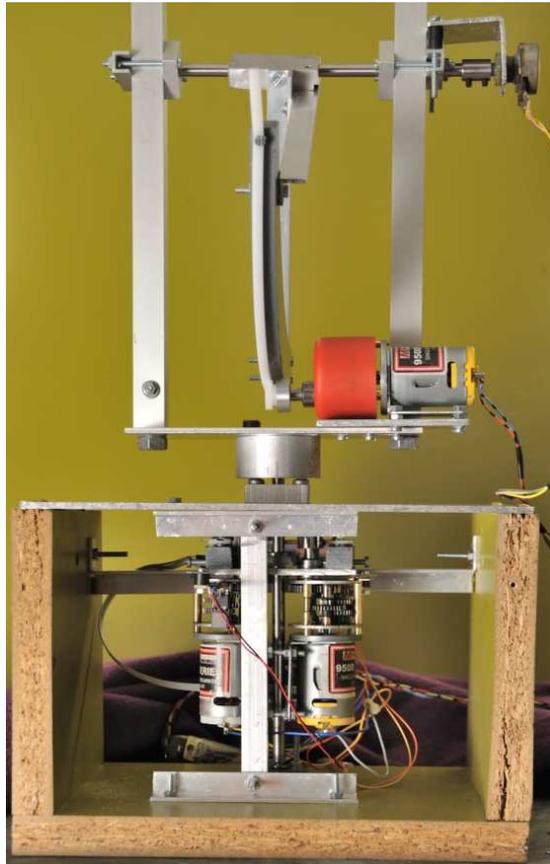


Verspanntes, spielfreies Antriebssystem zur genauen Positionierung eines Radioteleskops



Sophie Müller (17)

Fabian Jablonski (16)

Wettbewerb „Jugend Forscht“ 2014

Arbeitsgemeinschaft „Jugend Forscht“ des
Christian Gymnasium Hermannsburg
Betreuung: StD Thomas Biedermann

Inhalt

1.	Einleitung.....	2
1.1.	Unsere Radioastronomie-AG.....	2
1.2.	Unsere Aufgabe	2
2.	Verspannte Antriebe	3
2.1.	Einsatzgebiete.....	3
2.2.	Funktionsweise	3
3.	Mechanik.....	4
3.1.	Azimutantrieb	4
3.2.	Elevationsantrieb.....	5
4.	Elektronik.....	7
4.1.	Elevationsantrieb.....	7
4.2.	Azimutantrieb	8
4.2.1.	Getriebe-Abtastsensor und Signalformer	9
4.2.2.	Pulslängen-Einstellung und Mittelwertbildung.....	9
4.2.3.	Drehzahl-PWM und Leistungsendstufe	9
4.2.4.	Sollwert-Geber und Drehrichtungsumschaltung	10
4.2.5.	Präzisionsgleichrichter	10
4.2.6.	Drehmoment-Lichtschanke und Signalaufbereitung.....	11
4.2.7.	Sollwert-Aufbereitung.....	13
5.	Probleme und Fehleranalyse.....	13
5.1.	In der Mechanik.....	13
5.2.	In der Elektronik	14
6.	Fazit	14
7.	Ausblick	15
8.	Danksagung	15
9.	Quellen	15

1. Einleitung

1.1. Unsere Radioastronomie-AG

Wozu braucht man ein verspanntes Antriebssystem? Dieses Jahr beschäftigt sich unsere AG wieder mit verschiedenen Bereichen der Konstruktion eines Radioteleskops. Eine Gruppe beschäftigt sich mit der Hochfrequenztechnik und baut einen Netzwerkanalysator zur Vermessung von Bauteilen und zum Generieren eines Signals. Eine zweite Gruppe bezieht sich auf die Datenauswertung. Mit den empfangenen Daten wird ein 3D-Modell erstellt und mit Hilfe von Falsch-Farben dargestellt.

Damit wir das Teleskop möglichst genau positionieren können, haben wir uns in unserer Gruppe ein verspanntes System überlegt, das die mit einem einzelnen Motor erzielbare Stellgenauigkeit übertrifft.

1.2. Unsere Aufgabe

Vor einigen Monaten waren wir mit der gesamten AG bei einem Radioastronomie-Workshop am Radioteleskop in Effelsberg, in dem uns unter anderem viel von der Motortechnik erklärt wurde. Aus diesen Anregungen heraus entstand die Idee, für unser eigenes Teleskop ebenfalls einen vergleichbaren Antrieb zu bauen, der eine genauere Positionierung ermöglichen soll.



