Weggeber sicherzustellen. Hierfür musste zunächst mit Hilfe der Schaltpläne evaluiert werden, welche



**72. Abb.: Motorsteuerplatine**

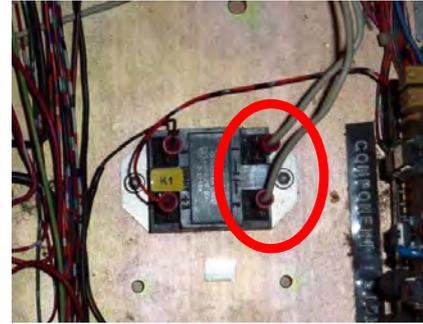
Komponenten notwendig sind und wie diese untereinander angeschlossen werden müssen. Zunächst musste eine provisorische Verdrahtung zwischen Motorsteuerung und Motor erfolgen, sowie die erstmalige Inbetriebnahme der eigentlichen Motorsteuerplatinen durchgeführt werden. Anschließend musste der Computer (486er), der die zentrale Steuerung des Teleskopes darstellt, in Betrieb genommen und komplett angeschlossen werden. Es mussten die Positionencodes der RA - und DEC - Achse in Betrieb genommen werden. Diese werden auf das I/O Board des Computers, sowie die Kommunikationsschnittstelle der Motorsteuereinheit verdrahtet. Weiterhin musste das Front Panel, das Hauptbedienteil des Teleskopes, auf den Computer und auf die Motorsteuerung verdrahtet werden. Alle Verdrahtungsaufgaben wurden nach den vorliegenden Schaltplanunterlagen durchgeführt.

#### **6.3.4.1. Inbetriebnahme der Motorsteuerungsplatinen**

Vorbereitende Maßnahmen der Inbetriebnahme:

- Die Spannungsversorgung für die Motorsteuerung über den Ringkerntrafo musste vorbereitet und auf Nennspannung (110VAC) geprüft werden. Gemessen wurden an den Sekundärspulen 115VAC, was vollkommen in dem Tolleranzbereich  $\pm 10\%$  (Internationale Norm IEC 60038) der Nennspannung liegt.
- Alle Schalter die sich am Gehäuse befinden müssen zunächst auf OFF geschaltet werden. Das bedeutet der Schalter S10 muss sich in der unteren Stellung befinden und Schalter S11 muss betätigt sein (Öffner).
- Alle Sicherungen (F10 – F14) müssen in die Sicherungshalterungen eingeschraubt werden.

- Das Solid-State-Relais K1 muss an den Leistungskontakten 1 und 2 überbrückt werden. Das hat den Sinn, dass die Hauptstromversorgung von T11 freigeschaltet wird, sobald die Kuppel des Teleskops offen ist. Das wird durch, an der Endlage der Kuppel angebrachte Nockenschalter (Schließer) erreicht. Dies soll ungewollte Bewegungen bei geschlossener Kuppel und somit eine Crash-Fahrt vermeiden.
- Das Handbedienelement muss an den entsprechenden Stecker angeschlossen werden, wahlweise an der Vorderseite oder der Rückseite des Gehäuses. Beide Stecker sind parallel zueinander verdrahtet.
- Der Motorencoder muss mit Hilfe des Schaltplanes an den entsprechenden Stecker der Steuerung angeschlossen werden. Am Encoder selbst ist kein Hinweis auf eine Pinbelegung erkennbar. An dieser Stelle ist der Schaltplan 034-134 ausführlich ausgeführt. Für den Anschluss verwendeten wir die abgeschnittenen Kabelreste mit dem entsprechenden Stecker und brückten diese mit Laborleitungen.
- Die Motorzuleitung wurde nach Schaltplan (034-134) angeschlossen, um die Spannung des Motors messtechnisch zu ermitteln. Hierzu standen uns ein Vielfachmessgerät, sowie ein Oszilloskop zur Verfügung.



73. Abb.: Solid State Relais K1

#### Durchführung der Inbetriebnahme:

- Über den Kaltgerätesteckeranschluss des Gehäuses erfolgt der Anschluss der Spannungsversorgung.
- Betätigen des Hauptschalters S10 und anschließend von S11 (Notaus- Stoptaster, Öffner)
- Abbruch der Durchführung da Sicherung F11 auslöste.
- Ausschalten der Spannungsversorgung, sowie umlegen bzw. betätigen der Schalter S10 und S11.
- Weder messtechnisch noch optisch konnte ein Fehlerfall bzw. Kurzschluss ermittelt werden.
- Vermutung der Ursache ist, dass die Kondensatoren der Spannungsglättung auf der Motorsteuerplatine so tiefenentladen waren, dass sie eine sehr hohe Stromaufnahme hatten. Diese hohe Stromaufnahme führte umgehend zu einer höheren Stromaufnahme der Primärseite des Trafos, wodurch die Sicherung F11 auslöste.
- Austausch der defekten 2 A Sicherung F11

- Erneute Sichtkontrolle auf eventuelle Fehler wie Kurzschlüsse oder Ähnliches.
- Anschließen und Einschalten der Spannungsversorgung.
- Betätigen von Schalter S10 und S11
- Kurz nach dem Betätigen von S11 explodierten 2 Kondensatoren auf der Motorsteuerplatine. Die Kondensatoren sind parallel zur Spannungsversorgung (24V DC) angeschlossen und haben eine Kapazität von  $47\mu\text{F}$  / 35V.



74. Abb.: zerstörte Tantalkondensatoren

An dieser Stelle wurde die Inbetriebnahme abgebrochen und mit der Fehlersuche begonnen. Messtechnisch waren durch eine Widerstandsmessung keine Anzeichen eines Kurzschlusses erkennbar. Auch optisch waren auf der Platine keine Auffälligkeiten erkennbar, wie fehlerhafte Bauteile oder Leiterbahnschlüsse. Die Begründung für die defekten Kondensatoren lässt eigentlich nur den Schluss zu, dass diese durch lange Lagerung (mehr als 3 Jahre) und das hohe Alter (Bj: 1985) durch einen internen Schluss explodiert sind. Aus diesem Grund ersetzen wird die alten Kondensatoren durch zwei neue Tantalkondensatoren mit einer Kapazität von  $47\mu\text{F}$  und einer Spannungsfestigkeit von 35V. Anschließend wurde die Baugruppe nochmals mit einer Widerstandsmessung auf einen messbaren Kurzschluss überprüft und erneut, wie im Punkt „Durchführung der Inbetriebnahme“, in Betrieb genommen. Im Anschluss an die Instandsetzungsarbeiten trat kein weiterer defekt an der Motorsteuerungsplatine auf. Die Erneuerung der Tantalkondensatoren wurde an beiden Motorsteuerungsplatinen durchgeführt, um einen sicheren Betrieb unter denselben Voraussetzungen zu schaffen. Nach dem Einschalten der Spannungsversorgung der Motorsteuerung durch die Schalter S10 und S11 lief der Motor ohne Anfahrrampe mit einem Ruck an und stellte sich auf eine konstante Drehzahl ein (19VDC gemessen an der Motorzuleitung).

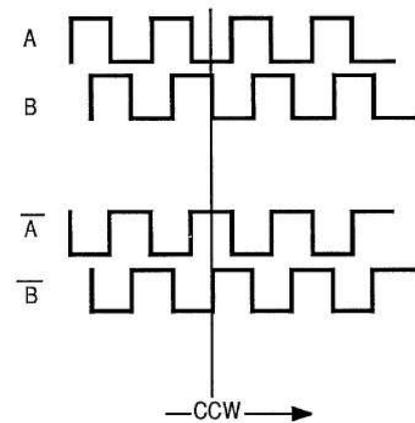
### 6.3.4.2. Inbetriebnahme der inkrementellen Weggeber

Für die Inbetriebnahme des inkrementellen Weggebers des Herstellers BEI Model H25 musste zunächst eine Spannungsversorgung von 5VDC bereitgestellt werden. Hierfür verwendeten wir einen Netzteil mit 15VDC / 0,5A. Diese Leistung ist ausreichend, da der Weggeber laut Datenblatt eine maximale Stromaufnahme von 120mA hat. Die Spannung musste auf 5VDC herabgesetzt werden. Dies realisierten wir mit einem 7805 Festspannungsregler, welcher eine konstante Spannung von 5VDC und einen maximalen Strom von 1A bereitstellt (siehe Datenblatt → Anhang).

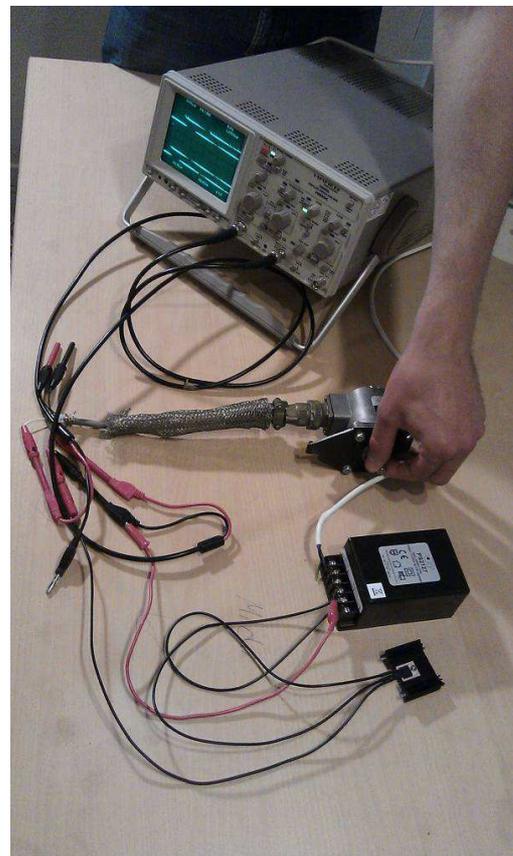
Der Weggeber arbeitet mit 4 Spuren. Spur A und B sind jeweils um die Hälfte der Signallänge zueinander versetzt, wie man auf der Abbildung erkennen kann.

Des Weiteren sind 2 negierte Spuren von A und B vorhanden die mit einem Überstrich gekennzeichnet sind.

Für unseren Versuchsaufbau haben wir die Spuren A und B an ein Oszilloskop angeschlossen, um die Inkremente auf 2 Eingängen darstellen und auswerten zu können. Je nach Veränderung der Drehzahl, die am Weggeber anliegt, ändern sich auch die Anzahl der Inkremente. Auf dem abgebildeten Foto kann man dies sehr gut erkennen. Problem des Versuchsaufbaus ist, dass eine genaue Aufzeichnung des Signals nicht möglich ist, da keine gleichbleibende Drehzahl möglich ist. Weiterhin wären ein Messgerät mit einer genaueren Abtastrate und ein moderneres Speicheroszilloskop von Vorteil, um ein genaueres Messergebnis zu erhalten. Nach der erfolgreichen Inbetriebnahme des Weggebers (Datenblatt siehe Anhang) wurde das Verbindungskabel zum Computer nach Schaltplan 138-225 hergestellt und angeschlossen.



75. Abb.: Signale des Inkrementalgebers



76. Abb.: Inbetriebnahmeaufbau der Inkrementalgeber

### 6.3.4.3. Verdrahtung des Front Panels

Da laut Schaltplan für die Inbetriebnahme das Front Panel, das Hauptbedienteil des Teleskopes, erforderlich ist bauten wir dieses aus dem vorhandenen Schaltschrank aus. Anschließend wurde mit Hilfe des Schaltplanes 138-230 die korrekte Verdrahtung aller Schalter und Taster sichergestellt und die Stecker nach Schaltplan montiert und an den Computer, sowie die Motorsteuerung angeschlossen.



77. Abb.: Front Panel

### 6.3.4.4. Inbetriebnahme des 486er Computers

Die ersten Schritte bei der Inbetriebnahme des Computers bestanden in der Organisation der benötigten Peripherie, wie eine Maus mit seriellem Anschluss, sowie eine Tastatur mit DIN Anschluss. Als Bildschirm entschieden wir uns für einen alten 15Zoll Flachbildschirm mit VGA Anschluss. Nach der Bereitstellung der benötigten Spannungsversorgung von 115V, durch einen Ringkerntafo, und der visuellen Überprüfung des Mainboards auf offensichtliche defekte, sowie allen weiten Steckkarten wurde der PC in Betrieb genommen. Dieser meldete einen Fehler durch einen Piepcode und erkannte weder Tastatur (kurzes Blinken der LED oberhalb des Nummernblockes im Einschaltmoment des Computers) noch Bildschirm (Status LED des Bildschirmes wurde nicht grün; Schwarzes Bild). Nachdem wir mit Hilfe einer Piepcode Tabelle<sup>64</sup> des Bios Herstellers (AMIBIOS) den Fehler auf die Grafikkarte einschränken konnten begannen wir mit der Fehlersuche. Wir entfernten die Grafikkarte und reinigten alle Kontakte. Weiterhin fiel uns auf, dass sich die ICs durch die lange Lagerung in einer Scheune und die damit verbundenen Temperaturwechsel leicht aus ihren Steckkontakten gearbeitet hatten und so kein oder nur noch ein schlechter elektrischer Kontakt vorhanden war. Der richtige Sitz aller ICs auf der Grafikkarte, sowie auf dem Mainboard und den vorhandenen Einsteckkarten, wurde überprüft. Nach erneuter Inbetriebnahme des Computers trat nach wie vor der Grafikkartenfehler auf. Nach gründlicher Reinigung des ISA-Slots wurde die Grafikkarte und somit der Bildschirm erkannt. Sofort meldete der PC erneut einen Fehler durch einen Piepcode. Dieser Fehler konnte anhand der Piepcode Tabelle auf die vorhandenen RAM - Steckplätze begrenzt werden. Wir

<sup>64</sup> Vgl. (Schulz, 2007)

reinigten die Steckbänke und die RAM Riegel sorgfältig und nahmen nach dem Einbau der Bauteile den PC erneut in Betrieb. Die RAM – Überprüfung der Boot Routiene war erfolgreich, allerdings trat erneut ein Fehler mit dem Diskettenlaufwerk auf. Da dieser Fehler keine Relevanz hatte übersprangen wir diesen durch Drücken der Taste F1. Nun wurden wir aufgefordert Datum und Uhrzeit einzustellen, da die Bios – Pufferbatterie über die Jahre an Ladung verloren hatte. Nachdem alle Einstellungen gespeichert wurden bootete der Computer bis zum installierten Betriebssystem DOS. Von dort starteten wir WIN 3.1. mit dem Befehl „win“ aus der DOS - Ebene. Der Start von Windows verlief ohne weitere Probleme. Auch das Sternenprogramm “The Sky“ ließ sich ohne Probleme öffnen.

Im nächsten Schritt mussten wir in der DOS - Ebene mit dem Befehl „tcs“ das Initialisierungsprogramm der I/O Schnittstellenkarte aufrufen, um anhand der vorhandenen Anleitung alle erforderlichen Parameter einstellen zu können.

