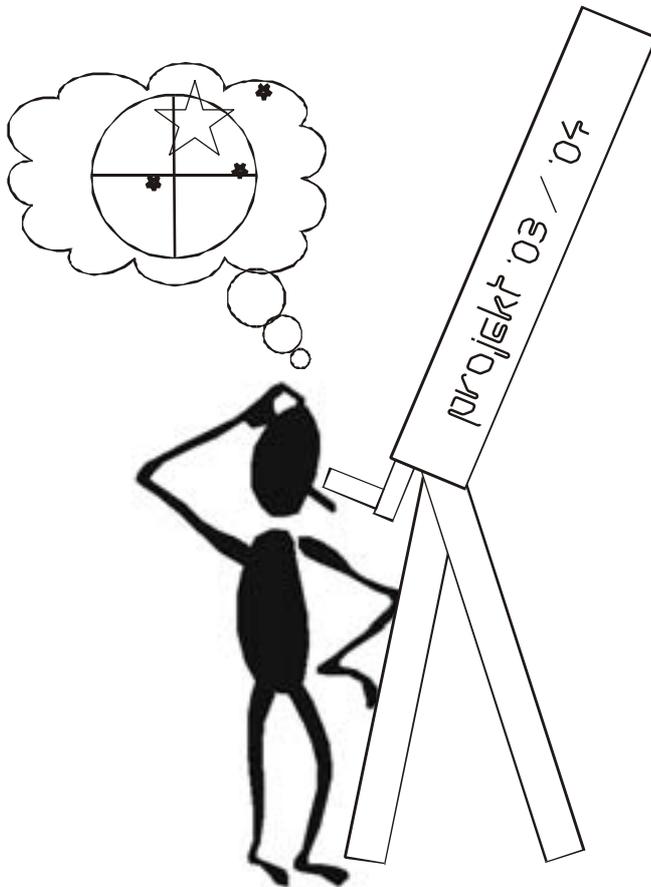


# ***Elektromechanische Nachführung von Teleskopen***



**Wettbewerb "Jugend Forscht" 2004**

**Daniel Rocholz (14 Jahre)  
Christoph Imdahl (13 Jahre)**

**Arbeitsgemeinschaft "Jugend Forscht"  
des Christian-Gymnasiums Hermannsburg  
Leitung: StD Thomas Biedermann**

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Die Idee</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Überlegungen zur mechanischen Konstruktion</b>	<b>3</b>
<b>2.1</b>	<b>Aufgabenstellung</b>	<b>3</b>
<b>2.2</b>	<b>Gewählte Antriebslösung</b>	<b>4</b>
<b>2.3</b>	<b>Auslegung des Antriebes</b>	<b>5</b>
<b>2.3.1</b>	<b>Auslegung des Untersetzungsgetriebes</b>	<b>5</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Auslegung des Positionierantriebes</b>	<b>6</b>
<b>2.4</b>	<b>Probleme während der Fertigstellung und deren Lösungen</b>	<b>6</b>
<b>2.4.1</b>	<b>Getriebe</b>	<b>6</b>
<b>2.4.2</b>	<b>Motorblock</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Die Konstruktion der Elektronik und Elektrik</b>	<b>7</b>
<b>3.1</b>	<b>Die Drehzahlregelung des Langsamläufers</b>	<b>7</b>
<b>3.2</b>	<b>Steuerung des Servos</b>	<b>8</b>
<b>3.3</b>	<b>An- und Abkoppeln des Langsamläufers</b>	<b>8</b>
<b>3.4</b>	<b>Schaltungsaufbau</b>	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>Künftige Erweiterungen</b>	<b>10</b>
<b>5</b>	<b>Quellen</b>	<b>10</b>
	<b>Danksagung</b>	<b>10</b>

## **Anhang:**

**Schaltplan der Motorregelung**

**Schaltplan der Relaisverdrahtung**

**Schaltplan der Servosteuerung**

# 1 Die Idee

Da sich zwei andere Gruppen unserer AG mit Teleskopen beschäftigen (Spiegel, CCD-Kamera), kamen wir auf die Idee, dafür eine Teleskopmontierung mit Elektroantrieben zu bauen. Unsere AG hat zwar bereits ein kleines Linsenteleskop samt Stativ, doch wurde uns berichtet, dass es damit recht schwer ist, einen bestimmten Himmelskörper anzupeilen und ihn nicht gleich wieder aus den Augen zu verlieren, weil er sich weiterbewegt, außerdem ist dieses Stativ nicht sehr robust. Deshalb haben wir uns gedacht, eine richtig stabile Montierung zu bauen und diese mit einem elektrischen Antrieb zu versehen, der sowohl das Anpeilen als auch das automatische Verfolgen eines Sterns erlaubt.

Nach einigen Wochen wurde uns klar, dass das eine recht umfangreiche Aufgabe werden würde. Unser Fernziel sieht nämlich so aus:

- Bau eines stabilen Stativs (möglichst aus Eichenholz, damit es nicht schwingt), das in der Lage ist, Teleskope bis zu einem Spiegeldurchmesser von 20 cm und einem Gewicht bis zu 40 kg zu tragen
- Konstruktion einer Aufhängung für das Teleskop, die in allen benötigten Achsen bewegt werden kann
- Entwicklung von motorgetriebenen Antrieben für diese Bewegungen
- Steuerung des Antriebs zum Positionieren und Nachverfolgen durch einen Computer

Das erste Problem, das wir lösen mussten, war der eigentliche Antrieb, ohne den alle weiteren Baumaßnahmen keinen Sinn ergeben würden. Deshalb haben wir damit angefangen. Im Laufe des Jahres traten dabei so viele Probleme auf, dass wir uns entschieden haben, uns zunächst nur mit diesem Projekt zu beschäftigen, und das ist nun das Ziel der hier vorgelegten Arbeit.