Abb. 1: Gruppenfoto in dem Parabol-Spiegel



Abb. 2: Das Radioteleskop in Effelsberg

Da hier sehr langsame Bewegungen erforderlich sind, müssen die Antriebsmotoren mit einem Getriebe versehen sein. Dies hat aber unweigerlich zur Folge, dass zwischen den beiden möglichen Drehrichtungen ein Spiel auftritt. Um dieses zu vermeiden, muss das zu bewegendes Objekt durch eine Gegenkraft so gegen den Antrieb verspannt werden, dass dieses Spiel nicht mehr auftreten kann. Die Verwendung von Federn hat den Nachteil, dass sie vom Drehwinkel abhängige Kräfte entstehen lassen, die oft unerwünscht sind. Eine

Alternative besteht darin, einen zweiten Motor zu verwenden, der diese Gegenkraft erzeugt. Einen derartigen Antrieb nennt man „verspannten Antrieb“.

Mit unserem Projekt haben wir vor, an einem Modell die Funktionen und Eigenschaften gegeneinander verspannter Motoren zu testen, um die Erkenntnisse später an dem größeren Teleskop anzuwenden.

Dazu sind sowohl mechanische als auch elektronische Probleme zu lösen.

Die Mechanik beinhaltet die Motoren und deren Befestigung sowie die von uns „Königsachse“ genannte Hauptwelle und deren Lager. Die Elektronik regelt das gegenseitige Ziehen und Spannen der Motoren durch Anlegen verschiedener Spannungen.

2. Verspannte Antriebe

2.1. Einsatzgebiete

Verspannte Antriebe werden vor allem in Bereichen eingesetzt, in denen man eine extrem hohe Stellgenauigkeit benötigt. Das gilt vor allem für die Radioastronomie, so muss z.B. der 100-m-Reflektor des Effelsberger Teleskops mit einer Genauigkeit von 0,3 mm ausgerichtet werden können, das entspricht einer Winkelauflösung von einer Bogensekunde.

2.2. Funktionsweise

Für einen verspannten Antrieb werden zwei Motoren benötigt, die beide in ein und dasselbe Zahnrad (Hauptzahnrad) eingreifen. Die Drehzahl des Antriebs wird über einen Soll-Wert vorgegeben. Im Idealfall erzeugen beide Motoren das gleiche Drehmoment, damit ist die von ihnen auf das Hauptzahnrad ausgeübte Kraft ebenfalls gleich und es entsteht keine Verspannung. Erhöht man die Leistung eines der Motoren, ändert sich das Drehmoment und damit auch das Kräfteverhältnis. Bei einem elastischen System führt das zu einer Verformung der Hauptachse, die ein Maß für das unterschiedliche Drehmoment ist. Es kommt nun darauf an, diese Drehmomentänderung zu erfassen und nachzuregeln. An dieser Stelle kann man sich immer gut zwei Personen vorstellen, die beide jeweils ihre rechte Hand gegeneinander legen. Drücken beide gleich stark, bleiben die Hände in der Mitte. Ist einer stärker als der andere, so bewegen sich die Handflächen zur anderen Person.

Um nun das Teleskop zu bewegen, muss die Drehzahl und Drehrichtung beider Motoren verändert werden, ohne dabei das resultierende Drehmoment zu verändern. Verspannte Antriebe liefern eine genauere Positionierung, da die Zahnräder sich dadurch spielfrei bewegen.

3. Mechanik

Da das Radioteleskop in Effelsberg die „Vorlage“ für unser Projekt ist, wollen wir die dort verwendete Technik hier kurz beschreiben.

3.1. Azimutantrieb

In **Effelsberg** wird das gesamte Gewicht von ca. 3600 t auf dem Azimutantrieb gelagert. Es ist so realisiert, dass die Antriebe auf einer kreisförmigen Schiene rund um das Teleskop laufen. Auch hier werden verspannte Motoren für den Azimutantrieb am Teleskop eingesetzt, die in verschiedenen Gängen fahren und die die Konstruktion bis zu 480° drehen können. Die Motoren sind in mehrere Antriebsblöcke auf vier „Beine“ unterteilt. Die Möglichkeit, die Geschwindigkeit präzise einstellen zu können, spielt bei der Verfolgung von Objekten eine sehr wichtige Rolle.