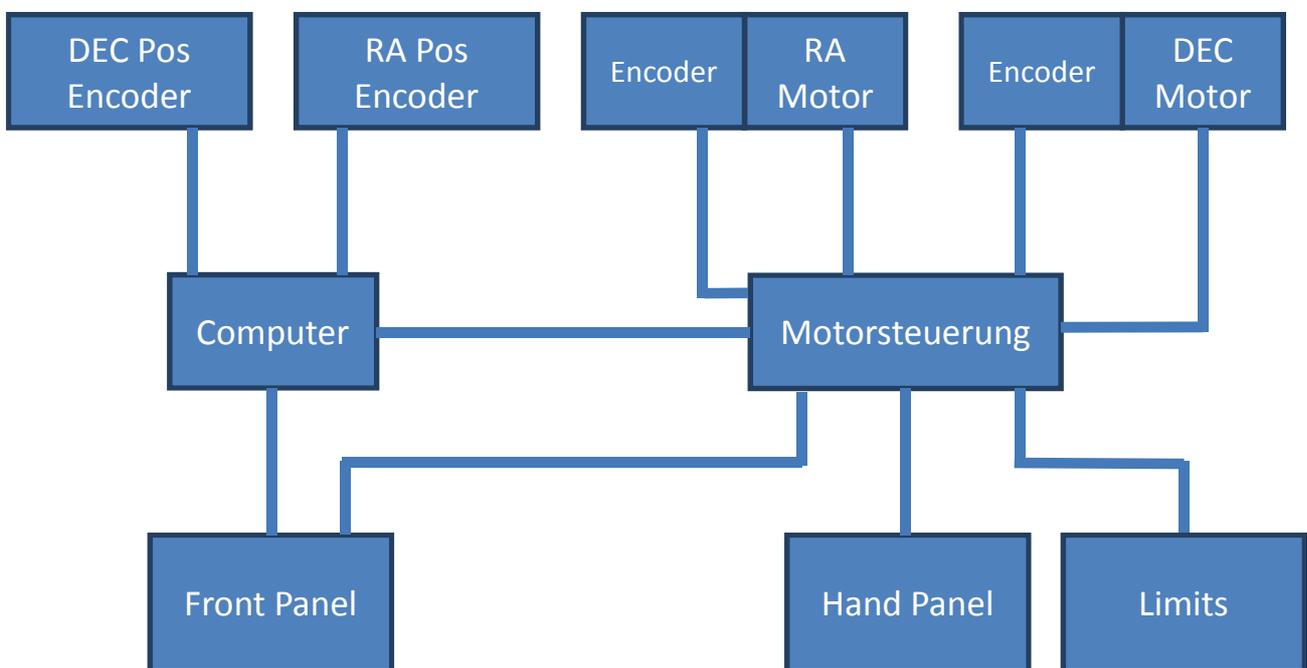
#### **6.3.4.5. Inbetriebnahme des gesamten Versuchsaufbaus**

Nachdem alle Baugruppen einzeln in Betrieb genommen wurden und die Funktion soweit festgestellt wurde, ist der nächste Punkt die gemeinsame Inbetriebnahme aller benötigten Komponenten. Als zentrale Spannungsversorgung stand uns wieder der 115VAC Ringkerntrafo zur Verfügung Zwecks Versorgung des Computer und der Motorsteuerung. Folgende Komponenten sind in diesem Versuchsaufbau getestet bzw. implementiert worden:

- Positionencoder der RA – Achse
- Servomotor der RA – Achse
- Motorencoder des Servomotors
- Frontpanel
- Handpaddle
- Computer
- Motorsteuerungschassis

Auf der Abbildung 78 (Seite 76) ist eine schematische Darstellung des Versuchsaufbaus zu sehen. In der Abbildung (Abb. 79; Seite 76) ist der tatsächliche Versuchsaufbau festgehalten. Zu beachten war bei diesem Versuchsaufbau die Angaben über die Verschaltung der Limits (Öffner) der RA - und DEC – Achsen, die bei nicht beschalten bzw. Erreichen der Limits im real Fall eine Notausfunktion haben. Dementsprechend wurden durch einen modifizierten Stecker die Limits durch Brücken auf Masse simuliert. Nach dem gemeinsamen Einschalten von Motorsteuerungschassis, sowie dem Computer und das anschließende Starten der Initialisierungs - Software war die Kommunikation zwischen Motorsteuerung und Computer hergestellt. Durch händisches drehen des Positionencoders war eine Änderung der RA – Achsposition (Änderung eines Zahlenwertes) im Programm

sichtbar. Ab einem bestimmten Zählerwert gibt das Programm einen softwareseitigen Limitfehler aus. Dieser Fehler kann durch drehen der Encoderachse in die entgegengesetzte Richtung ohne Quittierung beendet werden. Nach dem Einschalten des Motordrivers On Schalter auf dem Frontpanel läuft der Motor mit einer hörbaren Anfahrtrampe an und stellt sich auf eine konstante Drehzahl ein. Durch betätigen der am Handpaddle angebrachten Taster wie N / S / W / O kann die Motordrehzahl trotz Anzeige des Tastendrucks auf dem Computerbildschirm nicht verändert werden. Der Zahlenwert des DEC – Encoders erhöhte sich kontinuierlich mit ca. 1Hz. Dies ist auf eine fehlerhafte Initialisierung des Encoders zurück zu führen, da dieser nicht angeschlossen wurde. Weiterhin ist im Programm eine Fehlermeldung der Initialisierung des Fokus – Encoders zu lesen. Dieser wurde ebenfalls nicht angeschlossen.



78. Abb.: Schematische Darstellung Anschluss der Komponenten



79. Abb.: Versuchsaufbau

## 7. Ergebnis

Alle Netzteile die in der Motor – , Spiegelsteuerung und im Hauptschaltschrank implementiert sind, wurden auf Strom und Spannungsfestigkeit laut Schaltplan geprüft und somit als voll funktionsfähig beurteilt. Der Hauptschaltschrank entspricht nun deutschen Sicherheitsrichtlinien nach der DIN VDE 0100 / 0113.

Der Computer ist ebenfalls, bis auf das Diskettenlaufwerk (falsche BIOS Konfiguration) voll funktionsfähig. Die Motherboard-Batterie muss kurzfristig ersetzt werden. Die Kommunikation mit der Motorsteuerung bzw. den dort angeschlossenen Encodern ist hergestellt und kann im Initialisierungsprogramm überprüft werden. Auch eine Änderung der Position des RA / DEC Positionencoders ist über einen Zähler sichtbar, sowie Eingaben die über das Handpaddle getätigt werden. Die Initialisierung des Focus Encoders war nicht erfolgreich, da dieser nicht an die Motorsteuerung angeschlossen war. Eine Aussage über die Funktionsfähigkeit des Initialisierungsprogramms und des Sternenprogramm " The Sky" kann aktuell nicht getroffen werden, da die Initialisierung fehlschlägt.

Leider lässt sich zum jetzigen Zeitpunkt keine abschließende Aussage über die Gesamtfunktion der Motorsteuerung machen, da nicht die komplette Peripherie des Teleskops angeschlossen und getestet wurde. Das Zusammenspiel der einzelnen Komponenten wie z.B. dem Fokus oder einem fehlenden Positionencoder der RA / DEC – Achse ist unklar. Durch die nachführende Projektgruppe sollte ein Projektumfeld geschaffen werden mit der eine Funktion der Steuerung nachgewiesen werden kann. Nach anschließender Inbetriebnahme des Versuchsaufbaus sollte eine Funktion sichtbar werden, welche auf Richtigkeit zu beurteilen ist.

Der RA-Motor (24h-Achse) sollte nach dem Einschalten bzw. der Initialisierung im Gegensatz zum DEC-Motor eine permanente Drehbewegung mit gleichbleibender Drehzahl zeigen. Bei betätigen des W (Westen) oder O (Osten) Tasters auf dem Handpanel sollte sich der RA – Servomotor mit einer Anfahrrampe anfangen schneller zu drehen. Beim loslassen des Tasters muss die Drehbewegung wieder in die Erdbewegung übergehen. Der DEC – Servomotor darf nach dem Einschalten der Motorsteuerung keine Bewegung aufweisen. Beim dem betätigen von N (Norden) oder S (Süden) muss sich die Drehzahl entsprechend erhöhen. Über die Taste Slew ist die Drehzahl der Motoren 3 - stufig einstellbar.

*MUSS Ziele des Pflichtenheftes:*

1. Normgerechtes Bezeichnen einzelner Bauteile und gesamter Bauelemente im Schaltplan, sowie in der Elektronik (Betriebsmittelkennzeichnung).

Alle Bauteile besitzen sinngemäße Betriebsmittel und sind im Schaltplan kenntlich gemacht.

2. Beschreibung der Funktion einzelner Baugruppen, sowie deren interne Zusammenhänge.

Funktionen aller Baugruppen wurden beschrieben und deren Zusammenspiel dokumentiert (GL1200, RA, DEC, etc.) Punkt 6 ff

3. Einzelbetriebnahmen der Baugruppen anhand von Prüfpunkten.

Es wurden alle in Punkt 6.3 beschriebenen Baugruppen wie Netzteile, Motorsteuerplatinen, Motoren, Encoder, etc. in Betrieb genommen.

4. Erstellung eines Prüfprotokolls, sowie die genaue Beschreibung von Prüfpunkten in der Steuerung.

Im Anhang sind die Prüfprotokolle der Inbetriebnahmen abgelegt.

5. Dokumentation der Funktionstests anhand beigefügter Prüfprotokolle.

Prüfprotokoll im Anhang.

6. Instandsetzung bzw. Überholung notwendiger Komponenten.

Verdrahtung des Leistungsteils komplett überholt. Für den Steuerteil wurde vorerst nur eine provisorische Verkabelung für den Funktionstest durchgeführt. Netzteile wurden nicht ausgetauscht. Instandsetzung der Tantalkondensatoren der Baugruppen A11A und A11B sind durchgeführt worden.

7. Nachweis der Funktionsfähigkeit der einzelnen Baugruppen durch Anschluss der Peripherie wie z.B. Motoren und Geber anhand von Protokollen.

An den Computer wurden einer von zwei Motoren und ein Encoder angeschlossen. Siehe Kapitel 6.4.4.3. ff

8. Herstellung eines Muster-Kabelbaums, um die komplette Steuerung in Betrieb nehmen zu können. Der Kabelbaum beinhaltet benötigte Steckerverbindungen, sowie geschirmte Motorzuleitungen und entsprechende Kabelquerschnitte. Die Länge beträgt 1-2 Meter.

Alle nötigen Verbindungen vom Motor Driver Chassis zum PC und Encodern, um die Servomotoren in Betrieb zu nehmen wurden erstellt. Ein kompletter Kabelbaum ist nicht vorhanden und auch nicht sinnvoll zu bauen, da die erforderlichen Kabellängen vor Ort nicht bekannt sind.

9. Falls die Steuerelektronik funktionsfähig sein sollte, ist der Spannungswandler von 230V auf 110V und die vorhandenen Netzgeräte auszubauen und gegen eine geeignete Spannungsversorgung von 230V auf die an der Baugruppe benötigte Spannung zu ersetzen. Der benötigte Strom und die Anlaufströme der Motoren sind dabei besonders zu berücksichtigen.

Auf einen Austausch der Transformatoren wurde verzichtet. Ein Austausch der Transformatoren ist auch in Zukunft nicht notwendig, da die vorhandenen Netzgeräte funktionieren.

*KANN Ziele des Pflichtenheftes:*

Im Anschluss folgen „Kann“ – Ziele, die nicht unbedingt Bestandteil unserer Projektarbeit sein müssen, bei Bedarf aber noch durch das Projektteam durchgeführt werden können:

1. Herstellung eines neuen Kabelbaums mit ausreichenden Kabellängen, um diesen vor Ort zu implementieren und das Teleskop in Betrieb zu nehmen. Für die Montage des Kabelbaums ist das Teleskop vorher soweit wie nötig zu demontieren.

Nicht durchgeführt, da die Gesamtfunktion noch nicht gegeben ist und die erforderlichen Kabellängen nicht bekannt sind.

2. Funktionstest des gesamten Teleskops vor Ort nachdem die Inbetriebnahme erfolgreich abgeschlossen ist (Rektaszensions- und Deklinationsachse, Verstellung des Sekundärspiegels, Verstellung der vier Spiegelklappen, sowie deren Inkrementalgeber).

Nicht durchgeführt, da die Gesamtfunktion noch nicht gegeben ist.

3. Konzept für den Aufbau einer vollständig neuen Steuerung mit Hilfe einer Siemens S7 Steuerung und einer alternativen Motoransteuerung.

Nicht durchgeführt, da die Gesamtfunktion noch nicht gegeben ist.

*Weitere Ziele die erreicht wurden:*

1. Inbetriebnahme Positionencoder
2. Inbetriebnahme des 486 Computers
3. Inbetriebnahme des Handpaddle´s
4. Grundprinzip des Microcontrollers erläutert.
5. Einleitung in die Initialisierungssoftware des Teleskopes (TCS)

## **8. Resümee**

Nach einem Jahr voller Höhen und Tiefen in unserem Abschlussprojekt der Technikerschule kann man sagen, dass dieses Projekt eine große fachliche Herausforderung für uns war. Wir wurden mit technischen Problemen konfrontiert, deren Ausmaß wir bis jetzt noch nicht kannten und erlebt haben. Jedoch hat uns dieses außergewöhnliche Projekt viel Freude bereitet und wir haben viele neue Erkenntnisse für unsere Zukunft gewinnen können.

Obwohl dieses Projekt, was schon im Voraus ersichtlich war, den Zeitrahmen von einem Jahr weit überschreiten würde, denken wir, dass wir einen sehr guten Grundstein für die weiteren Technikerklassen gelegt haben, welche dieses Projekt weiterführen werden.

Die komplette Steuerung mit allen Elementen konnte nicht in Betrieb genommen werden. Herausforderungen bestanden darin, dass alle Leitungen neu verlötet und konfektioniert werden mussten, da der Vorbesitzer alle Verbindungen bündig durchtrennt hatte. Wir mussten feststellen, dass die Verarbeitung der elektrischen Anschlüsse nicht ansatzweise,

auf Grund der amerikanischen Herkunft, den deutschen bzw. europäischen Standards entspricht. Sämtliche Quetschverbindungen waren locker, Schirme waren nicht ordnungsgemäß aufgelegt, was die elektromagnetische Verträglichkeit erheblich einschränkt. Bauteile waren stark veraltet. Um ein gefahrloses „Einschalten“ der Anlage zu gewährleisten musste der komplette Leistungsteil erneuert werden. Hier fehlten jegliche Erdungsmaßnahmen, was das Einschalten lebensgefährlich gemacht hätte.

Eine weitere Herausforderung waren die sehr unverständlich gezeichneten Schaltpläne die einen logischen Zusammenhang der Schaltungen fast unmöglich machten. Es fehlen jegliche Querverweise sowie Betriebsmittelkennzeichnungen. Auch die Auflösungen der Pläne sind für deutsche / europäische Standards unüblich. Des Weiteren waren viele schaltungstechnische Änderungen vorgenommen worden. Diese wurden nicht im Schaltplan dokumentiert.

Nach der Inbetriebnahme der Motorsteuerplatine zerstörten sich ohne erkennbaren Grund zwei Tantalkondensatoren auf beiden Motorsteuerplatinen mit den Betriebsmittelkennzeichnungen A11A und A11B. Daraufhin mussten aufwändige Maßnahmen ergriffen werden, um den Fehler zu analysieren. Nach Einbau der neuen Kondensatoren konnte kein Fehler mehr festgestellt werden. Man kann nur die Vermutung aufstellen, dass die Bauteile zu alt waren und die Kondensatoren tiefenentladen.

Einen hohen Zeitaufwand kostete uns die Dokumentation. Datenblätter und Dokumentationen des IC's GL1200 waren nur sehr schwer zu beschaffen, da dieser Chip nicht mehr produziert wird und veraltet ist.

Eine generelle Beschreibung der Teleskopsteuerung vom Hersteller DFM Engineering in Englisch war bis Mitte 2011 vorhanden.

Die Inbetriebnahme des 486er Computers erwies sich als große Herausforderung, da wir mit dieser Art von Computersystemen aufgrund des hohen Alters nicht viel Erfahrung hatten. Beim ersten Einschalten ertönten BIOS Fehlermeldungen, die unter anderem auf lose IC's, lockere Platinen, leerer BIOS Batterie, etc. zurück zu führen waren.

Der Leistungsteil ist komplett überholt worden, auf dem neusten Stand der Technik und sicher. Dies garantiert erst ein sicheres Arbeiten an allen weiteren Komponenten. Die alten Transformatoren für die 110VAC Spannungsversorgung können weiter benutzt werden, da ein Austausch zu teuer und unnötig wäre. Weiterhin wurden alle Transformatoren in dem Motor Driver Chassis und der Spiegelsteuerung in Betrieb genommen. Zusätzlich wurden sie auf ihre Strom- und Spannungsfestigkeit getestet und für in Ordnung befunden. Die Steuerplatinen für die Achsen und Motoren, sowie die Encoder und der Computer wurden in

Betrieb genommen. Die Motoren laufen nur mit einer undefinierten Drehzahl. Wir denken, dass dies nur Einstellungen in der TCS Software sind. Alle Peripherien die zum Computer führen, werden erkannt und sind in der TCS Software ersichtlich (C:\TCS). In diesem Anzeigefeld können jegliche Einstellungen, z.B. Nullpunkte der Achsen etc. eingestellt werden.

Wir gehen davon aus, dass die Steuerung noch funktioniert, allerdings fehlen einige softwaretechnische Einstellungen und der Anschluss benötigter Peripherien. Nach studieren der Pläne können wir nicht mit Sicherheit sagen, ob dem Computer z.B. noch die Signale des Focusmotor-/encoder oder des zweiten Motorencoders benötigt, da dies den Unterlagen nicht entnommen werden kann.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass die DFM - Steuerung sehr wahrscheinlich noch funktionsfähig ist und auch in Zukunft weiter verwendet werden kann. Wir empfehlen folgende Möglichkeit um das Projekt fortzuführen:

Die nachfolgende Gruppe sollte sich erneut mit der DFM - Steuerung auseinander setzen und versuchen die letzten Schritte der Inbetriebnahme abzuarbeiten. Dazu zählt die komplette abschließende Inbetriebnahme der Servomotoren mit Hilfe des Computers, die Erstellung des Kabelbaums mit Anschluss an das Teleskop, sowie die Einstellungen des Initialisierungsprogramms.