## 2 Überlegungen zur mechanischen Konstruktion

### 2.1 Aufgabenstellung

Die Aufgabe der mechanischen Komponenten ist die Umwandlung der hohen Drehzahlen der Antriebsmotoren in die für die Positionierung des Teleskops benötigten langsame Stellbewegungen.

Das Teleskop wird mit einer parallaktischen Montierung ausgerichtet. Hierbei sind die Bewegungsachsen parallel zur Erdrotationsachse (polare Achse oder Rektaszensionsachse) und im rechten Winkel dazu (Deklinationsachse) ausgerichtet. (Abb. 1, aus [1])

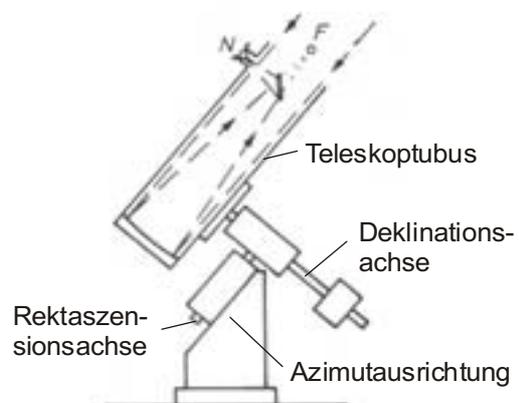


Abb. 1: Achsen zur Ausrichtung des Teleskops

Zum Anfahren eines Himmelskörpers muss zunächst die Teleskopmontierung entsprechend der Erdrotationsachse ausgerichtet werden. Mit der Deklinationsachse wird die Höhe des Himmelskörpers über dem Äquator eingestellt. Mit der Rektaszensionsachse wird dann die Position des Himmelskörpers entsprechend der Tageszeit eingestellt. Wenn der Himmelskörper im Teleskop sichtbar ist, dreht sich die Rektaszensionsachse zur Bahnverfolgung mit einer Umdrehung pro Tag weiter.

Zunächst haben wir nur den Antrieb für die Rektaszensionsachse gebaut um zu erfahren, ob unser gewähltes Prinzip grundsätzlich funktioniert. Nach erfolgreicher Erprobung werden wir auch die zweite Achse (Deklinationsachse) bauen, die außerdem etwas einfacher sein wird, weil sie keine automatische Nachführung benötigt.

Bei unserem Projekt müssen wir für eine Anfahrtsbewegung und eine Verfolgungsbewegung sorgen. Bei der Verfolgung dreht sich die Achse nur einmal pro Tag. Bei dieser Geschwindigkeit würde es zu lange dauern, bis man einen Stern entsprechend der Tageszeit angefahren hat. Deshalb müssen wir eine Möglichkeit finden, die Achse einmal langsam zur Bahnverfolgung und einmal schnell zum Positionieren drehen zu lassen.

Aus der Aufgabenstellung ergeben sich folgende besondere Anforderungen an die Mechanik:

- Bau eines Getriebes zum Heruntersetzen der Antriebsdrehzahl der Rektaszensionsachse. Dieses Getriebe sollte möglichst spielfrei sein, um eine genaue Stellbewegung des Teleskops zu ermöglichen.
- Bau einer Umschaltmöglichkeit zwischen Anfahrt und Bahnverfolgung, damit eine schnelle Positionierung möglich ist

Als weiterführende Aufgabe:

- Bau des Antriebs für die Deklinationsachse
- Bau eines passendes Stativs und der eigentlichen Montierung

## 2.2 Gewählte Antriebslösung

Das Antriebssystem besteht aus zwei Getriebemotoren mit unterschiedlicher Untersetzung. Der schnellere Motor (Motor 1) führt die groben Positionierbewegung aus, der langsamere (Motor 2) die Feinpositionierung und die Verfolgungsbewegung. Die beiden Motoren sind auf einer Plattform montiert.

Durch einen Servoantrieb wird Motor 2 beim schnellen Anfahren von Himmelskörpern vom restlichen Antrieb getrennt. Zum Nachführen des Teleskops sind beide Motoren angekoppelt. Motor 2 besitzt genügend Kraftreserven, um den ausgeschalteten Motor 1 mit zu drehen, dadurch kann Motor 1 fest mit der Antriebsachse verbunden bleiben.

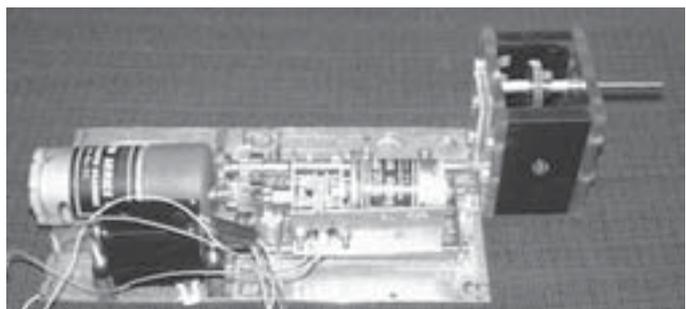


Abb. 2: Antriebseinheit für die Rektaszensionsachse

Ein Präzisions-Untersetzungsgetriebe im weiteren Antriebsstrang ermöglicht in Verbindung mit dem langsameren Getriebemotor die zur Nachführung nötige Stellbewegung von einer Umdrehung pro Tag. Wir haben dieses Getriebe selbst gebaut, da ein Getriebe mit einer ausreichend großen Untersetzung viel zu teuer gewesen wäre.

## 2.3 Auslegung des Antriebes

### 2.3.1 Auslegung des Untersetzungsgetriebes

Das Untersetzungsgetriebe wurde so ausgelegt, dass es im Zusammenspiel mit dem langsameren Motor eine Abtriebsdrehzahl von 1 Umdrehung / 24h erzeugt.

Der ausgewählte Motor (810:1) lässt sich mit einer minimalen Abtriebsdrehzahl von ungefähr 1 U/min betreiben. Bei einer Untersetzung von 2:1 vom Motor auf die Getriebeeingangswelle sind das 720 U/d ( $1 \times 0,5 \times 60 \times 24$ ). Wir benötigen also noch eine Untersetzung von mindestens 720:1 im Getriebe.