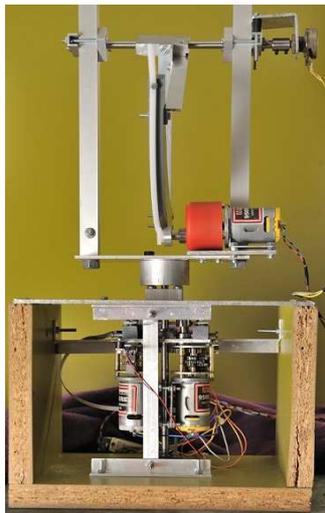


Abb. 3: Unser Modell gesamt

Für **unser Modell** haben wir einen Rahmen aus Holz (s. Abb. 3) gebaut, der eine Deckplatte aus Aluminium besitzt und in dem die Antriebstechnik angebracht ist. Der erste Schritt war die Königsachse, auf der alles aufgebaut ist (s. Abb. 4). Dabei handelt es sich um eine Welle, die senkrecht in der Mitte verläuft und auf einem Kunststoffblock mit einem Druckkugellager abgestützt ist. Das Kugellager fängt vor allem die Gewichtskraft des Teleskops ab. Das obere Königsachsenlager fixiert die Welle am oberen Ende. Unterhalb der Deckplatte befindet sich das Hauptzahnrad, das in zwei kleinere Zahnräder auf den Motorachsen greift, die die Welle antreiben. Die Motoren sind gegeneinander fixiert, damit sie sich nicht aus ihrer Position drehen können. Dabei verläuft die Welle zwischen diesen beiden hindurch. Auf der Rückseite befindet sich ein Träger aus einem Winkelprofil, dieser ist durch weitere Winkelprofile an der oberen und unteren Platte befestigt. An diesem Träger sind die Motoren montiert und müssen wegen der passgenauen

Das obere Königsachsenlager fixiert die Welle am oberen Ende. Unterhalb der Deckplatte befindet sich das Hauptzahnrad,

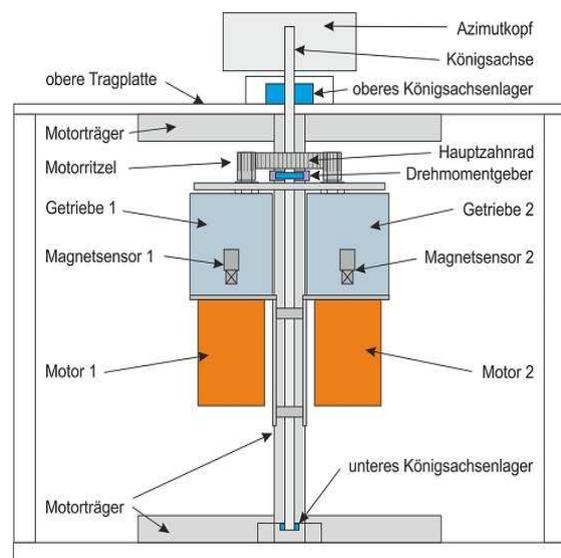


Abb. 4: Konstruktionszeichnung des Aufbaus des Azimutantriebs

Zahnräder sehr genau ausgerichtet werden, ansonsten würden die kleinen Zahnräder bald abgenutzt sein. Außerdem sind zwei verschiedene Arten von Sensoren durch weitere kleinere Befestigungswinkel an den jeweiligen Komponenten angebracht. Zur Realisierung des Drehmomentsensors (s. Abb. 5) haben wir eine Lichtschranke genommen, die nicht wirklich das Drehmoment misst, sondern eine Verschiebung der Hauptachse durch ein Ungleichgewicht der durch die Motoren ausgeübten unterschiedlichen Kräfte. Zur Drehzahlregelung haben wir an einem geeigneten Zahnrad im Getriebe der Motoren jeweils einen Magnetsensor angebracht, der die Drehzahl misst (s. Abb. 6, links; Abb. 4). Oberhalb der Metallplatte führt die Welle durch ein Drehlager und das obere Königsachsenlager in einen massiven runden Aluminiumblock, der mit einer Madenschraube an der Achse fixiert ist. Darauf ist eine Trägerplatte montiert, auf der sich der Elevationsantrieb mit dem Reflektor befindet.