Wir hoffen, dass wir durch unsere Projektergebnisse einen umfassenden Einblick in die Probleme und Tücken der DFM Teleskopsteuerung geben konnten und eine Hilfe für weitere Entscheidungsfindungen waren. Wir wünschen der nächsten Gruppe und Herrn Dr. Vollmann auch weiterhin viel Erfolg und alles Gute bei der Umsetzung der Inbetriebnahme des Teleskops.

## **9. Eidesstaatliche Versicherung**

Hiermit versichern wir, dass wir die vorliegende Projektarbeit mit dem Titel „Aufbereitung und Inbetriebnahme der Steuerelektronik eines Spiegelteleskops“ selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel verwendet und die Stellen der Projektarbeit, die im Wortlaut oder im wesentlichen Inhalt aus anderen Werken entnommen wurden, mit genauer Quellenangaben kenntlich gemacht haben.

Siegburg, den 26.03.2012

Michael Maas

Florian Rings

## 10. Literaturverzeichnis

*www.servotechnik.de*. (05. Februar 2012). Abgerufen am 05. Februar 2012 von [http://www.servotechnik.de/fachwissen/regelung/f\\_beitr\\_00\\_602.htm](http://www.servotechnik.de/fachwissen/regelung/f_beitr_00_602.htm)

DFM Engineering, INC. 1988. (1995). *TCS 486 operations manual*.

GALIL Motion Control, Inc. (1988). *Datenblatt GL 1200*. GALIL Motion Control, Inc.

Schenke, G. (01. November 2010). *www.et-info-empden.de*. Abgerufen am 05. Februar 2012 von [http://www.et-inf.fho-empden.de/~elmalab/mechatronik/download/Mechatronik\\_4.pdf](http://www.et-inf.fho-empden.de/~elmalab/mechatronik/download/Mechatronik_4.pdf)

Schulz, H.-P. (01. Januar 2007). *www.bios-info.de*. Abgerufen am 15. Januar 2012 von <http://www.bios-info.de/4p92x846/amsignal.htm>

uni-protokolle. (kein Datum). *Spiegelteleskop*. Abgerufen am 01. 11 2011 von [www.uni-protokolle.de: http://uni-protokolle.de/Lexikon/Spiegelteleskop.html](http://www.uni-protokolle.de: http://uni-protokolle.de/Lexikon/Spiegelteleskop.html)

Wikipedia, D. (15. März 2012). *Wikipedia*. Abgerufen am 15. März 2012 von [http://de.wikipedia.org/wiki/Deklination\\_%28Astronomie%29](http://de.wikipedia.org/wiki/Deklination_%28Astronomie%29)

Wikipedia, F. (15. März 2012). *Wikipedia*. Abgerufen am 15. März 2012 von <http://de.wikipedia.org/wiki/Fernrohr>

Wikipedia, N. (15. März 2012). *Wikipedia*. Abgerufen am 15. März 2012 von <http://de.wikipedia.org/wiki/Netzteil>

Wikipedia, O. (15. März 2012). *Wikipedia*. Abgerufen am 15. März 2012 von [http://www.astroshop.de/teleskop-zubehoer/okulare/15\\_10](http://www.astroshop.de/teleskop-zubehoer/okulare/15_10)

Wikipedia, R. (15. März 2012). *Wikipedia*. Abgerufen am 15. März 2012 von <http://de.wikipedia.org/wiki/Rektaszension>

Wikipedia, S. (15. März 2012). *Wikipedia*. Abgerufen am 15. März 2012 von <http://de.wikipedia.org/wiki/Schaltnetzteil>

Wikipedia, S. (15. März 2012). *Wikipedia*. Abgerufen am 15. März 2012 von <http://de.wikipedia.org/wiki/Spiegelteleskop>

## 11. Abbildungsverzeichnis

1. Abb.: Linsenteleskop .....	- 13 -
2. Abb.: Spiegelteleskop .....	- 13 -
3. Abb.: Deklinationsachse (DEC-Achse) .....	- 14 -
4. Abb.: Frühlingspunkt (RA-Achse) .....	- 15 -
5. Abb.: Brennweite einer Sammellinse .....	- 16 -
6. Abb.: Vergleich Galilei-, Kepler-Fernrohr .....	- 16 -
7. Abb.: Galilei-Fernrohr mit Sammel- und Zerstreuungslinse .....	- 17 -
8. Abb.: Kepler-Fernrohr .....	- 18 -
9. Abb.: Okular allgemeiner Aufbau .....	- 18 -
10. Abb.: Okular eines Linsenteleskopes .....	- 19 -
11. Abb.: Cassegrain Spiegelteleskop .....	- 19 -
12. Abb.: Gran Telescopio Canarias .....	- 20 -
13. Abb.: Hauptspiegel mit Stützelementen .....	- 21 -
14. Abb.: Tubus eines Teleskops .....	- 22 -
15. Abb.: Newton Teleskop Lichtverlauf .....	- 22 -
16. Abb.: Newton Teleskop .....	- 23 -
17. Abb.: Regelkreis eines Schaltnetztes .....	- 26 -
18. Abb.: Aufbau eines Trafonetztes .....	- 27 -
19. Abb.: Servomotoren Familie .....	- 29 -
20. Abb.: Gleichstromservomotor .....	- 29 -
21. Abb.: Regelkreise bei elektrischen Servoantrieben .....	- 30 -
22. Abb.: Bürstenloser Gleichstromservomotor .....	- 31 -
23. Abb.: Prinzipdarstellung eines dreisträngigen Gleichstrommotors mit elektronischer Kummutierung .....	- 31 -
24. Abb.: Vergleich von mechanischer und elektronischer Kommutierung .....	- 32 -
25. Abb.: Drehstromasynchron Servomotor .....	- 32 -
26. Abb.: Drehstromsynchronservomotor .....	- 33 -
27. Abb.: Servogeregelter Schrittmotor .....	- 33 -
28. Abb.: Strichcodescheibe .....	- 34 -
29. Abb.: Strichcodescheibe mit Gray-Codierung .....	- 35 -
30. Abb.: Resolver Prinzipdarstellung / Ausgangssignale .....	- 36 -
31. Abb.: Computer mit I / O Karte .....	- 37 -
32. Abb.: I / O Karte mit Intel 8254 Pulsfrequenzgeneratoren .....	- 38 -
33. Abb.: Initialisierungsprogramm .....	- 39 -
34. Abb.: Programm "The Sky" .....	- 40 -
35. Abb.: "Stop" - Schalter S11 .....	- 41 -
36. Abb.: Aux Box Vorder- und Rückansicht .....	- 41 -
37. Abb.: Motorsteuerplatine mit GL 1200 .....	- 42 -
38. Abb.: GL 1200 .....	- 42 -
39. Abb.: Motorsteuerchassis Draufsicht .....	- 45 -
40. Abb.: Steckplatz Steuerplatinen .....	- 46 -
41. Abb.: Motorsteuerplatinen mit Netzteil .....	- 46 -
42. Abb.: Netzteil T14 .....	- 47 -
43. Abb.: Lüfter im Motor Driver Chassis .....	- 47 -
44. Abb.: Netzteil T12 .....	- 47 -
45. Abb.: Solid State Relais .....	- 48 -
46. Abb.: Platine Fokussteuerung .....	- 48 -
Projekt: DFM - Spiegelteleskop	Dokumentation – - 86 -
	M.Maas, F.Rings

47. Abb.: Platine 6 Channel Inverter .....	- 48 -
48. Abb.: Kaltgeräteanschluss .....	- 49 -
49. Abb.: Hauptklemmleiste X12 .....	- 49 -
50. Abb.: Sicherungen F10 - F14.....	- 51 -
51. Abb.: Analoge Amperemeter .....	- 51 -
52. Abb.: Spannungsversorgung T13 .....	- 52 -
53. Abb.: Platinenhalter .....	- 52 -
54. Abb.: Frontansicht der Motorsteuerung.....	- 53 -
55. Abb.: Rückansicht der Motorsteuerung.....	- 54 -
56. Abb.: Leistungsteil vor der Überarbeitung.....	- 56 -
57. Abb.: Leistungsteil nach der Überarbeitung .....	- 57 -
58. Abb.: 40W Potentiometer.....	- 59 -
59. Abb.: Netzteil .....	- 60 -
60. Abb.: Schematischer Aufbau eines Netzteiles .....	- 60 -
61. Abb.: Draufsicht Motorsteuerung Relais K1 .....	- 61 -
62. Abb.: Slot's der Motorsteuerplatinen.....	- 62 -
63. Abb.: Übersicht der Betriebsmittel im Motorsteuerungschassis.....	- 62 -
64. Abb.: Übersicht der Betriebsmittel im Motorsteuerungschassis.....	- 63 -
65. Abb.: Übersicht der Betriebsmittel im Motorsteuerungschassis.....	- 64 -
66. Abb.: Übersicht der Betriebsmittel im Motorsteuerungschassis.....	- 65 -
67. Abb.: Übersicht der Betriebsmittel im Spiegelsteuerungschassis.....	- 66 -
68. Abb.: Übersicht der Betriebsmittel im Spiegelsteuerungschassis.....	- 67 -
69. Abb.: Übersicht der Betriebsmittel im Spiegelsteuerungschassis.....	- 68 -
70. Abb.: Übersicht der Betriebsmittel im Spiegelsteuerungschassis.....	- 69 -
71. Abb.: Übersicht der Betriebsmittel im Spiegelsteuerungschassis.....	- 70 -
72. Abb.: Motorsteuerplatine .....	- 71 -
73. Abb.: Solid State Relais K1.....	- 72 -
74. Abb.: zerstörte Tantalkondensatoren.....	- 73 -
75. Abb.: Signale des Inkrementalgebers .....	- 74 -
76. Abb.: Inbetriebnahmeaufbau der Inkrementalgeber.....	- 74 -
77. Abb.: Front Panel .....	- 75 -
78. Abb.: Schematische Darstellung Anschluss der Komponenten.....	- 77 -
79. Abb.: Versuchsaufbau .....	- 77 -

## 12. Abbildungsquellen

Abb. 1: <http://www.antikes2000.de/antikscheune/divers/02/1102030/001.jpg>

Abb. 2:

[http://www.deutsches-museum.de/fileadmin/Content/Ausstellungen/Naturwissenschaft/Astronomie/Sternwarte/Goe rz\\_Teleskop\\_Ost\\_600.jpg](http://www.deutsches-museum.de/fileadmin/Content/Ausstellungen/Naturwissenschaft/Astronomie/Sternwarte/Goe rz_Teleskop_Ost_600.jpg)

Abb. 3:

<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/cf/AstroDeklinationRektazension-de.jpg>

Abb. 4: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a3/Ecliptic.svg>

Abb. 5: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/96/Sammellinse.svg>

Abb. 6: <http://arndjungermann.de/mgmplanet/plsites/plbilder/FernrohrG+K.jpg>

Abb. 7: : [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/88/Fernrohr\\_galilei.png](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/88/Fernrohr_galilei.png)

Abb. 8: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/83/Telescope-schematic-A.svg>

Abb. 9: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/6c/Exitpupil.png>

Abb. 10: [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/63/Pl%C3%B6ssl\\_Okular.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/63/Pl%C3%B6ssl_Okular.jpg)

Abb. 11: [http://stsci.de/images/kuppel\\_all.jpg](http://stsci.de/images/kuppel_all.jpg)

Abb. 12: <http://blog.planet-br.com/wp-content/uploads/2009/08/gtc-300x226.jpg>

Abb. 13: [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/28/SOFIA\\_Teleskop.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/28/SOFIA_Teleskop.jpg)

Abb.14:

[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/ac/0.6m\\_telescope\\_in\\_Ostrowik.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/ac/0.6m_telescope_in_Ostrowik.jpg)

Abb. 15: [http://blog.astroshop.de/wp-content/uploads/2010/05/gross\\_strahlengang.gif](http://blog.astroshop.de/wp-content/uploads/2010/05/gross_strahlengang.gif)

Abb. 16: [http://www.sternwarte-singen.de/bilder/newton\\_teleskop\\_vixen\\_vss1.gif](http://www.sternwarte-singen.de/bilder/newton_teleskop_vixen_vss1.gif)

Abb. 17: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/fa/Schaltnetzteil.svg>

Abb. 18: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ec/Prinzip-Netzteil.svg>

Abb. 19: <http://www.seweurodrive.de/download/pdf/11322802.pdf>

Abb. 20:

[http://img.directindustry.de/images\\_di/photo-m2/elektromotor-burstenloser-servomotor-542339.jpg](http://img.directindustry.de/images_di/photo-m2/elektromotor-burstenloser-servomotor-542339.jpg)

Abb. 21: [http://www.servotechnik.de/fachwissen/regelung/f\\_beitr\\_00\\_602.htm](http://www.servotechnik.de/fachwissen/regelung/f_beitr_00_602.htm)

Abb. 22:

[http://img.directindustry.de/images\\_di/photo-m2/elektromotor-brushless-motor-56944.jpg](http://img.directindustry.de/images_di/photo-m2/elektromotor-brushless-motor-56944.jpg)

Abb. 23:

<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/2/2a/EC-Motor.svg/800px-EC-Motor.svg.png>

Abb. 24: [http://www.et-inf.fho-empden.de/~elmalab/mechatronik/download/Mechatronik\\_4.pdf](http://www.et-inf.fho-empden.de/~elmalab/mechatronik/download/Mechatronik_4.pdf)

Abb. 25: [http://img.directindustry.de/images\\_di/photo-p/elektromotoren-ac-asynchron-servomotoren-380774.jpg](http://img.directindustry.de/images_di/photo-p/elektromotoren-ac-asynchron-servomotoren-380774.jpg)

Abb. 26: <http://shop.softwerk.at/images/1FK6042-6AF71-1TGx.jpg>

Abb. 27: <http://www.hellopro.de/images/produit-3/9/6/2/ac-servo-motoren-fur-hochdynamische-anwendungen-17269.jpg>

Abb. 28:  
<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/61/Inkrementalgeber.jpg/220px-Inkrementalgeber.jpg>

Abb. 29: [http://www.et-inf.fho-empden.de/~elmalab/mechatronik/download/Mechatronik\\_4.pdf](http://www.et-inf.fho-empden.de/~elmalab/mechatronik/download/Mechatronik_4.pdf)

Abb.30: [http://www.et-inf.fho-empden.de/~elmalab/mechatronik/download/Mechatronik\\_4.pdf](http://www.et-inf.fho-empden.de/~elmalab/mechatronik/download/Mechatronik_4.pdf)

Abb. 31: [http://www.et-inf.fho-empden.de/~elmalab/mechatronik/download/Mechatronik\\_4.pdf](http://www.et-inf.fho-empden.de/~elmalab/mechatronik/download/Mechatronik_4.pdf)

Abb. 32: [http://www.et-inf.fho-empden.de/~elmalab/mechatronik/download/Mechatronik\\_4.pdf](http://www.et-inf.fho-empden.de/~elmalab/mechatronik/download/Mechatronik_4.pdf)

Abb. 40: Datenblatt GL 1200 (Anhang)

Abb. 62: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ec/Prinzip-Netzteil.svg>

### **13. Anhangsverzeichnis**

1. GL 1200 Datenblatt .....	- 91 -
2. Positionencoder Datenblatt.....	- 95 -
3. Servomotor Datenblatt.....	- 100 -
4. Steckerliste der Motor-und Spiegelsteuerung .....	- 101 -
5. Klemmleiste des Motorsteuerchassis X12 .....	- 102 -
6. Klemmleiste des Leistungsteiles X0 .....	- 103 -
7. Klemmleiste der Spiegelsteuerung X21 .....	- 104 -
8. Lastenheft .....	- 105 -
9. Pflichtenheft .....	- 114 -
10. Messprotokoll Inbetriebnahme Motorsteuerung.....	- 124 -
11. Messprotokoll der Spiegelsteuerung .....	- 128 -
12. Messprotokoll der Leistungsteil .....	- 132 -