Das Getriebe wurde als ein 2- stufiges Schneckenradgetriebe gebaut. Das heißt, es gibt zwei Schnecken und zwei Schneckenzahnäder. Auf der ersten Schnecke sitzt ein Schneckenzahnrad mit 40 Zähnen und auf der anderen eins mit 30 Zähnen. So ergibt sich eine Untersetzung von 40 mal 30, also 1200. Bei dieser Untersetzung haben wir noch Reserven zum Ausregeln des Motors

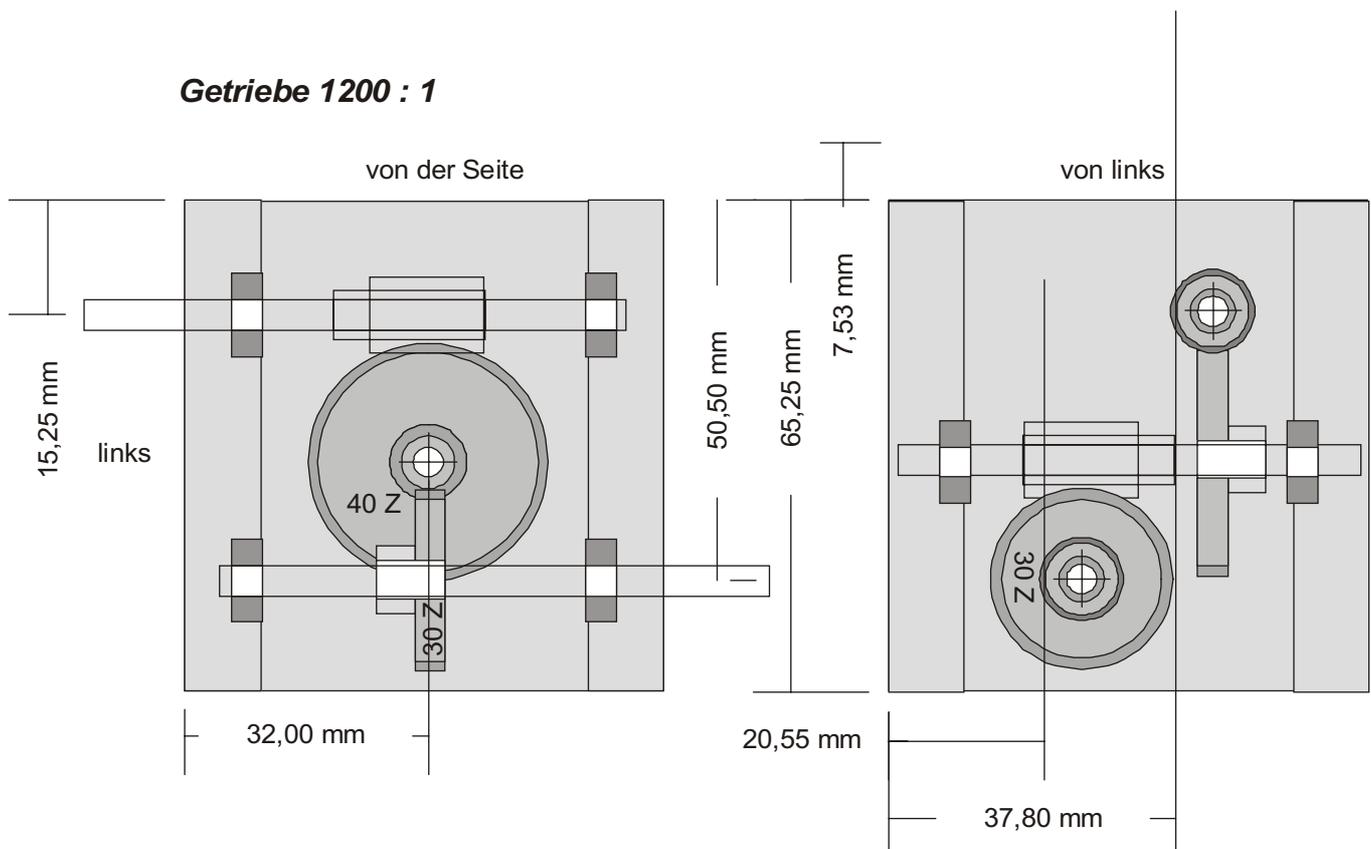


Abb. 3: Konstruktionszeichnung für das Untersetzungsgetriebe mit 2 Schneckenätzen

### 2.3.2 Auslegung des Positionierantriebes

Der Positionierantrieb soll so ausgelegt werden, dass jeder Himmelskörper möglichst innerhalb einer Minute angefahren werden kann. Um dies zu erreichen, muss man die Teleskopachse innerhalb dieser Zeit um einen Winkel von  $180^\circ$  verdrehen können. Dies bedeutet eine Drehzahl der Achse von  $0,5 \text{ U/min}$ . Der Antriebsmotor muss also eine Drehzahl von  $0,5 \times 1200 \times 2 = 1200 \text{ U/min}$  realisieren können. Wir haben einen Getriebemotor 6:1 ausgewählt, der laut Datenblatt Drehzahlen zwischen 1050 und 2625 U/min liefert.

## 2.4 Probleme während der Fertigstellung und deren Lösungen

### 2.4.1 Getriebe

An das stark untersetzende Getriebe werden einige nicht ganz einfache Anforderungen gestellt:

#### Hohe Untersetzung

Unser Getriebe musste eine hohe Untersetzung haben, damit sich die Achse so langsam dreht, dass man mit dem Teleskop einen Himmelskörper entsprechend der Erdrotation verfolgen kann.