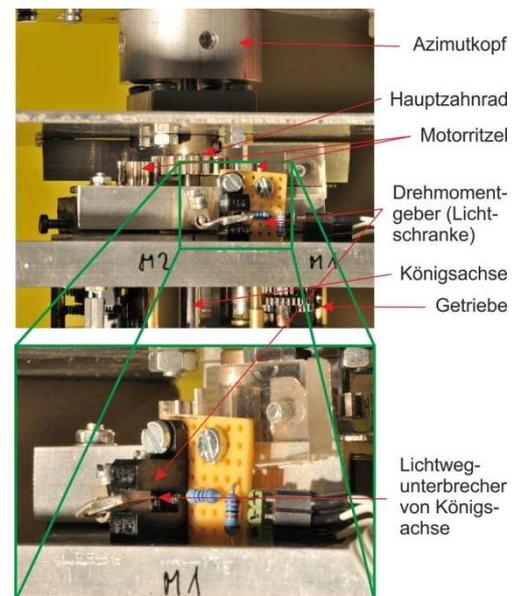
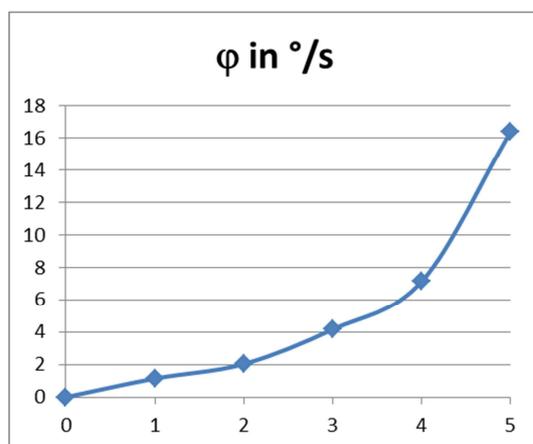


Abb. 5: Der Drehmomentsensor im Detail und beschriftet

Durch verschiedene Einstellungen der Motoren können verschiedene Geschwindigkeiten gefahren werden. Das Potentiometer für die Geschwindigkeit ist von 0 bis 10 unterteilt, wobei 5 den Stillstand des Antriebs bedeutet. Einstellungen eines Wertes > 5 lassen das Teleskop mit zunehmender Geschwindigkeit gegen den Uhrzeigersinn fahren und für Werte < 5 mit dem Uhrzeigersinn. Wenn man sich die erzielbaren Winkelgeschwindigkeiten anschaut, stellt man fest, dass die Geschwindigkeit annähernd exponentiell zunimmt.



Diagr. 1: Winkelgeschwindigkeit bei verschiedenen Sollwerten



Abb. 6: Der Getriebekopf mit Magnetsensor

Der Elevationsantrieb führt eine vertikale Schwenkbewegung um die Querachse aus. In

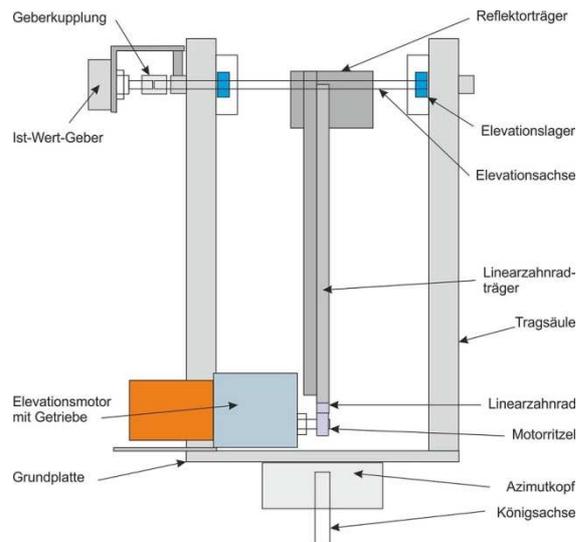


Abb. 7: Konstruktionszeichnung des Elevationsantriebs, frontal



Abb. 8: Der Elevationsantrieb, gesamt

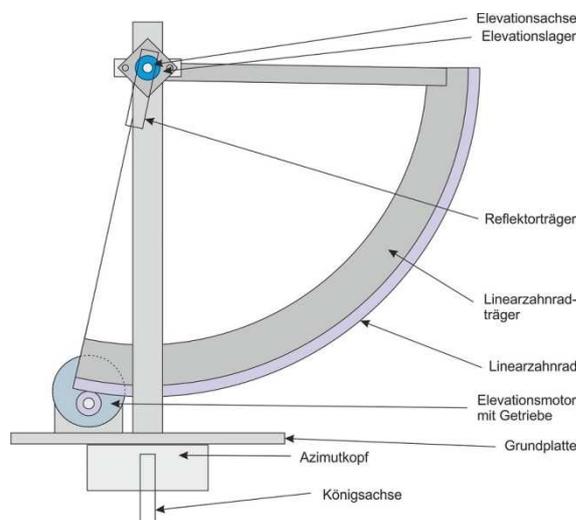


Abb. 9: Konstruktionszeichnung des Elevationsantriebs, seitlich

Effelsberg wird auch hier ein verspannter Antrieb genutzt, der in ein leicht gebogenes Linearzahnrad greift. Wie bei dem Azimutantrieb ist auch dieser Antrieb mit verschiedenen Geschwindigkeiten fahrbar und erlaubt einen Stellwinkel von um 97° .