## 1. GL 1200 Datenblatt

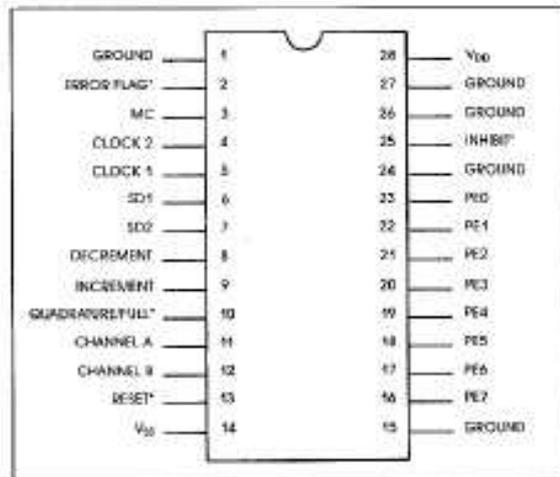


### Features

Dedicated single-chip controller for DC motors
Provides position and velocity control
Accepts feedback from an incremental encoder
Accepts input commands in pulse train format
Computes and reports position error
Operates with or without a tachometer
100,000:1 speed range
Phase-locked speed accuracy

### Applications

Step motor to servo motor conversions
Phase-locked loops

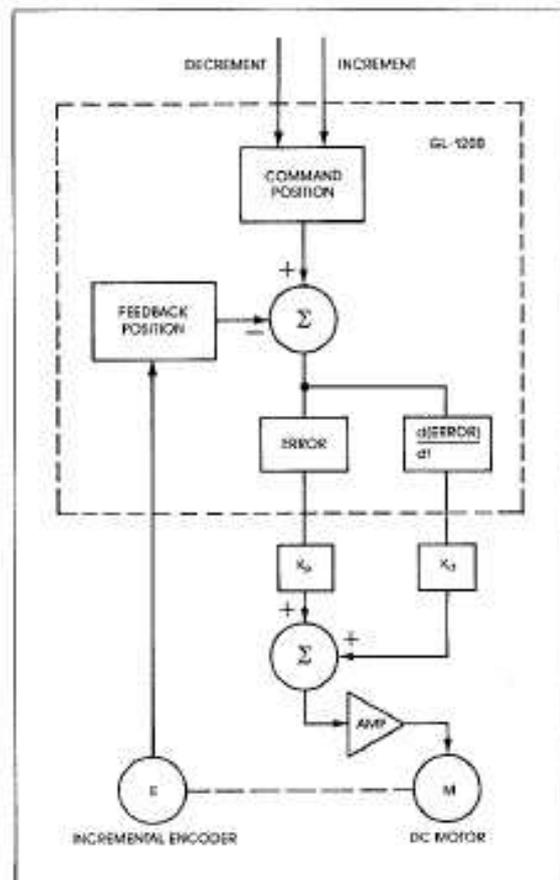


### General Description

The GL-1200 is a single-chip controller contained in a 28-pin DIP. It provides closed-loop position and velocity control of a DC motor. The control chip accepts position feedback from a two channel, incremental encoder. The position command is accepted in a pulse train format. The actual position and command position are continuously stored and updated in a 12-bit register. The GL-1200 compares the actual position with the command position to form a 12-bit position error. Eight bits of the position error are pulse-width-modulated and output for motor control. The GL-1200 also computes the derivative of the position error for damping. This eliminates the need for velocity feedback from a tachometer.

The GL-1200 outputs the pulse-width-modulated position error and derivative of the position error. These signals, which are externally summed and converted into an analog signal, are the only output signals required for precise motor control. The system gain and damping are adjustable by external resistors for optimum performance.

The GL-1200 is a pulse following device. For example, a single pulse input command will cause the motor to move one encoder count. The velocity profile of the motor is determined by the pulse input frequency. If the encoder pulses fall too far behind the command pulses, the GL-1200 provides an error output which goes low when the controller is out of its 8-bit linear range. The position error may also be continuously monitored through the 8-bit error output port.



Motion Control System

## Inputs

**Clock 1:** Connect external clock to this input. Maximum frequency is 5 MHz for GL-1200 and 10 MHz for the GL-1200-10.

**Decrement:** Decrements position command counter by one count for each rising edge on the decrement line.

**Increment:** Increments position command counter by one count for each rising edge on the increment line.

**Quadrature/Full\*:** Selects input resolution. If low, each increment or decrement pulse will move the motor four quadrature counts or one full encoder cycle. If high, each command pulse causes a motion of one quadrature count.

**Encoder:** 2 channel, quadrature encoder. TTL level. The controller performs quadrature decoding of the encoder signals (4 x encoder cycles).

**Reset\*:** Resets all position counters and tri-states the pulse-width-modulated position error output (MC).

**Inhibit\*:** Tri-states the pulse-width-modulated position error output (MC).

## Outputs

**MC:** Pulse-width-modulated position error. Must be summed with SD1 and SD2 as shown in Figure 1 to form the analog motor command signal.

**SD1, SD2:** TTL level system damping signals. Must be summed with MC as shown in Figure 1 to form the analog motor command signal.

**Position Error Port:** 8-bit position error port for monitoring position error.

**Error Flag\*:** When this signal goes low, the position error is greater than 8 bits or  $\pm 127$  counts. If the error flag is low, the GL-1200 is out of its linear range and the motor command is saturated.

**Clock 2:** If an external clock is not used, connect an LC circuit, as shown in Example 4, between Clock 1 and Clock 2.

## Control Algorithm

The control algorithm implemented is:

$$\text{Motor command} = K_p \cdot PE + K_d \cdot \frac{d}{dt} (PE)$$

Where PE is the position error and  $K_p$  and  $K_d$  are the gain and damping coefficients.

Since the GL-1200 operates off a very fast clock, the algorithm may be assumed to be implemented continuously in time. The terms  $K_p$  and  $K_d$  are adjusted for optimum performance by the resistors,  $R_{\text{damping}}$  and  $R_{\text{gain}}$ . The circuit of Figure 1 has the parameters  $K_p = 10$  volts per 128 counts and for  $R_{\text{damping}} = 26.2 \text{ K}\Omega$ ,  $K_d = 1$  volt per 10,000 counts/sec.

The velocity profile of the input command should also be adjusted such that the motor can follow the input command without the GL-1200 going into saturation.

\*Active low

## System Evaluation

To evaluate the GL-1200, it is strongly recommended that the designer use the SSV-800 control card. This card contains the GL-1200 chip and interface circuitry, in addition to several features useful for system evaluation. These features include a 60-watt linear amplifier for driving DC motors, a variable frequency oscillator for stand-alone speed control, and a step-response test for adjustment of system gain and damping.

To simplify the system stabilization process, the SSV-800 contains a built-in step response test which inputs repeated step commands to the motor. The actual analog response of the motor is observed by connecting the SSV-800 test point to an oscilloscope. The designer then adjusts the  $K_p$  and  $K_d$  values for optimum response by turning the gain and damping knobs on the SSV-800.

To drive large motors, designers can use the PIC-850 pulse-input controller card. This controller has been optimized for large motors and high-density encoders by increasing the position error range to 16 bits.

## Electrical Specifications

	Min	Typ	Max	Units	Comments
Inputs					
$I_{\text{max}}$ All Inputs		3	5	mA	TTL thresholds. High Impedance
Outputs					
$I_{\text{OL}}$ at 0.4V All (except MC)	1.6			mA	
MC	1.6			mA	Tri-state outputs
AC Timing (GL-1200)					
$t_r$ CLK1 Input Frequency			5.1	MHz	
$t_r$ Max Encoder Frequency			75 300	kHz kHz	Full cycles† Quadrature counts†
$t_r$ Input Command Frequency			75 300	kHz kHz	Full cycles† Quadrature counts†
$t_{\text{rise}}$ Input Pulse Width	6.4 1.6			$\mu\text{sec}$ $\mu\text{sec}$	Full cycles† Quadrature counts†
Encoder Duty Cycle	25	50	75	%	
AC Timing (GL-1200-10)					
$t_r$			10	MHz	
$t_r$			150 600	kHz kHz	Full cycles† Quadrature counts†
$t_r$			150 600	kHz kHz	Full cycles† Quadrature counts†
$t_{\text{rise}}$	3.2 8			$\mu\text{sec}$ $\mu\text{sec}$	Full cycles† Quadrature counts†

†Maximum value of  $t_r$ ,  $t_{\text{rise}}$  are scaled by the clock frequency,  $f_c$ .

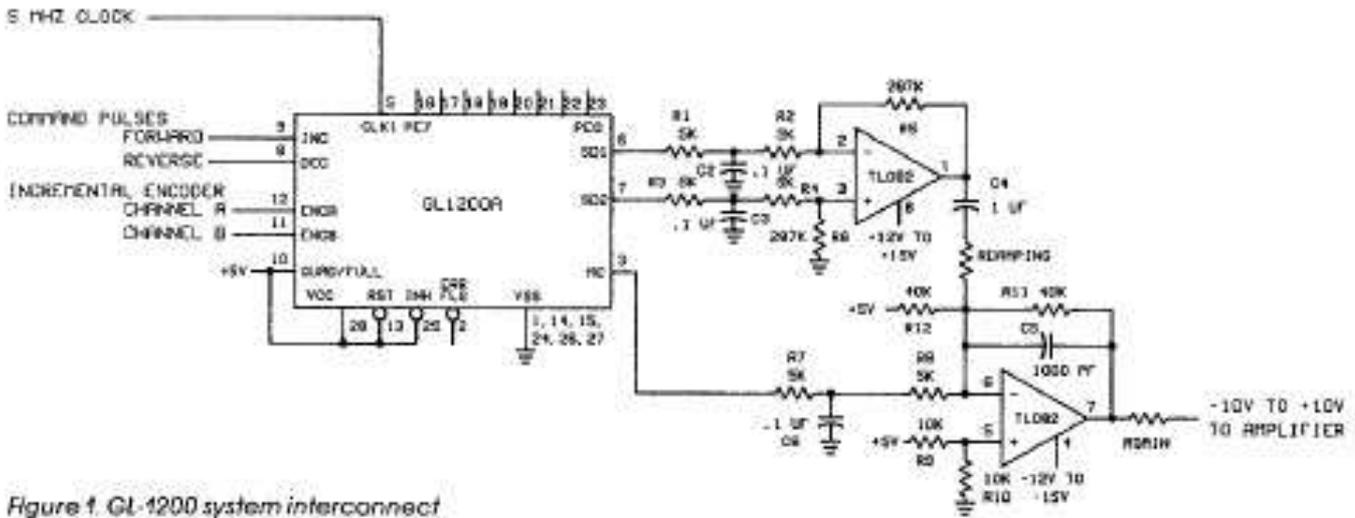


Figure 1. GL-1200 system interconnect

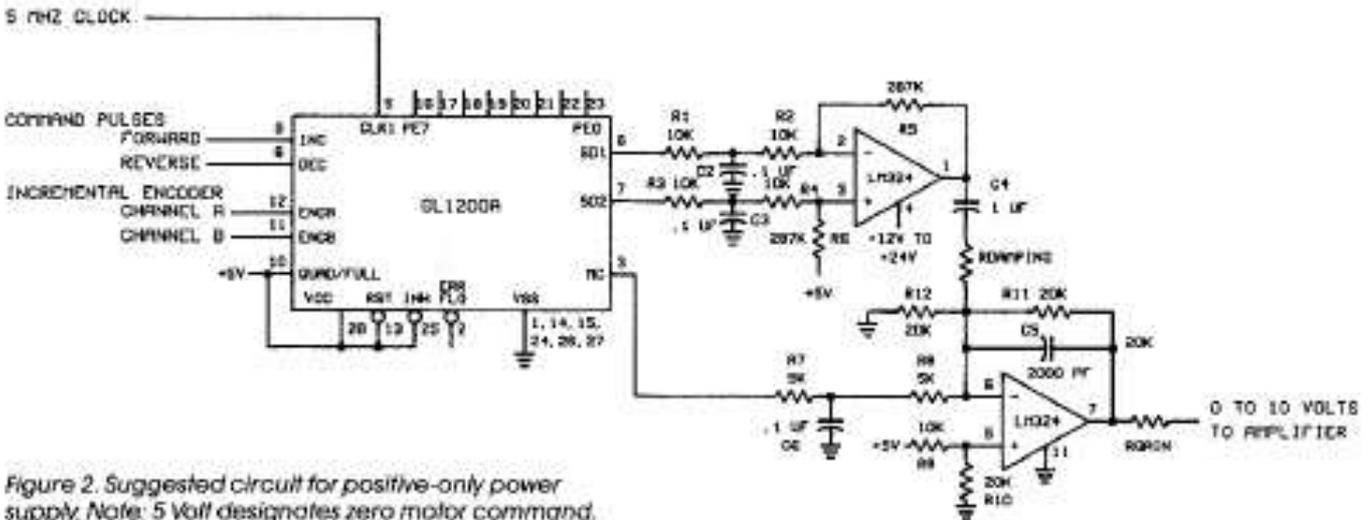


Figure 2. Suggested circuit for positive-only power supply. Note: 5 Volt designates zero motor command.

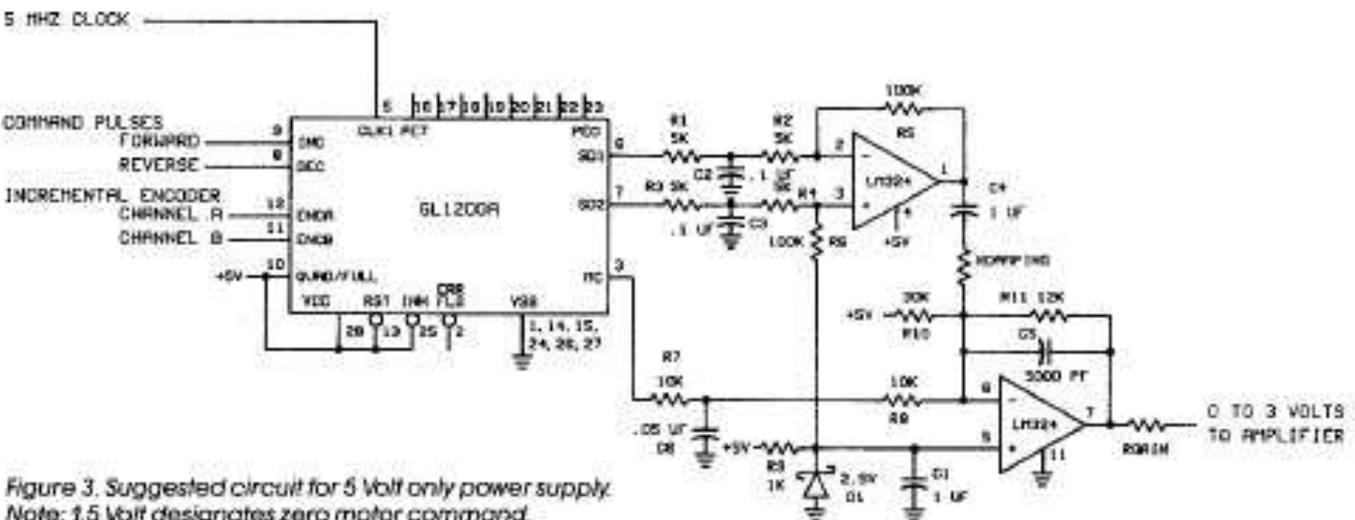
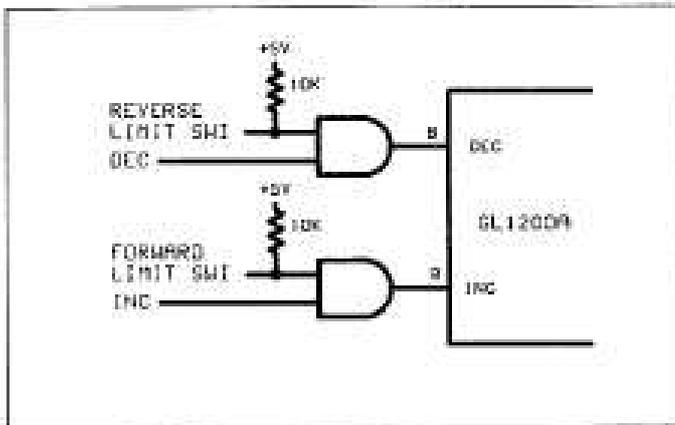


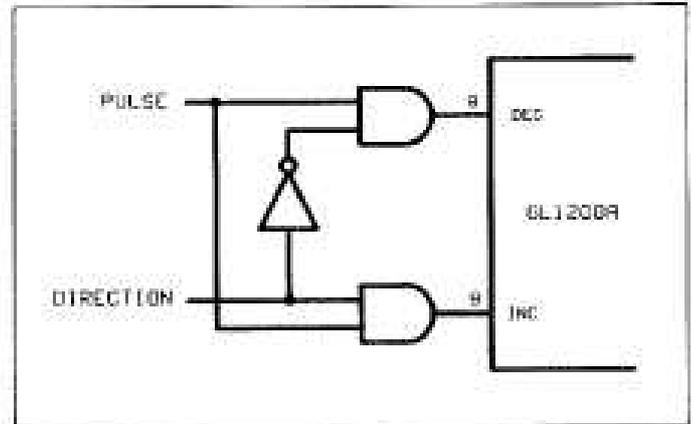
Figure 3. Suggested circuit for 5 Volt only power supply. Note: 1.5 Volt designates zero motor command.