#### Spielfrei

Unser Getriebe sollte möglichst spielfrei sein, da wir am Antriebsmotor seine Umdrehungen zählen, um die Verfolgungsbewegung richtig nachregeln zu können. Wenn unser Getriebe zu viel Spiel haben würde, stimmt der Zählerwert nicht genau genug mit der Stellung des Teleskops überein. Dies hätte zur Folge, dass die Bahnverfolgung nicht korrekt arbeitet.

#### Leichtgängig

Ein weiteres Problem war, dass das Getriebe trotzdem sehr leichtgängig gebaut werden musste, da die Motoren sonst zu viel Kraft aufwenden müssen.

#### Lösung

Am einfachsten bekommt man eine hohe Untersetzung, wenn man Schneckengetriebe verwendet, da eine ganze Umdrehung der Schnecke das angetriebene Zahnrad nur um einen einzigen Zahn weiterdreht. Da es aber keine Zahnräder mit 1200 Zähnen gibt, müssen wir ein 2-stufiges Getriebe bauen, wobei das Zahnrad der ersten Stufe die Schnecke der 2. Stufe antreibt. Dann ergibt sich die Untersetzung aus dem Produkt der Zähnezahl der verwendeten Zahnräder. Unser erstes Zahnrad hat 30 Zähne, das 2. Zahnrad 40, also kommen wir damit auf eine Untersetzung von  $30 \cdot 40 : 1 = 1200 : 1$ .

Um möglichst wenig Spiel zu bekommen, mussten wir die Achsen sehr genau in das Getriebegehäuse einpassen. Zum Justieren können außerdem die Platten, die die Achsen tragen, vor dem Verschrauben des Gehäuses so verschoben werden, dass das Spiel so klein wie möglich wird.

Damit bei den Achsen möglichst wenig Reibung auftritt, sind diese in Kugellagern gelagert, die in die Gehäusewandung eingelassen sind.

### 2.4.2 Motorblock

Das nächste Problem stellt sich dadurch, dass wir mit nur einem Motor nicht gleichzeitig die langsamen Geschwindigkeiten beim Nachführen und ein befriedigend schnelles Anfahren ermöglichen konnten.

Darum haben wir uns entschieden, die Rektaszensionsachse mit zwei Antriebsmotoren zu antreiben. Diese konnten jedoch nicht dauerhaft mit der Antriebsachse verbunden werden, da der schnellere Motor

nicht in der Lage war, den langsameren mitzuschleppen. Der stärker untersetzte Getriebemotor für den Verfolgungsantrieb muss daher beim Anfahren eines Himmelskörpers vom Antrieb getrennt werden.

Für diese Aufgabe fielen uns zunächst zwei Möglichkeiten ein :

- das Abkoppeln des Motors mit einem Elektromagneten, wie er auch in Waschmaschinentüren verwendet wird
- eine Abkoppelung mit einem Modellbauservo.

Wir entschieden uns für ein Modellbauservo, da wir leider keinen Elektromagneten zur Hand hatten, der stark genug war, außerdem hätten wir für den Waschmaschinenmagneten 230 V benötigt.

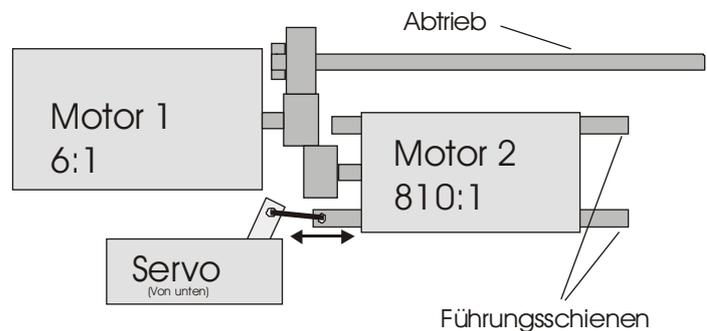


Abb. 4: Anordnung der Antriebsmotoren und des Servos

## 3 Die Konstruktion der Elektronik und Elektrik

Die Elektronik hat folgende Aufgaben:

- sie muss den Getriebemotor für die Nachführung mit konstanter Drehzahl laufen lassen
- sie muss das Servo für das An- und Abkoppeln des Nachführmotors ansteuern

Die Elektrik steuert vor allem die „gröberen“ Vorgänge:

- tastengesteuerte Schaltung des Schnellläufers in beiden Bewegungsrichtungen
- manuelle Steuerung des Nachführmotors in beiden Bewegungsrichtungen
- Schutz vor mechanischer Überlastung des Nachführmotors
- Schutz der Elektrik vor Kurzschlüssen, wenn mehrere Tasten gleichzeitig betätigt werden

Die Schaltpläne sind im Anhang zu finden.

### 3.1 Die Drehzahlregelung des Langsamläufers

Um eine konstante Drehgeschwindigkeit des Langsamläufers bei der Nachführung unabhängig von dem Gewicht des Teleskops zu erreichen, wird die Drehzahl des Langsamläufers im Getriebe mittels

einer Gabellichtschranke an einem der Getriebezahnräder abgetastet. Diese Gabellichtschranke gibt immer dann einen Impuls ab, wenn die dem Sensor gegenüberliegende LED nicht durch einen Zahn des Zahnrades verdeckt wird. Dadurch ändert sich bei einer Erhöhung der Drehzahl sowohl die Ein- als auch die Ausschaltzeit des Signals, es ist symmetrisch. Dieses Signal muss in eine Gleichspannung umgewandelt werden, die proportional zur aktuellen Drehzahl des Motors ist. Dazu werden zunächst durch einen NE 555 - Timer als Monoflop [2] die Signale der Lichtschranke in gleich lange Impulse konvertiert. Je schneller der Motor dreht, desto schneller folgen diese Impulse aufeinander. Der Mittelwert der so erzeugten Spannung nimmt zu. Durch einen Widerstand und einen Kondensator am Ausgang des NE 555 wird dieser Mittelwert gebildet und steht an C2 als eine Gleichspannung zur Verfügung (Abb. 5).