Unser Modell hat nur einen Motor für die Elevation, da wir uns eher auf den Azimutantrieb konzentriert haben und die Bewegung in Elevationsrichtung nur ein „Zusatzbonbon“ sein sollte. Dafür kann er den

Parabolspiegel ebenfalls um knapp 90° schwenken.

Um die Querachse zu halten, haben wir Rechteckprofile seitlich auf der Platte montiert. Dafür haben wir den Kopf von breiten kurzen Schrauben ein wenig abgeschliffen, damit sie genau in die Rohre passen. Mit einem durchgehenden Querloch im Träger und in der Schraube wird diese fixiert. Die Welle des Elevationsantriebs endet auf der einen Seite in einem Lager, führt allerdings auf dem anderen Ende durch ein zweites Lager zum Istwert-

Geber (s.u.). Zur Justierung der Elevationsachse wurden in den Lagern Löcher so gebohrt, dass zwei lange Schrauben am Träger vorbei geführt werden und in einer Halterungsstange aus einem U-Profil enden können. Werden die Schrauben durch Muttern festgezogen, hält dieser Aufbau die gesamte Achse mit Zahnstange. Nun endet die eine Seite nicht vor dem Träger, sondern geht wie gesagt weiter. Für den Istwert-Geber ist hinter

diesem U-Profil ein Winkel montiert, der ein Potentiometer trägt. Das Potentiometer ist mit einem Adapter auf der Achse angebracht.

Mittig auf der Achse ist ein Metallblock aufgesetzt, der durch eine Madenschraube justierbar ist. Auf der Flachseite wird der Parabolspiegel angebracht werden. Seine Längsseite, bzw. die zweite Flachseite, dient als Haltefläche für den Zahnstangenträger. Als Stützen werden wieder Winkelprofile benutzt. Diese halten einen Kreisausschnitt, dessen Außenseite einen perfekten Kreisbogen beschreibt und an der die Zahnstange aufgeschraubt ist.

In diese greift nun ein kleines Zahnrad, das mit einem Adapter auf die Motorachse des Elevationsmotors gesteckt wurde. Stange und Rad sind jeweils aus Acryl. Nun muss nur noch der dazugehörige Motor platziert werden. Leider war hier zu wenig Platz und wir benötigten dazu eine weitere Platte, die wir auf die große Tragplatte schraubten.

Dieser stark vereinfachte Antrieb kann zwar keine verschiedenen Geschwindigkeiten fahren, erlaubt allerdings das Anfahren einer bestimmten Position. Um einen Winkel von ca. 80° zu fahren, benötigt dieser Antrieb etwa 25 s. Die reproduzierbare Positionsgenauigkeit liegt bei ca. 0,5 mm.

4. Elektronik

Die Elektronik zum Ansteuern und Regeln der Azimutmotoren und des Elevationsmotors stellt den zweiten Teil unseres Projektes dar. Dabei haben wir unterschieden zwischen einer Ansteuerung für den Azimutantrieb und den Elevationsantrieb.