## Example Applications



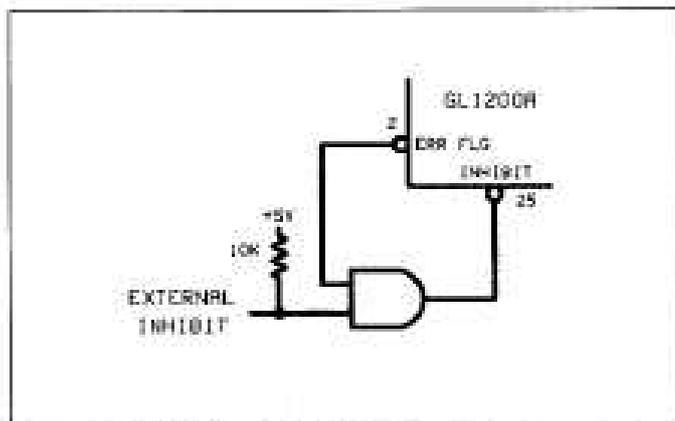
Example 1. Use of Limit Switches

This circuit shows how limit switches may be used to prevent motion in the forward or reverse direction.



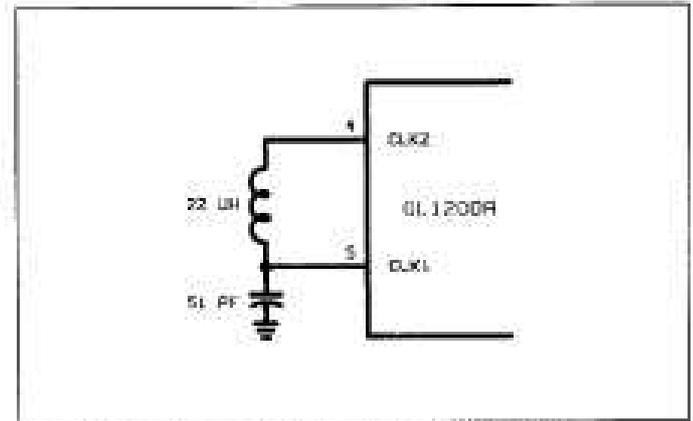
Example 3. Using Pulse and Direction Input Commands

This circuit shows how pulse and direction input commands may be converted into DEC and INC inputs.



Example 2. Using the Inhibit and Error Flag

If either an external inhibit signal or the Error Flag (position error > ± 127 counts) goes low, the Inhibit pin will go low causing the MC output to be disabled.



Example 4. Using an LC Circuit for 5 MHz Clock

### Ordering Information

Part Number	Description
GL-1200	Pulse Input chip, 5 MHz clock
GL-1200-10	Pulse Input chip, 10 MHz clock
SSV-800	Pulse Input trainer card
PC-850	High Resolution Pulse Input Card

Gallil Motion Control reserves the right to make changes in this data sheet without prior written notification.

## GALIL

Gallil Motion Control, Inc.  
1054 Etwell Court  
Palo Alto, CA 94303  
Telephone: (415) 964-6494  
Telex: 171-409  
FAX: (415) 964-0426

Rev(1-88)

## 2. Positionencoder Datenblatt

# BEI Model H25 Incremental Encoder

### Mechanical Specifications

**Shaft Diameter:** 3/8" (1/2" as special feature)  
**Flat On Shaft:** 3/8" Shaft: 0.80 long X 0.03" deep;  
 1/2" Shaft: 0.80 long X 0.04" deep  
**Shaft Loading:** 3/8" shaft: up to 40 pounds axial and 35 pounds radial; 1/2" shaft: up to 90 pounds axial and 90 pounds radial  
**Shaft Runout:** 0.0005 T.I.R. at midpoint regardless of shaft diameter  
**Starting Torque at 25°C:** Without shaft seal 1.0 in-oz (max); With shaft seal 2.5 in-oz (max); 1/2" shaft with shaft seal: 3.5 in-oz (max)  
**Bearings:** Class ABEC 7 standard, ABEC 5 for 1/2" shaft  
**Shaft Material:** 416 stainless steel  
**Bearing Housing:** Die cast aluminum with indite finish; stainless steel (special feature)  
**Cover:** Die cast aluminum; stainless steel (special feature)  
**Bearing Life:** 2 X 10<sup>8</sup> revs (1,300 hrs at 2500 RPM) at rated load; 1 X 10<sup>10</sup> revs (67,000 hrs at 2500 RPM) at 10% of rated load  
**Maximum RPM:** 12,000 RPM nominal, 8000 RPM with 1/2" shaft (see Frequency Response, below); 30,000 RPM available on units with 3/8" shaft - consult with factory  
**Moment of Inertia:** 4.1 X 10<sup>-4</sup> oz-in-sec<sup>2</sup>; 5.2 X 10<sup>-4</sup> oz-in-sec<sup>2</sup> with 1/2" shaft  
**Weight:** 13 oz typical, 14.5 oz typical with 1/2" shaft

### Electrical Specifications

**Code:** Incremental  
**Output Format:** 2 channels in quadrature, 1/2 cycle index gated with negative B channel  
**Cycles Per Shaft Turn:** 1 to 72,000 (see table 2) for resolutions above 3,600 see interpolation options on pages 32 and 33  
**Supply Voltage:** 5 to 28 VDC available  
**Current Requirements:** 100 mA typical + output load, 250 mA (max)  
**Voltage/Output:** (see note 5)  
 15V/N: Line Driver, 5-15 VDC in, V<sub>out</sub> = V<sub>in</sub>  
 28V/N: Line Driver, 5-28 VDC in, V<sub>out</sub> = V<sub>in</sub>  
 28V/I: Line Driver, 5-28 VDC in, V<sub>out</sub> = 5 VDC  
 28V/OC: Open Collector, 5-28 VDC in, OC<sub>out</sub>  
**Protection Level:** Reverse, overvoltage and output short circuit (see note 5)  
**Frequency Response:** 100 kHz, up to 1 MHz with interpolation option (see note 7)  
**Output Terminations:** (See table 1, page 51)  
**Note:** Consult factory for other electrical options

### Environmental Specifications

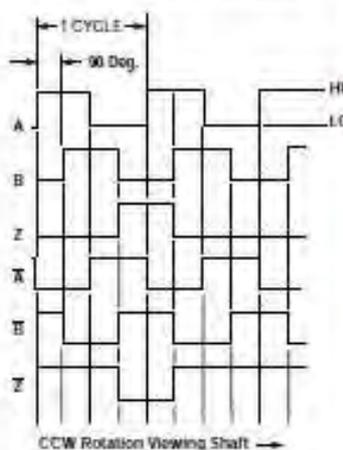
**Enclosure Rating:** NEMA 4 & 13 (IP 66) when ordered with shaft seal (on units with an MS connector) or a cable gland (on units with cable termination)  
**Temperature:** Operating: 0° to 70° C; extended temperature testing available (see note 8); Storage: -25° to 90° C unless extended temperature option called out  
**Shock:** 50 g's for 11 msec duration  
**Vibration:** 5 to 2000 Hz @ 20 g's  
**Humidity:** 98% RH without condensation

**NOTES & TABLES:** All notes and tables referred to in the text can be found on pages 50 and 51.



The H25 is the flagship of the BEI Industrial Encoder Division product line. It was designed from the ground up for the industrial machine tool marketplace. The H25 offers features such as EMI shielding, 40 lb. ABEC 7 bearings, matched thermal coefficients on critical components, and custom high-efficiency optics. The encoder meets NEMA 4 and 13 requirements when ordered with the shaft seal. Typical applications include machine control, process control, the wood processing industry, oil well logging, industrial weighing, agricultural machinery, textile equipment, web process control, robotics, and food processing.

Figure 1 Output Waveform



### Certifications

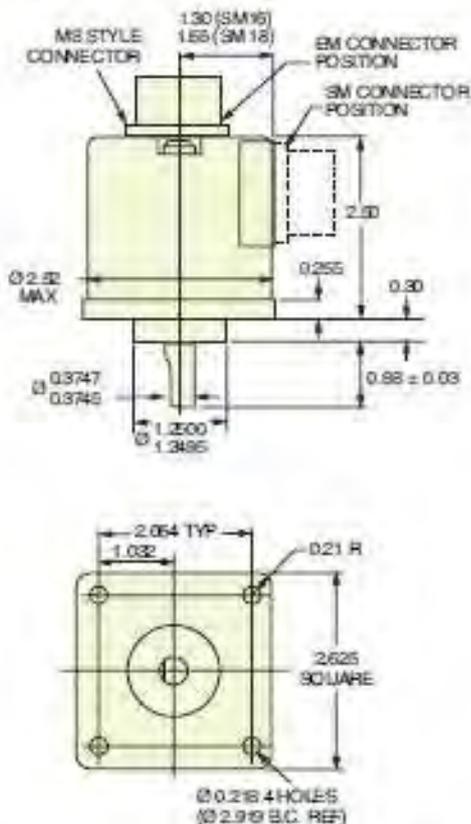
The H25 Incremental Encoder is available with the following certifications:

-  EN 59011 and EN 61000-6-2
-  CENELEC EEX ia IIC T4
-  U.S. Standards Class I, Group A, B, C & D; Class II Group E, F & G
-  Canadian Standards Class I, Zone 0, Group IC
-  CSA Class I, Div 1 Group C&D

See Regulatory Information on pages 47-48 for further certification details.

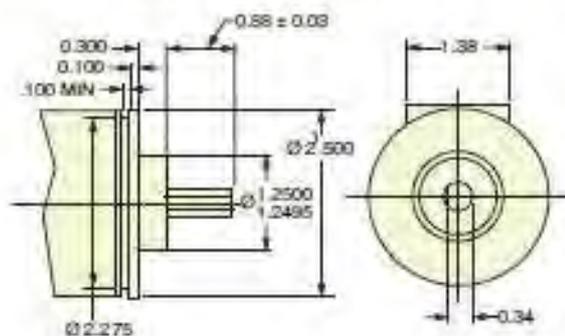
# Incremental Encoders

H25D - Square Flange

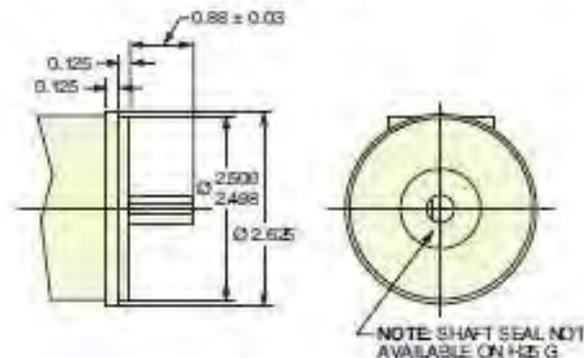


TOLERANCES: .XX = ±0.01, .XXX = ±0.005

H25E - 2.50 Servo Mount



H25G - 2.62 Dia Servo Mount



Optional Face Mounts



## H25 Incremental Ordering Options

FOR ASSISTANCE CALL 800-350-2727

Use this diagram, working from left to right to construct your model number (example: H25D-SS-2000-ABZC-28V/V-SM18).

All notes and tables referred to can be found on pages 50-51.



**EXPRESS ENCODERS\*** Items highlighted with    are standard Express Encoders and ship in one to three days.

TZ and TS options are available as standard H25 Express Encoders. See page 32-33.

# Notes and Tables

1. Mounting is usually done either using the D-style square flange mount, E- or G-style servo mounts, or one of the standard face mounts, F1 for example. Consult factory for additional face mount options.
2. The shaft seal is recommended in virtually all installations. The most common exceptions are applications requiring a very low starting torque or those requiring operation at both high temperature and high speed.
3. Non-standard index widths and multiple indices are available by special order. Consult factory.
4. Complementary outputs are recommended for use with line driver type (source/sink) outputs. When used with differential receivers, this combination provides a high degree of noise immunity.

## 5. Output IC's

Output IC's are available as either Line Driver (LD) or NPN Open Collector (OC) types. Open Collectors require pull-up resistors, resulting in higher output source impedance (sink impedance is similar to that of line drivers). In general, use of a Line Driver style output is recommended. Line Drivers source or sink current and their lower impedance mean better noise immunity and faster switching times. **Warning:** Do not connect any line driver outputs directly to circuit common/GV. These may damage the driver. Unused outputs should be isolated and left floating. Our applications specialists would be pleased to discuss your system requirements and the compatibility of your receiving electronics with Line Driver type outputs.

### 28V/V

Multi-voltage Line Driver (7272\*): 100 mA source/sink. Input voltage 5 to 28 VDC +/- 5% standard (Note:  $V_{out} = V_{in}$ ). This driver is TTL compatible when used with 5 volt supply. Supply lines are protected against overvoltage to 60 volts and reverse voltage. Outputs are short circuit protected for one minute. Supply current is 120 mA typical (plus load current). This is the recommended replacement for 3904R and 7406R open collector outputs with internal pullup resistors. It is also a direct replacement for any 4469, 88C30, 8830 or 26LS31 line driver

### 28V/5

Multi-voltage Line Driver (7272\*): 100 mA source/sink. Input voltage 5 to 28 VDC +/- 5% standard, internally regulated with 5V (TTL compatible) logic out. Supply lines are protected against overvoltage to 60 volts and reverse voltage. Outputs are short circuit protected for one minute. Supply current is 90 mA typical (plus load current).

\* Products manufactured prior to April 2007 used the line driver IC number instead of voltage output in model number.

## 15V/V

Multi-voltage Line Driver (4469\*): 100 mA source/sink. Input voltage 5 to 15 VDC +/- 5% standard (Note:  $V_{out} = V_{in}$ ). TTL compatible when used with 5 volt. Supply lines are protected against overvoltage to 60 volts and reverse voltage. Outputs are short circuit protected for one minute. Supply current is 90 mA typical (plus load current). This is a direct replacement for the 4469 Line Driver.

## 28V/OC

NPN Open Collector (3904\*, 7273\*). Current sink of 80 mA max. Current sourced by external pull-up resistor. Output can be pulled up to voltage other than supply voltage (30 V max). Input voltage 5 to 28 VDC +/- 5% standard. Supply current is 120 mA typical. This replaces prior IC's with designations of 3904, 7406, 3302, 681 and 689.

## 5V/OCR, 15V/OCR, 24V/OCR

Open Collector (3904R\*, 7406R\*, 7273R\*): Current sink of 70 mA max. Includes internal pull-ups sized at approximately 100 ohms/volt. Max current source is 10 mA. Supply current is 100 mA typical, 120 mA with internal pull-ups. The 5V/OCR, 15V/OCR and 24V/OCR are often replaced by the 28V/V in system upgrades.

## 3904, 3904R, 4469, 5V/V, 5V/OC, 5V/OCR, 9V/OC

Intrinsically safe line driver and open collector outputs. These drivers are specific to intrinsically safe encoders, and are installed per the appropriate control drawings listed in Table 2.1 on page 48.

6. Special -S at the end of the model number is used to define a variety of non-standard features such as special shaft lengths, voltage options, or special testing. Please consult the factory to discuss your special requirements.
7. Higher frequency response may be available. Please consult with the factory.
8. Extended temperature ratings are available in the following ranges: -40 to 70°C, -40 to 85°C, -20 to 105°C and -40 to 105°C depending on the particular model. Extended temperature ranges can affect other performance factors. Consult with factory for more specific information.
9. Making straight plug receptacles may be ordered from the factory:

For M12 use MS3116F12-10S  
For M14 use MS3106F14S-E5  
For M14/19 use MS3116J14-19S  
For M16 use MS3106F16S-1S  
For M18 use MS3106F18-1S  
For M20 use MS3106F20-20S

For additional Accessories refer to page 46.  
For standard pinouts, refer to the facing page.

**Table 1: Incremental Output Terminations**

The connector style will determine pinouts. For example, an encoder with ABC channels and an M18 connector uses the table to the right.