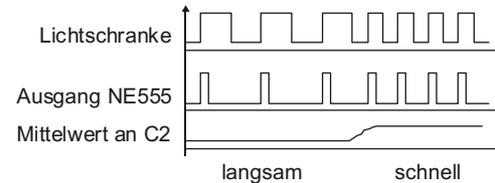


Abb. 5: Signalaufbereitung für die Drehzahlmessung

Die gewünschte Drehzahl des Motors erhält man, in dem man die so erzeugte Gleichspannung mit einer anderen Spannung vergleicht. Diese kann durch einen Umschalter ausgewählt werden, sodass mehrere Drehzahlen möglich sind. Die beiden Spannungen werden nun mit einem Operationsverstärker verglichen. Weichen die Eingangsspannungen voneinander ab, wird über einen luftgekühlten Transistor der Motorstrom entsprechend nachgeregelt. Der Umschalter schaltet um zwischen einigen fest eingestellten Spannungen und einem Poti, das eine freie Wahl der Drehzahl erlaubt. Die zweite Schaltebene dieses Umschalters legt fest, ob der Motor vorwärts oder rückwärts laufen soll. Bei der Nachführung läuft er immer nur vorwärts.

### 3.2 Steuerung des Servos

Die aktuelle Position des Servos ergibt sich aus dem Abgriff des eingebauten Potentiometers im Servo. Um eine genaue Positionierung des Langsamläufers mit dem Servo zu erreichen, werden die den beiden Positionen „Angekoppelt“ und „Abgekoppelt“ entsprechenden Spannungen mit zwei Trimpoties auf der Steuerplatine fest eingestellt. Wiederum wird mit einem OP die Spannung des aktuellen Trimpoties mit der des Servopoties verglichen und nachgeregelt. Durch ein Umschalten der Trimpoties am Eingang des OP's fährt das Servo nun von einer Position in die andere. Für den Antrieb des Servomotors werden hier allerdings zwei Transistoren benötigt, die den Ausgangsstrom des OP's verstärken und je nach Polarität vorwärts oder rückwärts laufen lassen. Die Antriebsspannung ist so gering gewählt, dass der Servomotor keinen Schaden nimmt, wenn er kurzzeitig blockiert wird, weil die Ritzel der Antriebsmotoren sich verkanten. Die Trimpoties sind dagegen so eingestellt, dass der Motorstrom in den beiden Endpositionen Null wird.

### 3.3 An- und Abkoppeln des Langsamläufers

Grundsätzlich wird der Langsamläufer immer nur dann abgekoppelt, wenn der Schnellläufermotor verwendet werden soll. Wenn also eine der Tasten „schnell vor“ oder „schnell zurück“ gedrückt wird, wird der Langsamläufer vom System mechanisch abgekoppelt. Nach Loslassen der Taste fährt das

Servo sofort wieder in die Ausgangsposition zurück, das hat den Vorteil, dass die Nachführung immer umgehend gestartet werden kann. Zwei Endschalter an der Führungsschiene des Langsamläufers sorgen dafür, dass der Schnellläufer erst anlaufen kann, wenn das Servo seine Position vollständig erreicht hat. Diese Maßnahme war nötig, um eine zu schnelle Abnutzung der Zahnräder durch Reibung und eine kurzzeitige Überlastung des Motors zu verhindern.

### 3.4 Schaltungsaufbau

Um die Schaltungen testen und eventuell verbessern oder erweitern zu können, haben wir alle Schaltungen grundsätzlich zuerst auf einem Steckbrett aufgebaut und solange verändert, bis das gewünschte Ergebnis erzielt war. Nachdem alle Komponenten zufriedenstellend arbeiteten, haben wir eine Euro-Lötstreifen-Platine mit allen Komponenten gebaut, um Fehler durch unbeabsichtigte Veränderungen der Verdrahtung zu vermeiden. Diese Platine kann man durch einen 64-poligen VG-Verbinder ohne weiteren Aufwand in passende Einschubgehäuse einbauen, die sogar noch eine passende Stromversorgung bereitstellen. Zum Einzeltest der einzelnen Baugruppen haben wir ein für Spannung und Strom regelbares Netzteil verwendet, um Schäden an der Elektronik zu vermeiden. Nach dem Aufbau auf der Platine wurden die benötigten Spannungen (-5V, +5V, -12V, +12V) einem stabilisierten Festspannungsnetzteil entnommen, das aber lediglich kurzschlussfest ist.

Nachdem die Schaltungen auf der Platine gut arbeiteten, konnten wir mit dem Bau eines Gehäuses beginnen. Es besitzt einen 5-poligen DIN-Anschluss für die Spannungsversorgung, einen 15-poligen SUB-D-Stecker für die Übertragung der Signale zum Motorblock sowie einen Umschalter für die verschiedenen Betriebsmodi für den Langsamläufer

- Vorwärts schnell (maximale Drehzahl)
- Vorwärts manuell (mit Poti einstellbar)
- Vorwärts geregelt (Nachführung)
- Aus
- Zurück manuell (mit Poti einstellbar)
- Vorwärts manuell (mit Poti einstellbar)

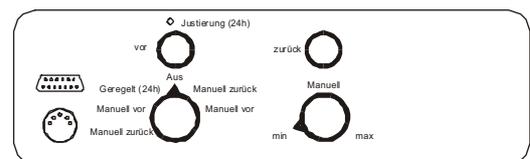


Abb. 6: Frontplatte des Bedienpanels

Ein Poti dient zur manuellen Drehzahlregelung des Motors bei den Modi „Vorwärts manuell“ bzw. „Zurück manuell“.

Zwei Taster mit den Funktionen

- Schnell vor
- Schnell zurück

dienen dazu, den Schnellläufer zum schnellen Anfahren von Himmelsobjekten vorwärts oder rückwärts laufen zu lassen. Diese Taster steuern jeweils ein Relais an, die gegeneinander so verdrahtet sind, dass keine Gefahr eines Kurzschluss durch gleichzeitiges Drücken beider Taster besteht.