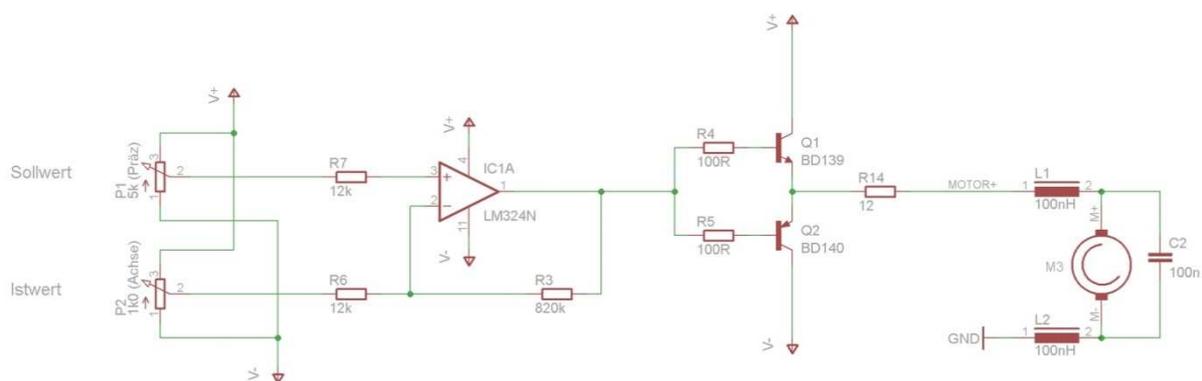


Abb. 10: Schaltplan des Elevationsantriebs

4.1. Elevationsantrieb

Die Ansteuerung für den Elevationsantrieb ist hauptsächlich mit zwei Potentiometern (P2,P1) realisiert. Eines der beiden (P2) fungiert als Winkelmesser, da es an die Querachse angebracht ist und sich der Widerstand je nach Stellung des Teleskops in einer bestimmten Stellung befindet. Diese Stellung zeigt den Ist-Wert. Mit dem anderen Potentiometer (P1)

kann man den Soll-Wert regeln. Mithilfe eines Operationsverstärkers (IC1A) wird nun versucht, den Ist-Wert an den Soll-Wert anzunähern. Dabei kommt am Ausgang des Operationsverstärkers entweder eine negative oder eine positive Spannung heraus. Dem entsprechend wird jeweils einer der beiden Transistoren (Q1,Q2) angesteuert. Der erste Fall wäre also: Die Spannung ist positiv und geht aus diesem Grund auf die Basis von Transistor 1. Am Kollektor des Widerstands sind +12V angelegt, also liegt eine positive Spannung am Motor an, der nun eine Bewegung in die entsprechende Richtung ausführt. Im anderen Fall wird der andere Transistor leitend, dessen Kollektor jedoch an -12V angeschlossen ist. Dies führt dazu, dass der Motor in die entgegengesetzte Richtung fährt.

4.2. Azimutantrieb

Die Steuerung für den Azimutantrieb ist dagegen in viele verschiedene Hauptkomponenten unterteilt. Im Prinzip ist es ähnlich wie bei dem Elevationsantrieb, denn es gibt Sollwerte, die mit einem Ist-Wert verglichen und an diesen angenähert werden.

Diese Motorsteuerung ist eine geschwindigkeitsgeregelt Steuerung, denn wenn einer der beiden Sollwerte erhöht oder erniedrigt wird, verändert sich die Drehzahl des Motors, also die Geschwindigkeit.