M14 CONNECTOR	M16 CONNECTOR	CHANNELS DESIGNATED IN MODEL NO.	
PIN	PIN	ABZ	ABC
E	A	A	A
D	B	B	B
C	C	Z	$\overline{A}$
B	D	+V (SUPPLY VOLTAGE)	
F	E	—	$\overline{B}$
A	F	0 V (CIRCUIT COMMON)	
	G	CASE GROUND (CG) (except H20)	

M18 CONNECTOR	
PIN	CHANNEL
A	A
B	B
C	Z
D	+V
E	—
F	0V
G	CG
H	$\overline{A}$
I	$\overline{B}$
J	$\overline{Z}$

WIRE COLOR (22AWG)	DA 15P CONNECTOR	CHANNELS DESIGNATED IN MODEL NO.		
		ABZ	ABC	ABZC
YEL	13	A	A	A
BLU	14	B	B	B
GRN	15	Z	—	Z
W-Yel	10	—	$\overline{A}$	$\overline{A}$
W-Blu	11	—	$\overline{B}$	$\overline{B}$
W-Grn	12	—	—	$\overline{Z}$
RED	6	+V (SUPPLY VOLTAGE)		
BLK	1	0 V (CIRCUIT COMMON)		
GRN	9	CASE GROUND (CG) (except H20)		
WHITE		SHIELD DRAIN (Shielded Cable Only)		

M12 CONNECTOR	
PIN	CHANNEL
A	A
B	B
C	Z
D	+V
E	—
F	0V
G	CG
H	$\overline{A}$
J	B
K	$\overline{Z}$

**Table 2: Disc Resolutions for Incremental Encoder Models H25, H38, H40, L25, E25**

Resolutions highlighted with    are available as standard **Model H25 EXPRESS ENCODERS™** that ship in one to three days.

1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 10, 13, 16, 20, 24, 25, 26, 30, 32, 33, 34, 36, 37, 40, 45, 48, 50, 51, 56\*, 60, 64, 66, 72, 75, 80, 86, 88, 90, 100, 102, 120, 122, 125, 127, 128, 132, 144, 148, 150, 158, 160, 175, 176, 180, 187, 192, 200, 202, 204\*, 217, 220, 240, 250, 254, 255, 256, 264\*, 274, 280, 283, 288, 292, 300, 312, 320, 321, 325, 360, 366, 372, 375, 377, 380, 381, 384, 385, 393, 400, 430, 432, 450, 462, 480, 490, 500, 502, 508, 512, 522, 530, 550, 560\*, 576, 590, 600, 604, 625, 628, 635, 638, 640, 660, 672, 676, 680, 687, 690, 700, 720, 775, 735, 740, 744, 748, 750, 762, 768, 780, 785, 800, 812, 825, 850, 864, 878, 888, 900, 912, 914, 938, 942, 955, 960, 1000, 1016, 1024, 1030, 1035, 1036, 1040, 1054, 1056, 1074, 1076, 1080, 1088, 1100, 1101, 1125, 1136, 1200, 1237, 1250, 1257, 1270, 1290, 1300, 1314, 1332, 1333, 1390, 1400, 1414, 1427, 1440, 1484, 1500, 1562, 1570, 1596, 1600, 1650, 1666, 1718, 1745, 1774, 1800, 1840\*, 1850, 1855, 1875, 1894, 1920, 1952, 1968, 1979, 1995, 2000, 2048, 2080, 2094, 2100, 2160, 2164, 2199, 2200, 2250, 2356, 2400, 2485, 2500, 2514, 2519, 2540, 3000, 3125, 3600, 4000, 4096, 5000

\*AB or ABC output only. NOTE: Resolutions up to 72,000 are available.

For Model H20 Resolutions See Table A on Page 18.

For Model HS35 Resolutions See Table A on Page 23.

For Model HS25 Resolutions See Table A on Page 20.

For Model L15 Resolutions See Table A on Page 31.

For Model HS45 Resolutions See "Cycles per Turn" in Ordering Information.

**924-50283**

NEXT ASSY	USED ON	LTR	REVISION	DATE																																	
01005-570																																					
<p>01005-445A 01005-642 01005-700 01005-646 01005-712 01005-333A 01005-732 01005-572 01005-994</p> <p>A LEADS B CCW INTERPOLATION M2 OR M5 TRIGGER LEADS OMITTED CONNECTOR MS3102R16S-1P</p>																																					
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>CONN PIN</th> <th>FUNCTION</th> <th>INTERNAL PCB TERM / COLOR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>CHANNEL A</td> <td>YEL</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>CHANNEL B</td> <td>BLUE</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>CHANNEL <math>\bar{A}</math></td> <td>W / YEL</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>+ V</td> <td>RED</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>CHANNEL <math>\bar{B}</math></td> <td>W / BLUE</td> </tr> <tr> <td>F</td> <td>GROUND</td> <td>BLACK</td> </tr> <tr> <td>G</td> <td>CASE GROUND</td> <td>GREEN</td> </tr> <tr> <td>H</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>I</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>J</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			CONN PIN	FUNCTION	INTERNAL PCB TERM / COLOR	A	CHANNEL A	YEL	B	CHANNEL B	BLUE	C	CHANNEL $\bar{A}$	W / YEL	D	+ V	RED	E	CHANNEL $\bar{B}$	W / BLUE	F	GROUND	BLACK	G	CASE GROUND	GREEN	H			I			J		
CONN PIN	FUNCTION	INTERNAL PCB TERM / COLOR																																			
A	CHANNEL A	YEL																																			
B	CHANNEL B	BLUE																																			
C	CHANNEL $\bar{A}$	W / YEL																																			
D	+ V	RED																																			
E	CHANNEL $\bar{B}$	W / BLUE																																			
F	GROUND	BLACK																																			
G	CASE GROUND	GREEN																																			
H																																					
I																																					
J																																					
<p>DIMENSIONS ARE IN INCHES TOLERANCES .XX = ±0.1 .XXX = ±0.05 ANGLES ± 1/2°</p> <p>✓</p>		<p>DWG DRM 8/83</p> <p>ENG <i>[Signature]</i> 7/30/91</p>	<p><b>BEI MOTION SYSTEMS COMPANY</b> Industrial Encoder Division 7230 HOLLISTER AVENUE, GOLETA, CA 93117-2891 (805)968-0782 FAX (805)968-3154</p>																																		
MATERIAL		<p><b>DEVIATION ORDER</b> M2 OR M5-ABC-M16</p>																																			
FINISH	SCALE	CODE IDENT <b>12050</b>	DWG NO. <b>924-50283</b>	REV																																	



#### 4. Steckerliste der Motor-und Spiegelsteuerung

<u>Einschub</u>	<u>Name Anschluss</u>	<u>Steckerart</u>	<u>Polzzahl</u>	<u>genutzte Polzahl</u>	<u>Schrim</u>
<b><u>Motor Steuerung</u></b>	RA MTR Encoder	Stecker	9	9	X
	RA Motor	Stecker	9	5	X
	Auto Guider	Stecker	9	6	O
	DEC MRT Encoder	Stecker	9	9	X
	DEC Motor	Stecker	9	5	X
	Dome Control	Stecker	9	4	O
	Fronnd Panel	Buchse	9	5	O
	Focus Motos	Buchse	14	12	O
	Computer	Stecker	37	37	O
	J2	Buchse	14	14	O
	Limits	Stecker	16	10	O
	Paddle	Buchse	14	12	O
	Dome Panel	Stecker	9	5	O
<b><u>Spiegel Steuerung</u></b>	Door 1	Stecker	9	7	O
	Door 2	Stecker	9	7	O
	Door 3	Stecker	9	7	O
	Door 4	Stecker	9	7	O
	P1	Stecker	16	14	O
	Mirros Supports	Stecker	16	16	O
	Fronnd Panel	Stecker	2	4	O

## 5. Klemmleiste des Motorsteuerchassis X12

<u>Betriebsmittel</u>	<u>Brücke</u>	<u>Klemmennummer</u>	<u>Brücke</u>	<u>Betriebsmittel</u>	
Masse DOME PANEL		1		RA/DEC Motor	Masse 5-24VDC
Masse K1		2		Front Panel / Focus Motor	
PE/Masse Zuleitung		3		2xPaddle/ 1x Comp.	
Masse A13		4		2xMasse Comp.	
Masse A12		5		2xMasse Comp./ 1 Masse LIMITS	
Masse S12 (Beleuchtung)		6		TCS Masse	
-		7		T12/T14 Masse	
-		8		5V T14/RA Enc./DEC Enc.	
24VDC DOME PANEL		9		2x5V Comp./	
24V S12 (Beleuchtung)		10		-	
5VDC A13		11		24V T12	
5VDC T13/ LED FRONT		12		P1	
24VDC A10		13		-	
Zuleitung N		14		TCS +	
T13 N		15		T12/T14 N	
-		16		T11 N	
-		17		M10 N	
Zleitung K11		18		Zuleitung M10	
Zuleitung S11		19		-	
		20		Zuleitung T12-T14	

## 6. Klemmleiste des Leistungsteiles X0

Betriebsmittel	Klemme			Betriebsmittel	Klemme
Zuleitung	PE	PE	PE		
	L1	L1	L1	F1 / F2	1
	N	N	N	F1 / F2	2
-	-	PE	PE	X1 / X2	
Trafo T1	4	1L1	1L1		1
	3	N1	N1		2
-	-	PE	PE	frei	-
Trafo T2	4	1L2	1L2		-
	3	N2	N2		-
Reserve	-	Re1	Re1	Reserve	-
	-	Re2	Re2		-
	-	Re3	Re3		-
	-	Re4	Re4		-
	-	Re5	Re5		-

## 7. Klemmleiste der Spiegelsteuerung X21

Betriebsmittel	Brücke	Klemmennummer		Brücke	Betriebsmittel
T20 S-		1	1		P1
T22 B		2	2		T23 S-
A21		3	3		PE Chassi
-		4	4		K21 / K22
T22A S-		5	5		-
T22A S-		6	6		A20
P1 / T20 +out		7	7		A20 / Relais
-		8	8		-
T22A +out		9	9		P1
T22A S-		10	10		P1
-		11	11		-
T22A +out		12	12		P1
-		13	13		-
-		14	14		-
L1 T20		15	15		L1 M20 / T23
L1 T22		16	16		-
L1		17	17		L1 Relais
-		18	18		-
-		19	19		L1 T22B
N T22A		20	20		N T22B

## 8. Lastenheft

### Einführung in das Projekt

Seit 1999 existiert in Waldbröl-Schnörringen ein astronomisches Observatorium – das SCHNÖRRINGEN TELESCOPE SCIENCE INSTITUTE (STScI). Diese Beobachtungsstation wurde von dem Atmosphärenphysiker Dr. Klaus Vollmann und dem Astrophysiker Dr. Thomas Eversberg gegründet. Das STScI hat eine anspruchsvolle Instrumentenausstattung sowie einen Kontrollraum mit kompletter Rechnerausstattung. Darüber hinaus ist eine mechanische Werkstatt mit Fräse und Drehbank vorhanden. Hintergrund dieses Observatoriums ist die frühere Forschungstätigkeit der Initiatoren. Der Schwerpunkt der aktuellen Arbeit liegt in der spektroskopischen Analyse massereicher Sterne. Diese erfolgt in Zusammenarbeit mit der internationalen Forschungsgemeinschaft

Im Sommer 2008 haben Vollmann und Eversberg für 40.000 Euro ein schweres Teleskop von 1.2 Tonnen Gewicht und einem Spiegeldurchmesser von 80cm erworben, welches bisher von der LUDWIG-MAXIMILIAN-UNIVERSITÄT München als Hauptinstrument für die astronomische Forschung in den Alpen betrieben und nun außer Dienst gestellt wurde. Das Gerät ist eines der zehn größten astronomischen Teleskope in Deutschland und der Wiederbeschaffungswert beträgt etwa 650.000 US\$.

Die Betreiber des STScI sowie ein Kreis von Unterstützern haben die Initiative zur Förderung der wissenschaftlichen Arbeit am STScI ergriffen. Der 2009 gegründete gemeinnützige "Initiativkreis STScI e.V." wird das Institut bei der wissenschaftlichen Arbeit und der Förderung des Nachwuchses unterstützen und potenzielle Förderer für den zwingend notwendigen instrumentellen Ausbau zu gewinnen versuchen.

Mehrere Institute weltweit haben ihr Wohlwollen für unser Projekt ausgedrückt. Darunter das Forschungszentrum Jülich, das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt, die University of Hawaii (USA), die Université de Montréal (Kanada), die Ludwig-Maximilian-Universität München sowie das Instituto Astrofisico de La Laguna auf Teneriffa (Spanien). Die Stadt Waldbröl hat ebenfalls ihre Unterstützung zugesagt. Weitere Informationen finden sich auf der Webseite des Initiativkreises [www.derblicknachvorn.de](http://www.derblicknachvorn.de).

Aktuell ist der Bau einer umfangreichen Sternwarte in Waldbröl geplant, in der das 80cm Teleskop installiert werden soll. Der entsprechende Bauantrag wurde im September 2010 vom Oberbergischen Kreis in Gummersbach genehmigt (siehe auch [www.stsci.de](http://www.stsci.de)).

Das Teleskop soll nach der Installation in dem geplanten Kuppelgebäude mit einem Echelle-Spektrometer ausgestattet werden und insbesondere Himmelsobjekte untersuchen, die von Großteleskopen aus organisatorischen Gründen nur schwer zugänglich sind. Dazu gehören z.B. variable, massereiche Sterne deren Perioden relativ lang sind, daher Wochen oder Monate beobachtet werden müssen und für Großforschungseinrichtungen mit begrenzten Beobachtungsnächten pro Antragsteller aus diesen Gründen nicht geeignet sind.

An den geplanten Beobachtungsprogrammen sollen vor allen Dingen Schulen und Universitäten beteiligt werden. Studenten der Astronomie können das Teleskop als Übungsteleskop nutzen, oder in Diplomarbeiten gebaute Messgeräte austesten ohne dafür z.B. zu Forschungseinrichtungen nach Chile oder anderen Plätzen zu reisen. Lehrer können mit Schülergruppen astronomische Projekte im Physikunterricht oder Astro-AG's planen und daran anschließend am Teleskop arbeiten. Die Betreiber des STScl haben im Vorfeld mit Vertretern der umliegenden Universitäten, Fachhochschulen und den benachbarten Schulen Kontakt aufgenommen und entsprechende Kooperationsvereinbarungen getroffen.

### 1.1 Veranlassung

Bei der ersten Besichtigung des Instrumentes 2008 auf dem Wendelstein wurde von den Betreibern der Universität München der Hinweis gegeben, dass die inzwischen 22 Jahre alte Elektronik nicht zu allen Zeitpunkten zuverlässig arbeitet und überholungsbedürftig ist. Unglücklicherweise mussten, aufgrund der räumlichen Verhältnisse in der Beobachtungsstation und der festen Installation des Kabelbaums, vor dem Rückbau des Teleskops nicht nur alle Kabelstränge vollständig entfernt, sondern auch alle Verbindungskabel zu den Antriebsmotoren und Steuerplatinen vor den Steckern durchtrennt werden. Der ursprüngliche Kabelbaum wurde entsorgt.

Bisher wurden von den neuen Besitzern keinerlei Vortests durchgeführt, um die Steuerelektronik auf prinzipielle Funktion zu testen.

Bei einer Anfrage an den Hersteller des Instrumentes, die Elektronik durch eine moderne Steuerung zu ersetzen, wurde von DFM Engineering der Vorschlag unterbreitet die vorhandene Elektronik aufgrund ihrer Robustheit zu überholen. Aus dieser Information entstand die Idee die Überholung von Technikerschülern in ihrer praktischen Abschlussarbeit selbständig durchzuführen.

## 1.2 Zielsetzung

Die Zielsetzung der Arbeiten ist die vollständige Überprüfung und wenn notwendig die Instandsetzung der Steuerelektronik. Außerdem sollen sehr alte oder für heutige Anforderungen ungeeignete Komponenten gegen neue ausgetauscht werden.

## 1.3 Projektumfeld (Benutzerumfeld)

Als Auftraggeber tritt das STScI SCHNÖRRINGEN TELESCOPE SCIENCE INSTITUTE auf.

Als Ansprechpartner seitens des STScI's sind folgenden Personen zu nennen:

Dr. Klaus Vollmann (Ansprechpartner des STScI)

Ringweg 7

51545 Waldbröl

Tel: 02291/926935

Email: Klaus.Vollmann@stsci.de

Dr. Thomas Eversberg

Am Kielshof 21a

51105 Köln

Email: Thomas.Eversberg@stsci.de

#### 1.4 Wesentliche Aufgaben

Die wichtigste Aufgabe ist die Überprüfung und Inbetriebnahme der Elektronik und deren Dokumentation. Aktuell existiert ausschließlich eine Dokumentation der Steuerelektronik in Form von Schaltplänen. Das Projektteam soll für die Betreiber des Teleskops die vorhandenen Dokumentationslücke in Form einer ausreichenden Beschreibung füllen.