## **4 Künftige Erweiterungen**

Weil alle Funktionen über Relais oder Spannungen gesteuert werden, kann diese Schaltung später ohne größere Umbauten auch durch einen PC betrieben werden. Wie schon anfangs beschrieben, gibt es dann auch die Möglichkeit, das Anfahren von bestimmten Himmelskörpern automatisch zu realisieren, dabei würden die Koordinaten der Himmelsobjekte aus aktuellen Tabellen entnommen werden können und müssen nicht mehr manuell gesucht werden.

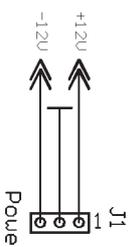
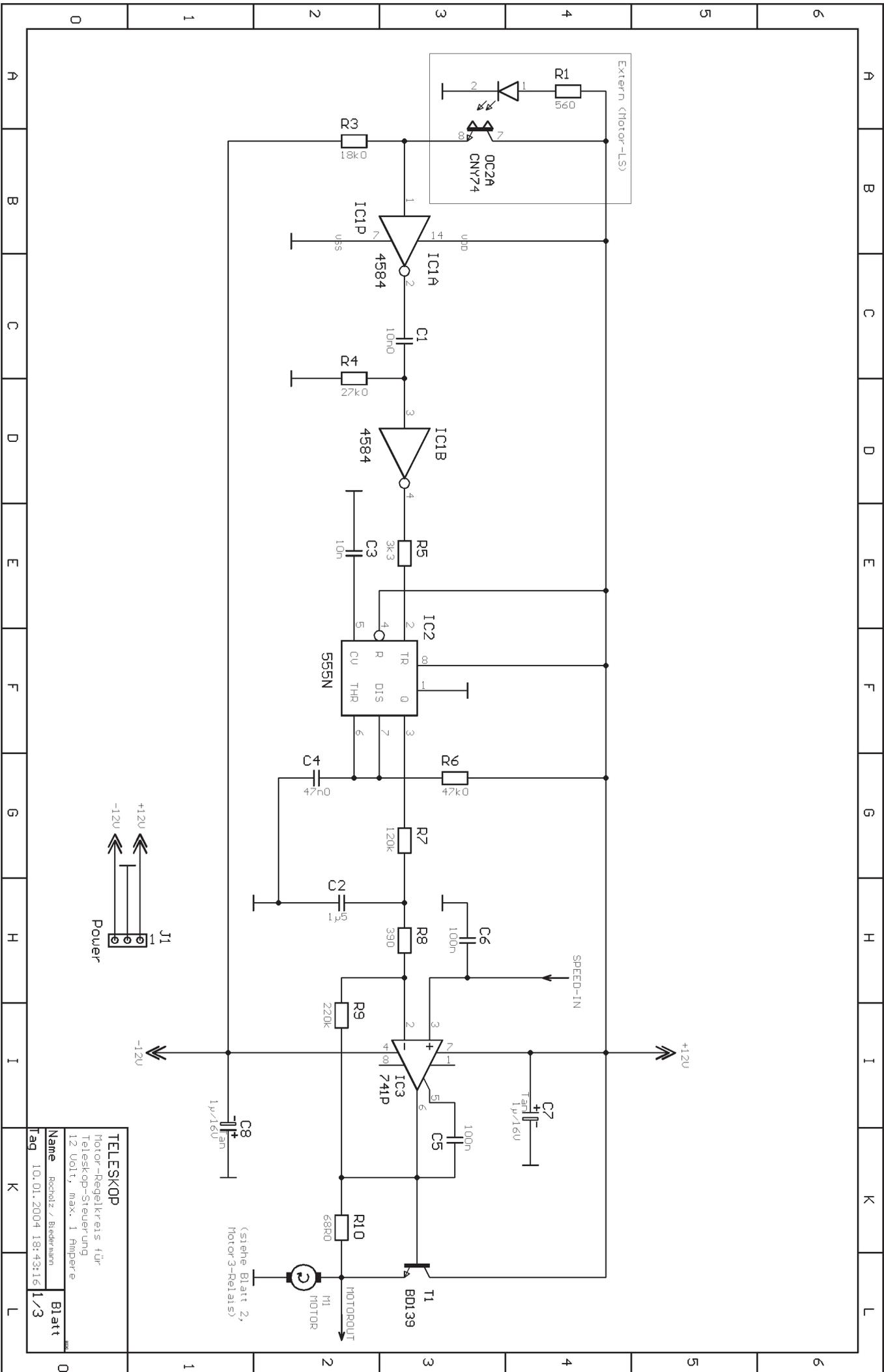
Wenn der Antrieb für die Rektaszensionsachse gut funktioniert, werden wir als nächstes vor dem Problem stehen, wie wir mit der 4 Millimeter dicken Abtriebsachse des Getriebes die erheblich dickere Rektaszensionsachse der Montierung antreiben können, doch diese Frage können wir erst lösen, wenn wir die zugehörige Mechanik haben. Dann werden wir auch noch den Antrieb für die Deklinationsachse bauen müssen. Mit einer weiterentwickelten Steuerelektronik sollte es dann möglich sein, beliebige Himmelskörper computergesteuert anzufahren. Dazu müssen wir jedoch noch einen zweiten Zähler zur Drehzahlmessung für den Deklinationsmotor einbauen. Zuletzt haben wir noch vor, ein Buchen- oder Eichenholzstativ zu bauen, auf dem das Teleskop einschließlich der Montierung befestigt werden kann.