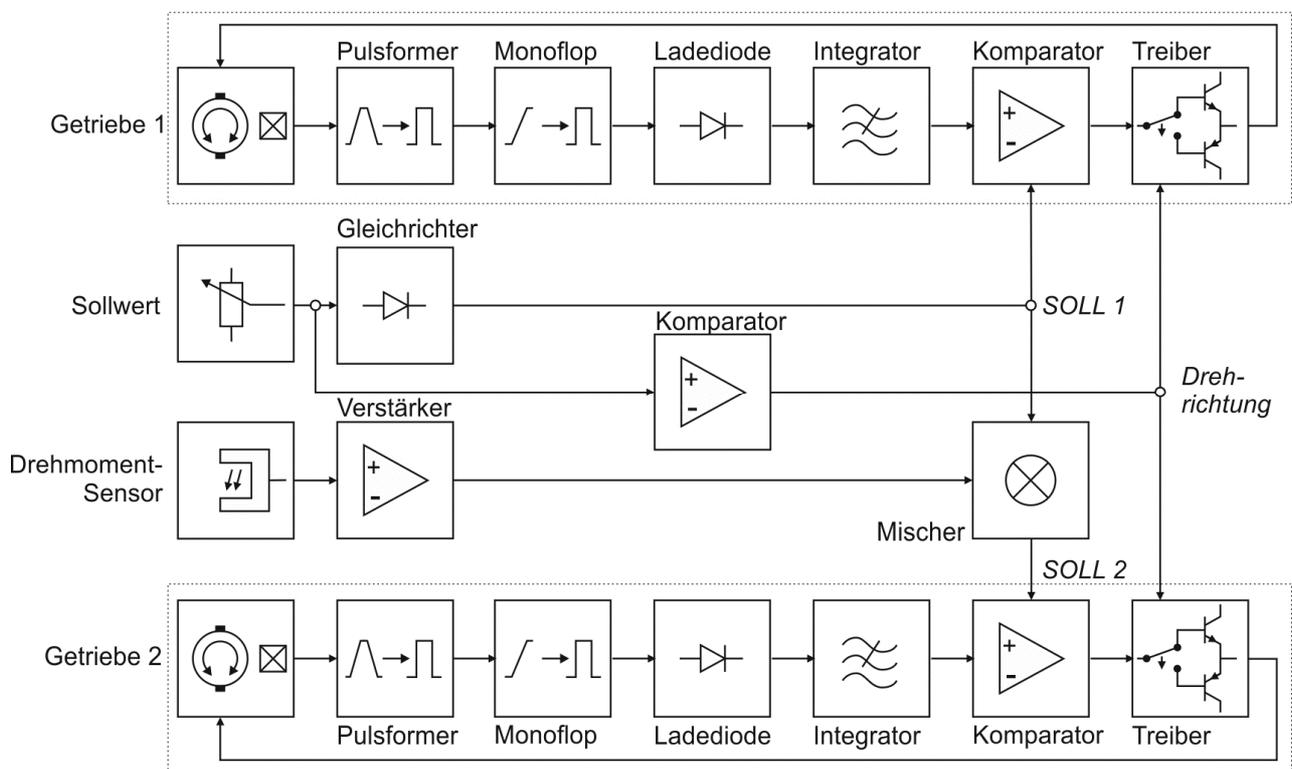


Abb. 11: Blockschaubild der Motorregelung (die beiden gestrichelt umrahmten Komponenten sind identisch aufgebaut)

4.2.1. Getriebe-Abtastsensor und Signalformer

Die Magnetsensoren MS1, MS2[3] sind am untersten Getriebezahnrads befestigt und können die Drehzahl der Motoren M1 und M2 durch den Wechsel zwischen Lücke und Zahn erfassen. Dabei machen wir uns die Eigenschaft eines magnetischen Feldes zu Nutze. Das führt bei uns dazu, dass ein Strom von 14 mA bei einem Zahnrad aufgenommen wird und 7 mA bei einer Lücke. Daraus ergibt sich, dass 0,85 V bzw. 1,70 V am Widerstand (R1) abfallen. Da diese Spannungen im Low-Zustand bereits höher sind als die Durchschaltspannung 0,7 V des Transistors (Q1) [1, S. 39], muss ein Spannungsteiler (R2, R3) eingebaut werden, der bewirkt, dass wenn sich die Basisspannung im Low-Zustand befindet die Kollektorspannung von 5 V angenommen wird, also dem Pegel High entspricht. Umgedreht, wenn am Basiseingang der High-Zustand anliegt, sinkt die Spannung am Kollektor auf 0,8 V, sodass er sich im Low-Zustand befindet. Dieses Signal wird mit Hilfe eines Schmitt-Trigger-Inverters (IC2A) invertiert und auf einen TTL-Pegel (5V) konvertiert. Mit dem Schmitt-Trigger haben wir eine höhere Störsicherheit und eindeutige digitale Signale.

4.2.2. Pulslängen-Einstellung und Mittelwertbildung

IC1A wird angeregt durch den Wechsel der High- und Low- Signale aus dem Schmitt-Trigger-Inverter. Er verleiht unserer Schaltung eine zeitliche Komponente, die durch den Widerstand R5 und Kondensator C1 bestimmt ist. Dies spiegelt sich in der Länge des Impulses am Ausgang Q wider. Über den Widerstand R6 und die Diode D1 wird mit diesem Impuls ein

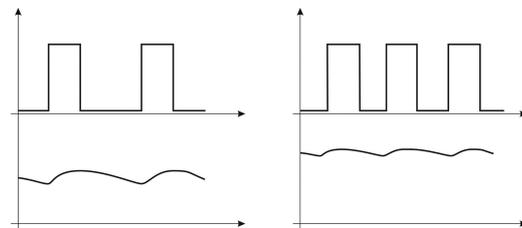


Abb. 12: Spannung an C2 bei geringerer (links) und höherer (rechts) Drehzahl des Getriebes.

Kondensator kurzzeitig aufgeladen. Da der Widerstand (R7) viel größer ist als die Kapazität des Kondensators, wird der Kondensator langsamer entladen als aufgeladen. Das heißt, wenn die Impulse rascher aufeinander folgen, steigt die Spannung am Kondensator. Daraus ergibt sich eine ungefähre Proportionalität zwischen der Drehzahl des Motors und der Spannung am Kondensator.