#### 1.5 Eckdaten für das Projekt

Die Elektronik sowie wichtige Funktionskomponenten wie Motoren und Inkrementalgeber werden den Schülern gegen eine Übergabequittung zur Verfügung gestellt. Außerdem ist vom Hersteller des Teleskops (DFM Engineering, Colorado/USA <http://www.dfmengineering.com>) die komplette Elektronik in Form von Schaltplänen vorhanden, die bereits übergeben wurde.

##### 1.5.1 Termine

01.02.2011 bis 13.03.2011	Erstellung des Pflichtenheftes
14.03.2011	Projektbesprechung mit dem Ansprechpartner des Carl-Reuther-Berufskollegs (Herrn Kampen) und dem Ansprechpartner (Dr. Klaus Vollmann).
15.03.2011 bis 30.03.2011	Planungsphase
01.04.2011 bis 31.12.2011	Praktische Umsetzung der Projektarbeit
Januar 2012	Projektpräsentation

Für die Bearbeitung der Projektarbeit steht ein Zeitrahmen von 4 Stunden pro Woche zur Verfügung.

## 1.5.2 Kostenrahmen

Bei der Überprüfung und Instandsetzung werden naturgemäß Kosten entstehen, die vom Initiativkreis STScl e.V. übernommen werden. Falls das Projektteam auf eigene Initiative notwendiges Material einkauft, können die entstandenen Kosten gegen Vorlage einer Rechnung erstattet werden. Alle notwendigen Anschaffungen sollten vorher mit den Auftraggebern besprochen werden.

## 2. Beschreibung der Ausgangssituation (Istzustand)

Die Elektronik ist ungetestet und die Auftraggeber sind nicht über den aktuellen Funktionszustand informiert. Kabelverbindungen zwischen Steuerelektronik und den Antriebsmotoren, Encodern bzw. Sensoren sind nicht vorhanden und müssen für die Inbetriebnahme hergestellt werden.

### 2.1 Technischer Prozess

Das Steuergerät des Teleskops umfasst folgende Baugruppen bzw. Bereiche:

- Spannungswandler 110 auf 220 Volt
- 2-Achsen-Antrieb des Teleskops mit Servomotoren / Inkrementalgebern
- Motoren für Spiegelklappen
- Steuerelektronik für die Luftsackpumpe
- Prüfelektronik des Teleskop-Elevationswinkels
- Handsteuerung des Teleskops
- Ansteuerung des Sekundärspiegels zwecks Fokussierung
- Ansteuerung des GAM-Schrittmotors

Für die beiden Achsen (Rektaszensions- und Deklinationsachse) werden jeweils ein Servomotor und ein Inkrementalgeber verwendet.

Zur Verstellung des Sekundärspiegels und damit zur Fokussierung des Gesamtsystems wird ein Schrittmotor + Inkrementalgeber verwendet.

Die vier Spiegelklappen werden mit jeweils einem Gleichstrommotor + Getriebe angetrieben.

Im sogenannten Guide Acquire Module (GAM) befindet sich ein Schrittmotor, zur Positionierung eines Spiegels.

## 2.2 Organisation

Das Projektteam bilden:

Michael Maas

Florian Rings

Im Spichelsfeld 173

Im Pesch 23

53757 Sankt Augustin

53797 Lohmar

Tel.: 01577/1621095

Tel.: 01577/1623526

Email: [michael.m1988@web.de](mailto:michael.m1988@web.de)

Email: F.Rings@web.de

Als Ansprechpartner des Carl-Reuther-Berufskollegs und Schnittstelle zwischen dem Auftraggeber und dem Projektteam fungiert

Herr Holger-Wolfgang Kampen

Carl-Reuther-Berufskolleg

Fritz-Jacobi-Str. 20

53773 Hennef

Email: [kampen.holger@bk-hennef.de](mailto:kampen.holger@bk-hennef.de)

Das Projektteam wird für die Projektzeit von den Auftraggebern die komplette Steuerelektronik inklusive der Schaltpläne des Herstellers DFM Engineering erhalten. Außerdem werden die zugehörigen Antriebsmotoren, Inkrementalgeber und alle sonstigen anzusteuernenden Komponenten wie Sekundärspiegelantrieb falls notwendig zur Verfügung gestellt.

Falls die Notwendigkeit besteht Tests direkt am Teleskop durchzuführen, muss im Vorfeld eine Terminabsprache mit Klaus Vollmann erfolgen.

### 3. Aufgabenstellung (Sollzustand)

Folgende Aufgaben sollen im Rahmen des Projektes bearbeitet werden:

1. Zuordnung der vorhandenen Platinen und zugehörigen Schaltpläne (Muss)
2. Beschreibung der Funktionalität der Platinen (Muss)
3. Überprüfung bzw. Funktionstest der Teleskopsteuerung (Muss)
4. Protokollführung der Tests und Fehlerbeschreibung (Muss)
5. Dokumentation der Funktionstests (Muss)
  - a. detaillierte Beschreibung von Prüfpunkten auf den Platinen
6. Instandsetzung bzw. Überholung notwendiger Komponenten (Muss)
7. Nachweis der Funktionsfähigkeit der Baugruppen im Labor (Muss)
  - a. Messprotokolle z.B. bzgl. Winkeldrehung und maximales Drehmoment vs. Frequenz (falls möglich)
8. Herstellung eines Muster-Kabelbaums (Muss)

Darunter sind alle notwendigen Kabelverbindungen zu verstehen, um die Inbetriebnahme der gesamten Steuerung sicherzustellen.
9. Falls sich herausstellt, dass die Steuerelektronik funktionsfähig ist, sollte der Spannungswandler (AC 230V auf 115V) ersetzt werden.

## 10. Herstellung eines neuen Kabelbaums (Kann)

Die endgültige Montage des Kabelbaums ist nur vor Ort durchführbar. Außerdem muss das dazu Teleskop zerlegt sein. Eine Vormontage der Kabelstränge im Labor mit ausreichenden Kabellängen ist möglich.

## 11. Nachweis der Funktionsfähigkeit der gesamten Steuerung in Verbindung mit dem Teleskop vor Ort (Kann)

## 12. Konzept für den Aufbau einer vollständig neuen Steuerung (Kann)

### a. Auswahl von Standardkomponenten zur Ansteuerung der Motoren

Schnittstellenübersicht über das Gesamtsystem

Betreuender Lehrer: Herr Kampen

Schulbereichsleiter: Herr Kramer

Projektleitung: Herr Dr. Vollmann

Gebäude, Technik Herr Kias

Materialbereitstellung: STSci

Carl-Reuther-Berufskolleg Hennef

Eigenmittel der Schüler

## 5 Anforderungen an Test und Inbetriebnahme

Zur Vorbereitung der Überprüfung der Steuerelektronik ist eine schriftliche Dokumentation der Funktion der einzelnen Baugruppen zu erstellen (vgl. Kapitel 3.2). Hierzu ist nach Absprache mit den Projektverantwortlichen ein handelsübliches Textverarbeitungssystem einzusetzen.

Die Dokumentation der elektronischen Steuerung ist den aktuellen Normen anzupassen. Falls Anpassungen an der Steuerelektronik durchgeführt werden müssen, sind diese entsprechend in den vorhandenen Schaltungsunterlagen zu dokumentieren (vgl. Kapitel 3.6). Hierzu ist ein geeignetes CAD-System zu verwenden. Die Baugruppen der Steuerelektronik sind normgerecht zu Kennzeichnen, so dass ein Zusammenhang zu den vorhandenen Schaltungsunterlagen hergestellt werden kann (vgl. Kapitel 3.1).

Für die Durchführung des Funktionstests sind geeignete Messpunkte zu definieren. Die Ergebnisse der Prüfungen / Messungen sind in einem Prüf-/Messprotokoll festzuhalten (vgl. Kapitel 3.7).

## 6 Anforderungen an die Qualität

### Qualitätsmerkmale

- Funktion der Steuerelektronik

### Maßnahmen zur Qualitätssicherung

- Vollständigkeit der Dokumentation
- Ausführliche und aussagekräftige Messprotokolle
- Normgerechte Kennzeichnung von Baugruppen und Betriebsmitteln

## 9. Pflichtenheft

Projekt: Aufbereitung und Inbetriebnahme der Steuerelektronik eines Spiegelteleskops

Auftraggeber: STSci SCHNÖRRINGEN TELESCOPE SCIENCE INSTITUTE

Dr. Klaus Vollmann (Ansprechpartner des STSci)

Ringweg 7

51545 Waldbröl

Tel: 02291/926935

Email: Klaus.Vollmann@stsci.de

Dr. Thomas Eversberg

Am Kielshof 21a

51105 Köln

Email: Thomas.Eversberg@stsci.de

Auftragnehmer: Michael Maas

Luisenstr 42

53721 Siegburg

Tel.:0163/8728857

Email: [michael.m1988@web.de](mailto:michael.m1988@web.de)

Florian Rings

Luisenstr 42

53721 Siegburg

Tel.: 01577/1623526

Email: F.Rings@web.de

<u>Version</u>	<u>Datum</u>	<u>Autoren</u>
1.0	14.03.2011	M. Maas, F. Rings
1.1	04.04.2011	M. Maas, F. Rings

### **Auftraggeber**

Seit 1999 existiert in Waldbröl-Schnörringen ein astronomisches Observatorium – das SCHNÖRRINGEN TELESCOPE SCIENCE INSTITUTE (STSci). Diese Beobachtungsstation wurde von dem Atmosphärenphysiker Dr. Klaus Vollmann und dem Astrophysiker Dr. Thomas Eversberg gegründet. Das STSci hat eine anspruchsvolle Instrumentenausrüstung sowie einen Kontrollraum mit kompletter Recherausstattung. Darüber hinaus ist eine mechanische Werkstatt mit Fräse und Drehbank vorhanden. Hintergrund dieses Observatoriums ist die frühere Forschungstätigkeit der Initiatoren. Der Schwerpunkt der aktuellen Arbeit liegt in der spektroskopischen Analyse massereicher Sterne. Diese erfolgt in Zusammenarbeit mit der internationalen Forschungsgemeinschaft. Die Auftraggeber für das Projekt „Aufbereitung und Inbetriebnahme der TTL-Steuerung eines Teleskops“ sind:

STSci SCHNÖRRINGEN TELESCOPE SCIENCE INSTITUTE

Dr. Klaus Vollmann (Ansprechpartner des STSci)

Ringweg 7

51545 Waldbröl

Tel: 02291/926935

Email: Klaus.Vollmann@stsci.de

Dr. Thomas Eversberg

Am Kielshof 21a

51105 Köln

Email: Thomas.Eversberg@stsci.de

## **Zweck des Projektes**

Von den Betreibern der Universität München ist der Hinweis gegeben worden, dass die inzwischen 22 Jahre alte Elektronik nicht zu allen Zeitpunkten zuverlässig arbeitet und überholungsbedürftig ist. Unglücklicherweise mussten, aufgrund der räumlichen Verhältnisse in der Beobachtungsstation und der festen Installation des Kabelbaums, vor dem Rückbau des Teleskops nicht nur alle Kabelstränge vollständig entfernt, sondern auch alle Verbindungskabel zu den Antriebsmotoren und Steuerplatinen vor den Steckern durchtrennt werden. Der ursprüngliche Kabelbaum wurde entsorgt.

Bisher wurden von den neuen Besitzern keinerlei Vortests durchgeführt, um die Steuerelektronik auf prinzipielle Funktion zu testen. Bei einer Anfrage an den Hersteller des Instrumentes, die Elektronik durch eine moderne Steuerung zu ersetzen, wurde von DFM Engineering der Vorschlag unterbreitet die vorhandene Elektronik aufgrund ihrer Robustheit zu überholen. Aus dieser Information entstand die Idee die Überholung von Technikerschülern in ihrer praktischen Abschlussarbeit selbständig durchzuführen.

## **Ist – Situation**

Nach erster Besichtigung der Steuerelektronik und nach Rücksprache mit Herrn Vollmann ist die erste grundlegende Ausgangssituation ersichtlich geworden. Es besteht vor Ort ein ca. 5 Meter hohes Teleskop, welches 1,2 Tonnen wiegt. Das Teleskop mit Motoren, Inkrementalgebern etc befindet sich bei:

Dr. Klaus Vollmann (Ansprechpartner des STSci)

Ringweg 7

51545 Waldbröl

Tel: 02291/926935

Email: Klaus.Vollmann@stsci.de

Des Weiteren gibt es eine dazugehörige, veraltete und nicht getestete Steuerung mit zum größten Teil amerikanischer Dokumentation, da das Teleskop ursprünglich aus den USA kommt. Es existiert ausschließlich eine Dokumentation über die Steuerelektronik in Form von Schaltplänen.

Aufgrund der räumlichen Verhältnisse in der Beobachtungsstation und der festen Installation des Kabelbaums mussten vor dem Rückbau des Teleskops nicht nur alle Kabelstränge vollständig entfernt, sondern auch alle Verbindungskabel zu den Antriebsmotoren und Steuerplatinen vor den Steckern durchtrennt werden. Der ursprüngliche Kabelbaum wurde entsorgt.

Ein Neukauf der Steuerung wurde von DFM Engineering nicht empfohlen, da diese zu teuer ist. Aufgrund der Robustheit der Steuerung werden wir diese überholen und in Betrieb nehmen. Von den Vorbesitzern wurden, laut der Aussage von Herrn Vollmann, keinerlei Vortests durchgeführt, um die Steuerelektronik auf prinzipielle Funktion zu testen.

Nach dem Besichtigungstermin im November im BK- Hennef konnten wir uns ein erstes Bild über den Zustand der Steuerungen und der Dokumentation machen.

Die Steuerung ist stark verstaubt, die Dokumentation ist sehr veraltet und es ist nicht bekannt ob sie vollständig ist. Die kompletten Schaltplanunterlagen sind mit amerikanischen Schaltzeichen versehen und müssen übersetzt werden.

Das Teleskop ist ein Fabrikat aus den USA und wird aktuell mit einem Spannungswandler von 230VAC auf 110VAC betrieben. Danach werden mit weiteren Transformatoren die Spannungen für die jeweiligen Baugruppen weiter von 110VAC auf die benötigte Spannung runter transformiert. Nach erfolgreicher Teilinbetriebnahme (Funktionstest der Baugruppen) sollen die für die Baugruppen benötigten Spannungen durch 230VAC Netzteil / Transformatoren ersetzt werden. Transformator, Kabel, Motorzuleitungen etc. sind nicht vorhanden und müssen neu bestellt werden. Kleinbauteile wie Widerstände, Kondensatoren können zum größten Teile preisgünstig durch die Firma Kollmorgen (Arbeitgeber Maas [eigene Elektronikfertigung]) und Emitec (Arbeitgeber Rings) gestellt werden.

Ein Arbeitsplatz, an dem die Steuerelektronik gelagert und getestet werden kann, ist auch schon geschaffen. Dieser befindet sich bei Herrn Florian Rings, Im Pesch 23, 53797 Lohmar.

Desweiteren wird uns von der Firma Emitec ein Oszilloskop gestellt, welches uns ermöglicht Messungen durchzuführen und zu dokumentieren. Die Dokumentation und die Steuerung befindet sich bis zurzeit bei Herrn Vollmann, der durch einen Armbruch bis jetzt noch nicht die Möglichkeit hatte uns die Steuerung und Dokumentation zu übergeben, da diese nur mit einem passenden Anhänger transportiert werden kann. Dies muss jedoch spätestens bis zum Kick- Off- Meeting am 14.03.11 geschehen, damit die plangerechte Durchführung des Projektes eingehalten werden kann.

Für die beiden Achsen (Rektaszensions- und Deklinationsachse) werden jeweils ein Servomotor und ein Inkrementalgeber verwendet.

Zur Verstellung des Sekundärspiegels und damit zur Fokussierung des Gesamtsystems wird ein Schrittmotor + Inkrementalgeber verwendet.

Die vier Spiegelklappen werden mit jeweils einem Gleichstrommotor + Getriebe angetrieben.

Im sogenannten Guide Acquire Module (GAM) befindet sich ein Schrittmotor, zur Positionierung eines Spiegels. Alle Motoren, Inkrementalgeber etc. stehen uns auf Anfrage zur Verfügung.

Nach Absprache mit Herrn Vollmann sind auch Tests vor Ort möglich.