## **5 Quellen**

- [1] Hans Rohr: Das Fernrohr für Jedermann, Orell Füssli Verlag, Zürich 1972
- [2] Dieter Nährmann, Das Große Werkbuch Elektronik teil B, Franzis Verlag, München 1989

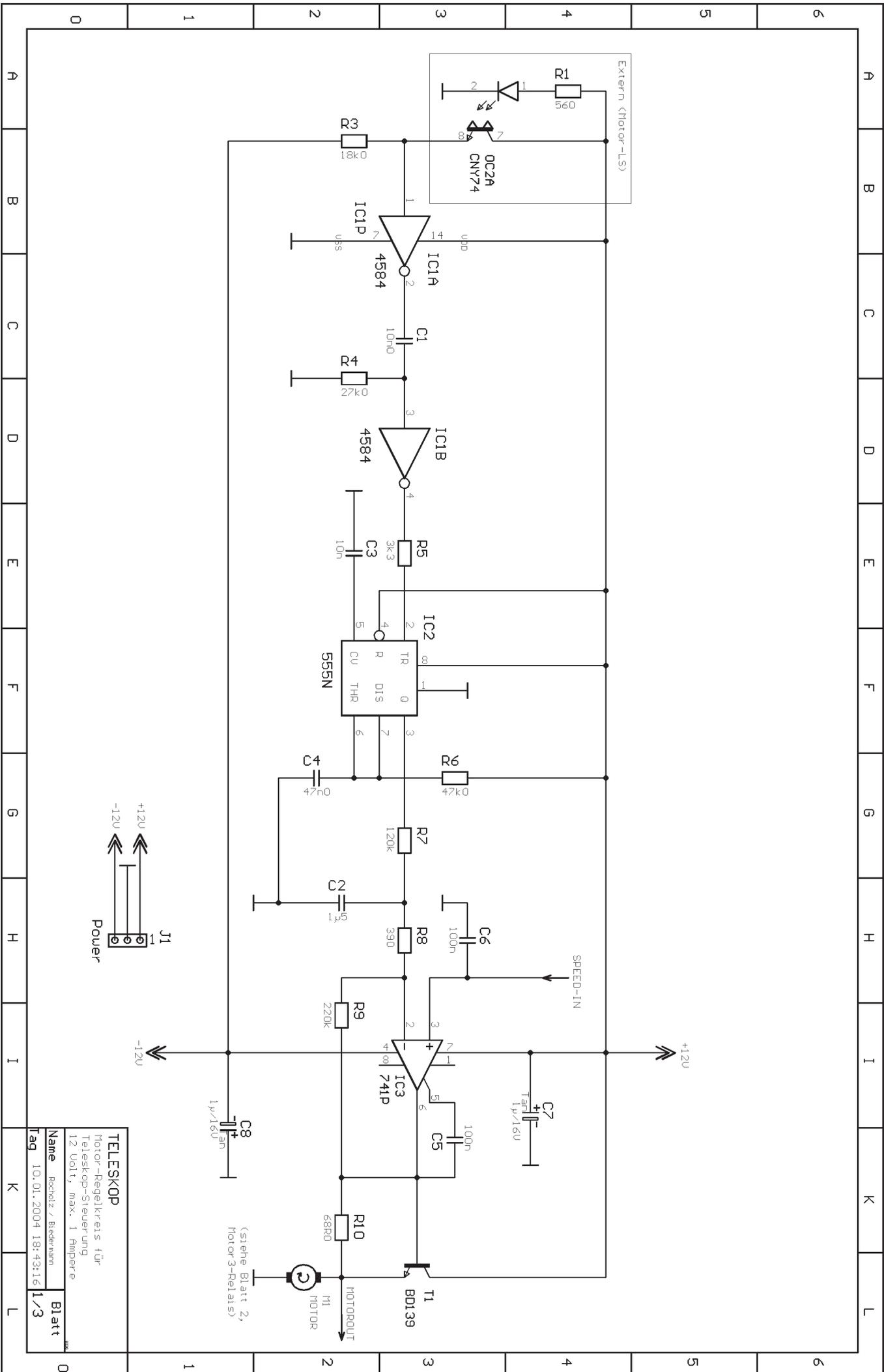
## **Danksagung**

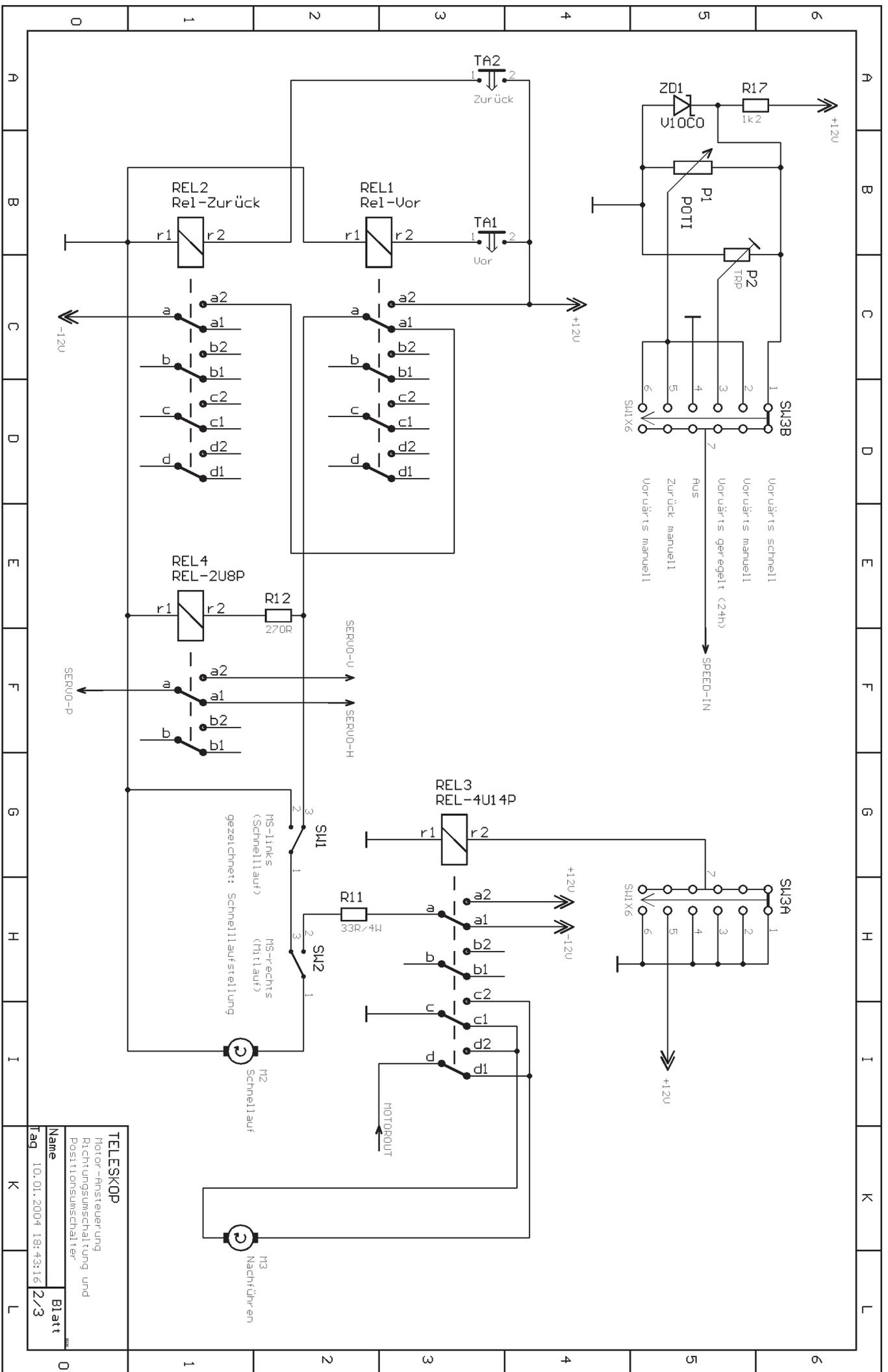
Besonderer Dank gilt Herrn Thomas Biedermann, der uns bei jeglicher Art von Problemen stets zur Seite stand und der sich eine Menge Zeit für unser Projekt genommen hat. Auch danken wir der Familie Biedermann, bei der wir während der langen Entwicklungszeiten immer freundlich aufgenommen und bewirtet wurden. Danke!



<b>TELESKOP</b>	
Motor-Regelkreits für Teleskop-Steuerung	
12 Volt, max. 1 Amper	
Name	Reicholz / Biedermaier
Tag	10.01.2004 18:43:16
Blatt	1/3

C8  
1µ/10V  
(siehe Blatt 2, Motor-3-Relais)

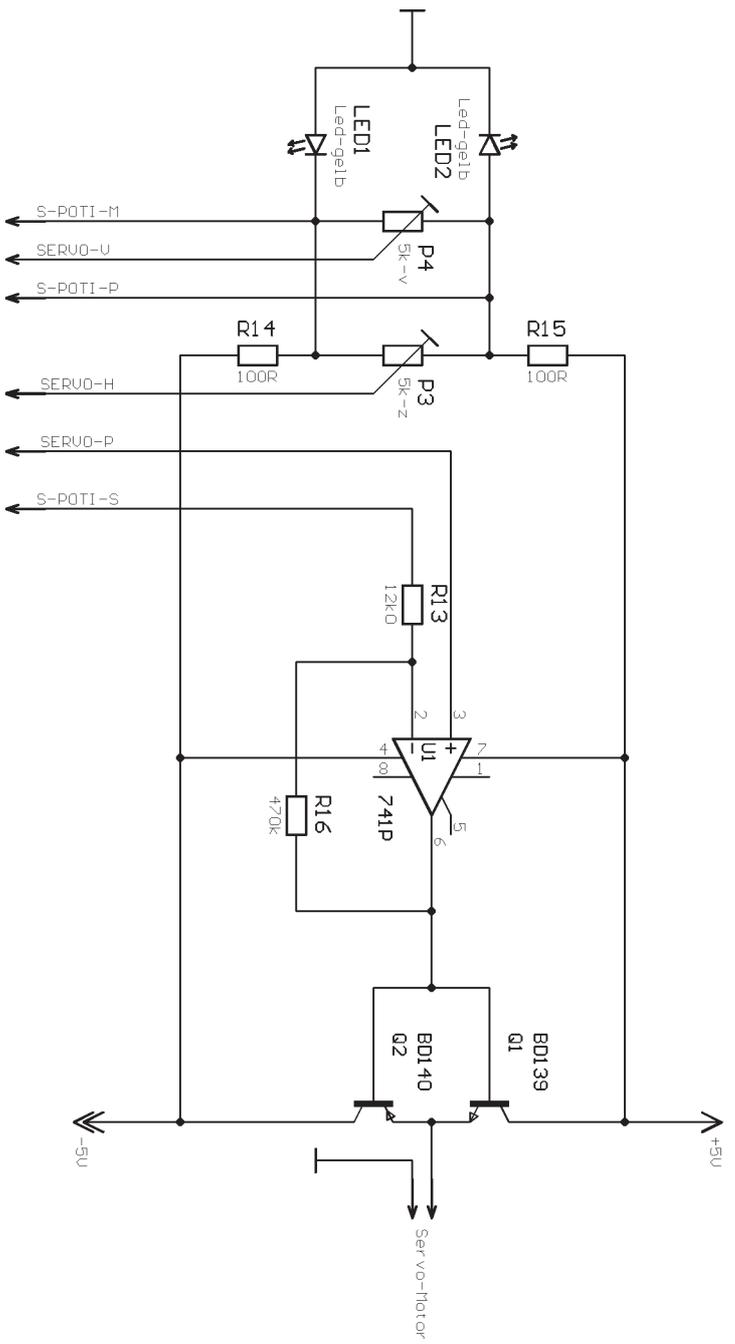




**TELESKOP**  
 Motor-Steuerung  
 Richtungsmaschine und  
 Positionsmaschine

Name  
 Tag 10.01.2004 18:43:16

Blatt  
 2/3



**TELESKOP**

Servo-Steuerung für  
Nachführmotor-Positionierung

Name

Tag 10.01.2004 18:43:16

Blatt

3/3