## Soll – Zustand

Folgende Aufgaben müssen im Rahmen des Projektes bearbeitet werden:

1. Digitalisieren der vorhandenen Schaltpläne mit Hilfe von E<sup>3</sup>-Series, das normgerechte Bezeichnen einzelner Bauteile und gesamter Bauelemente im Schaltplan, sowie in der Elektronik (Betriebsmittelkennzeichnung).
2. Beschreibung der Funktion einzelner Baugruppen, sowie deren interne Zusammenhänge.
3. Einzelbetriebnahmen der Baugruppen anhand von Prüfpunkten.
4. Erstellung eines Prüfprotokolles, sowie die genaue Beschreibung von Prüfpunkten in der Steuerung.
5. Dokumentation der Funktionstests anhand beigefügter Prüfprotokolle
6. Instandsetzung bzw. Überholung notwendiger Komponenten
7. Nachweis der Funktionsfähigkeit der einzelnen Baugruppen durch Anschluss der Peripherie wie z.B. Motoren und Geber anhand von Protokollen.
8. Herstellung eines Muster-Kabelbaums um die komplette Steuerung in Betrieb nehmen zu können. Der Kabelbaum beinhaltet benötigte Steckerverbindungen, sowie geschirmte Motorzuleitungen und entsprechende Kabelquerschnitte. Die Länge beträgt 1- 2 Meter.
9. Falls die Steuerelektronik funktionsfähig sein sollte, ist der Spannungswandler von 230V auf 110V und die vorhandenen Netzgeräte auszubauen und gegen eine geeignete Spannungsversorgung von 230V auf XV zu ersetzen. Der benötigte Strom und die Anlaufströme der Motoren sind dabei besonders zu berücksichtigen.

Nun folgen „kann“ – Ziele, die nicht unbedingt Bestandteil unserer Projektarbeit sein müssen, bei Bedarf aber noch durch Herrn Rings und Herrn Maas durchgeführt werden können:

1. Herstellung eines neuen Kabelbaums mit ausreichenden Kabellängen, um diesen vor Ort zu implementieren und das Teleskop in Betrieb zu nehmen. Für die Montage des Kabelbaumes ist das Teleskop vorher soweit wie nötig zu demontieren.
2. Funktionstest des gesamten Teleskops vor Ort nachdem die Inbetriebnahme erfolgreich abgeschlossen ist (Rektaszensions- und Deklinationsachse, Verstellung des Sekundärspiegels, Verstellung der vier Spiegelklappen, sowie deren Inkrementalgeber).
3. Konzept für den Aufbau einer vollständig neuen Steuerung mit Hilfe einer Siemens S7 Steuerung und einer alternativen Motoransteuerung.

### **Qualitätssicherung**

Ein wesentlicher Aspekt für eine gute Qualität unseres Projektes ist das Erreichen der optimalen Funktion der Steuerung. Dies probieren wir zu erreichen, indem wir unsere Arbeit mit Qualitätssichernden Maßnahmen, wie das Erstellen von übersichtlichen, leicht Verständlichen Messprotokollen und die normgerechte Kennzeichnung von Betriebsmitteln einsetzen. Dies werden wir in einer Gesamtdokumentation festhalten die am Ende der Projektlaufzeit an den Projektleiter Herrn Dr. Vollmann in schriftlicher und digitaler Form ausgehändigt wird.

## Termine

01.02.2011 bis 13.03.2011	Erstellung des Pflichtenheftes
14.03.2011	Projektbesprechung mit dem Ansprechpartner des Carl-Reuther-Berufskollegs (Herrn Kampen) und dem Ansprechpartner des STScI.  (Kick- Off- Meeting)
15.03.2011 bis 30.03.2011	Planungsphase
01.04.2011 bis 31.12.2011	Praktische Umsetzung der Projektarbeit
Januar 2012	Projektpräsentation

## Schnittstellen

Betreuender Lehrer:	Herr Kampen
Schulbereichsleiter:	Herr Kramer
Projektleitung:	Herr Dr. Vollmann
Gebäude, Technik	Herr Kias
Materialbereitstellung:	STScI  Carl-Reuther-Berufskolleg Hennef  Eigenmittel der Schüler
Auftragnehmer:	Michael Maas  Florian Rings
Projektdurchführungsort:	Florian Rings  Im Pesch 23  53797 Lohmar

**Kosten für die Inbetriebnahme des Leistungsteils**

**Material / Kostenliste**

<u>Bennennung</u>	<u>Anzahl</u>	<u>Einheit</u>	<u>Preis Pro Einheit</u>	<u>Gesamtpreis</u>
SchukoStecker	1	Stk.	2,19 €	2,19 €
3x 1,5mm <sup>2</sup> Zuleitung	5	m	4,70 €	23,50 €
10x 0,5mm <sup>2</sup> Encoderleitung Data	4	m	2,88 €	11,52 €
5x 0,5mm <sup>2</sup> Motorzuleitung	4	m	2,10 €	8,40 €
Aderendhülsen 1,5mm <sup>2</sup>	1	VPE	2,11 €	2,11 €
Aderendhülsen 2,5mm <sup>2</sup>	1	VPE	2,15 €	2,15 €
Aderendhülsen 4mm <sup>2</sup>	1	VPE	3,83 €	3,83 €
Ringkabelschuhe blau	3	VPE	2,45 €	7,35 €
Ringkabelschuhe gelb	3	VPE	2,45 €	7,35 €
Einzelader schwarz 1,5mm <sup>2</sup>	1	VPE / 100m	52,18 €	52,18 €
Einzelader schwarz 2,5mm <sup>2</sup>	1	VPE / 100m	78,29 €	78,29 €
Einzelader schwarz 4mm <sup>2</sup>	1	VPE / 100m	94,84 €	94,84 €
Einzelader grün/gelb 2,5mm <sup>2</sup>	1	VPE / 100m	78,29 €	78,29 €

**Kosten Gesamt:      372,00 €**

Alle Preise auf conrad.de ermittelt!

Betriebsmittelstückliste des Leistungsteils

F1	Absicherung 10A pri. Transformator T1
F2	Absicherung 10A pri. Transformator T2
F3	Sicherung 15 A Reserve Transf. T3
F4	Sicherung 15 A sek. Transf. T1
F5	Sicherung 15 A sek. Transf. T2
F6	Sicherung 15 A sek. Reserve Transf. T3
T1	Transformator mit Eisenkern 1,5kVA 110/230V
T2	Transformator mit Eisenkern 1,5kVA 110/230V
X1/X2	2 fach Steckdose
X3-X7	5 fach Steckdosenleiste

## 10. Messprotokoll Inbetriebnahme Motorsteuerung

**Baugruppe:** Motorensteuerung

**Grund:** Überprüfung auf Funktionsfähigkeit

**Messgerät:** HoldPeak HP-760B

**Gerätenummer:** 0922659

<u>Trafo T11 Spannungen im Leerlauf</u>			
<u>Betriebsmittel</u>	<u>Messstelle</u>	<u>Zu erwartende Spannung [V]</u>	<u>Gemessene Spannung [V]</u>
T11	<u>Primärseitig</u>		
	1 → 2	115V AC	114,5V AC
	<u>Sekundärseitig</u>		
	1 → 2	24VAC	23,9VAC
	3 → 4	8VAC	7,7VAC
	5 → 6	24VAC	23,9VAB

<u>Trafo T11 Ströme und Spannungen unter Vollast nach Gleichrichter an BMK A11A/B</u>				
<u>Soll / Ist</u>	<u>Messstelle</u>	<u>Spannung [V]</u>	<u>Strom [A]</u>	<u>Farbe Ader</u>
Soll	A→M	+30VDC	4,0A	/
Ist		+29,4VDC	4,0A	

Soll	E→M	-30VDC	-4,0A	/
Ist		-29,5VDC	-4,0A	
Soll	U→M	5VDC	1,5A	/
Ist		4,8VDC	1,5A	

<u>Trafo T12 Spannungen im Leerlauf</u>			
<u>Betriebsmittel</u>	<u>Messstelle</u>	<u>Zu erwartende Spannung [V]</u>	<u>Gemessene Spannung [V]</u>
T12	<u>Primärseitig</u>		
	KI 1→ KI 4	115V AC	114,4V AC
	<u>Sekundärseitig</u>		
	A → A	30V AC	30,7V AC
	B → B	7V AC	6,9V AC
	<u>Nach Gleichrichter</u>		
	X12:11→ X12:1 (T12 OUT+)	24V DC	27,8V DC

<u>Trafo T12 Ströme nach Gleichrichter</u>				
<u>Soll / Ist</u>	<u>Messstelle</u>	<u>Spannung [V]</u>	<u>Strom [A]</u>	<u>Farbe Ader</u>
Soll	X12:11→ X12:1 (T12 OUT+)	24 V DC	2,4A	/
Ist		27,9 V DC	2,4A	

<u>Trafo T13 Spannungen</u>			
<u>Betriebsmittel</u>	<u>Messstelle</u>	<u>Zu erwartende Spannung [V]</u>	<u>Gemessene Spannung [V]</u>
T13	<u>Primärseitig</u>		
	KI 1 → KI 2	110V AC	114,4V AC
	<u>Sekundärseitig</u>		
	A → AT	8V AC	8,2V AC
	AT → A	8V AC	8,2V AC
	B → BT	17V AC	17,3V AC
	BT → B	17V AC	17,3V AC
	<u>Nach Gleichrichter</u>		
	T13 OUT + → X12:1	5V DC	4,8V DC
	T13 OUT -- → X12:1	12V DC	11,9V DC
	T13 OUT -- → X12:1	-12V DC	11,9V DC

<u>Trafo T13 Ströme nach Gleichrichter</u>				
<u>Soll / Ist</u>	<u>Messstelle</u>	<u>Spannung [V]</u>	<u>Strom [A]</u>	<u>Farbe Ader</u>
Soll	T13 OUT + → X12:1	5V DC	3A	rot
Ist		4,7V DC	3A	
Soll	T13 OUT -- → X12:1	12V DC	1A	grün/rot
Ist		11,9V DC	1A	
Soll	T13 OUT -- → X12:1	-12V DC	-1A	braun
Ist		-11,8V DC	-1A	

<u>Trafo T14 Spannungen</u>			
<u>Betriebsmittel</u>	<u>Messstelle</u>	<u>Zu erwartende Spannung [V]</u>	<u>Gemessene Spannung [V]</u>
T14	<u>Primärseitig</u>		
	KI 1 → KI 2	110V AC	114,6V AC
	<u>Sekundärseitig</u>		
	A → AT	8V AC	8,2V AC
	AT → A	8V AC	8,2V AC
	<u>Nach Gleichrichter</u>		
	X12:8 → X12:1	5V DC	4,9V DC

<u>Trafo T14 Ströme nach Gleichrichter</u>				
<u>Soll / Ist</u>	<u>Messstelle</u>	<u>Spannung [V]</u>	<u>Strom [A]</u>	<u>Farbe Ader</u>
Soll	X12:8 → X12:1	5V DC	3A	rot
Ist		5V DC	3A	

## 11. Messprotokoll der Spiegelsteuerung

**Baugruppe:** Spiegelsteuerung

**Grund:** Überprüfung auf Funktionsfähigkeit

**Messgerät:** HoldPeak HP-760B

**Gerätenummer:** 0922659

<u>Trafo T22B Spannungen</u>			
<u>Betriebsmittel</u>	<u>Messstelle</u>	<u>Zu erwartende Spannung [V]</u>	<u>Gemessene Spannung [V]</u>
T22B	<u>Primärseitig</u>		
	1 → 2	110V AC	114,5V AC
	<u>Sekundärseitig</u>		
	3 → 4	15V AC	15,7V AC

**Im Schalplan sind keine Stromangaben vorhanden, daher keine max. Auslastung des Trafos möglich. Kein Gleichspannungsteil vorhanden!!!**

<u>Trafo T20 Spannungen</u>			
<u>Betriebsmittel</u>	<u>Messstelle</u>	<u>Zu erwartende Spannung [V]</u>	<u>Gemessene Spannung [V]</u>
T20	<u>Primärseitig</u>		
	KI 1 → KI 4	110V AC	114,8V AC
	<u>Sekundärseitig</u>		
	A → A	15V AC	15,1V AC
	B → B	8V AC	7,6V AC
	<u>Nach Gleichrichter</u>		
	X21:7 → X21:1	12V DC	12,2V DC

<u>Trafo T20 Ströme nach Gleichrichter</u>				
<u>Soll / Ist</u>	<u>Messstelle</u>	<u>Spannung [V]</u>	<u>Strom [A]</u>	<u>Farbe Ader</u>
Soll	X21:7 → X21:1	12V DC	3,4A	Rot/Weiß → Grün/schwarz
Ist		12,2V DC	3,4A	

<b><u>Trafo T23 Spannungen</u></b>				
<b><u>Betriebsmittel</u></b>	<b><u>Messstelle</u></b>	<b><u>Zu erwartende Spannung [V]</u></b>	<b><u>Gemessene Spannung [V]</u></b>	
T23	<b><u>Primärseitig</u></b>			
		KI 1 → KI 2	110V AC	114,4V AC
	<b><u>Sekundärseitig</u></b>			
		A → AT	8V AC	8,2V AC
		AT → A	8V AC	8,2V AC
		B → BT	17V AC	17,3V AC
		BT → B	17V AC	17,3V AC
	<b><u>Nach Gleichrichter</u></b>			
		-OUT → COM	-12V DC	-14V DC
		+OUT → COM	12V DC	14V DC
		+OUT → -OUT	5V DC	5V DC
	<b><u>Trafo T23 Ströme nach Gleichrichter</u></b>			
<b><u>Soll / Ist</u></b>	<b><u>Messstelle</u></b>	<b><u>Spannung [V]</u></b>	<b><u>Strom [A]</u></b>	<b><u>Farbe Ader</u></b>
Soll	OUT+ → OUT-	5V DC	3A	Rot
Ist		4,7V DC	3A	
Soll	OUT- → COM	-12V DC	-1A	Pink
Ist		-13,9V DC	-1A	
Soll	OUT+ → COM	+12V DC	1A	Orange / Schwarz
Ist		+13,9V DC	1A	

<b><u>Trafo T22A Spannungen</u></b>				
<b><u>Betriebsmittel</u></b>	<b><u>Messstelle</u></b>	<b><u>Zu erwartende Spannung [V]</u></b>	<b><u>Gemessene Spannung [V]</u></b>	
T22A	<b><u>Primärseitig</u></b>			
		KI 1 → KI 2	110V AC	114,9V AC
	<b><u>Sekundärseitig</u></b>			
		A → AT	8V AC	8,2V AC
		AT → A	8V AC	8,2V AC
		B → BT	17V AC	17,4V AC
		BT → B	17V AC	17,4V AC
	<b><u>Nach Gleichrichter</u></b>			
		X21: 10 → X21:1	-12V DC	-13,4V DC
		X21: 12 → X21:1	12V DC	12,3V DC
		X21: 8 → X21:1	5V DC	5V DC
<b><u>Trafo T4 Ströme nach Gleichrichter</u></b>				
<b><u>Soll / Ist</u></b>	<b><u>Messstelle</u></b>	<b><u>Spannung [V]</u></b>	<b><u>Strom [A]</u></b>	<b><u>Farbe Ader</u></b>
Soll	X21: 8 → X21:1	5V DC	3A	Rot
Ist		4,9V DC	3A	
Soll	X21: 10 → X21:1	-12V DC	-1A	Blau
Ist		-13,4V DC	-1A	
Soll	X21: 12 → X21:1	+12V DC	1A	Orange / Schwarz
Ist		+12,3V DC	1A	

## 12. Messprotokoll der Leistungsteil

**Baugruppe:** Leistungsteil

**Grund:** Neuverdrahtung Leistungsteil + PE

**Messgerät:** HoldPeak HP-760B

**Gerätenummer:** 0922659

<u>Betriebsmittel</u>	<u>Messstelle</u>	<u>Zu erwartende Spannung [VAC]</u>	<u>Gemessene Spannung [VAC]</u>
X0	L1 → N	230	225
	L1 → PE	230	225
	N → PE	0	0
	1L1 → N1	110	105
	1L1 → PE	110	105
	N1 → PE	0	0
	2L1 → N2	110	107
	2L1 → PE	110	107
	N2 → PE	0	0
X1 – X7	L1 → N	110	105
	L1 → PE	110	105
	N → PE	0	0

**Schutzleiterwiderstand:** max. 0,7Ω

**Isolationsmessung:** Nicht Durchführbar

**Schleifenimpedanz:** Nicht Durchführbar