4.2.3. Drehzahl-PWM und Leistungsendstufe

Die Spannung des Kondensators fällt teilweise auch an den beiden Operationsverstärker (IC3A, IC3B) ab, die als Komparatoren geschaltet sind. Die beiden anderen Eingänge sind mit

der Soll-Spannung belegt, allerdings genau entgegengesetzt. An den Ausgängen dieser beiden OPs fließt nun eine Spannung auf die Leistungsendstufen (IC4A, IC4B). Es können jedoch nicht beide Transistoren gleichzeitig aktiviert werden, da die Vorzeichenerkennung der Soll-Spannungserzeugung entweder IC4A oder IC4B versorgt. Angenommen, die Soll-Spannung ist größer als die Ist-Spannung, muss der Motor beschleunigt werden, also wird einer der Transistoren leitend, während der andere sperrt. Im umgekehrten Fall verhält es sich genauso. Ist der Ist-Wert größer als der Soll-Wert, muss der Motor gebremst werden, also sperrt der vorher leitende Transistor und der gesperrte leitet wieder. Diese Steuerung kann man als Pulsweitenmodulation (PWM) bezeichnen, wobei sich die Pulsbreite so einstellt, dass eine beliebige Drehzahl erzeugt werden kann. [1, S. 181ff, S. 533]

4.2.4. Sollwert-Geber und Drehrichtungsumschaltung

Der Sollwert-Geber stellt ein Potentiometer dar, mit dem man die Drehgeschwindigkeit und Richtung stufenlos einstellen kann. Der Operationsverstärker IC5A fungiert hier als Verstärker, der durch die Widerstände R11 und R32 bestimmt wird und das Vorzeichen des Sollwertes ermittelt. Über einen Schmitt-Trigger-Inverter (IC2D) wird das Ausgangssignal auf einen Analog-Umschalter gegeben, der gleichzeitig als Pegelwandler dient. Der zweite Inverter (IC2E) hat die Aufgabe, dass immer nur genau einer der jeweils gepaarten Pegelwandler aktiviert ist, woraus sich auch die Drehrichtung der Motoren ergibt.

4.2.5. Präzisionsgleichrichter

Da die Drehzahlregelung nicht mit negativen Spannungen arbeiten kann, wir jedoch mit unserem Potentiometer sowohl positive, als auch negative Spannungen erstellen können, wird ein Gleichrichter benötigt. Dieser kann 2 verschiedene Zustände annehmen. Der erste Zustand ist, dass OP (IC7A) als Inverter funktioniert. Wenn also eine positive Spannung anliegt, ist die Spannung am Ausgang negativ. Daraufhin sperrt Diode D5 und D6 leitet. Der Strom fließt dann zu IC7B und wird dort mit der Spannung aus dem Poti R31 addiert. Die andere Position, die der OP (IC7A) einnehmen kann, ergibt sich, wenn eine positive Spannung am Eingang anliegt und somit wegen der gewechselten Sperrrichtung der Dioden am Ausgang keine Spannung entsteht. Auch hier werden wieder die Spannungen addiert und mit OP (IC7B) angenähert. Mit diesem Vorgang bekommen wir zwei resultierende Spannungen am Ausgang von IC7B, mit denen wir nun den Motoren sowohl eine grundsätzlich positive Sollspannung für die Drehzahl geben können. [1, S. 868f]

4.2.6. Drehmoment-Lichtschanke und Signalaufbereitung

Unsere Lichtschanke [4, S. 4] besteht aus einer IR-Diode, die hier mit 10 mA betrieben wird, und einem Fototransistor. Wenn nun Licht auf die Basis des Transistors fällt, wird dieser leitend und die Spannung am Kollektor fällt ab. Diese Methode machen wir uns in unserer Schaltung als Drehmomentsensor zu Nutze. Dieser Sensor misst allerdings eine Verschiebung. Diese kann mit einer extrem hohen Genauigkeit gemessen

werden, da die Lichtschanke über 0,8mm ihren Strom um nahezu 100 % ändert (Abb.2) Im Normalzustand müssten sich die Motoren und die Achse genau auf einer Linie befinden. Wenn nun ein zusätzliches Drehmoment auftritt, wird sich die Lage der Motoren relativ zum Königszapfen verändern. Ein Unterbrecherstreifen in der Lichtschanke stört den Lichtweg zum Fototransistor. Dieser Streifen ist an

einem Lager befestigt, das sich an der Königsachse befindet, und immer, wenn die Motoren ihre Lage verändern, verschieben sie auch die Achse und damit den Unterbrecher in der Lichtschanke. Die sich daraus ergebende Spannung wird an IC8A mit der eingestellten Spannung des Potentiometers verglichen, sodass eine Korrekturspannung am Ausgang entsteht. Damit man auch hier die Korrekturspannung in beiden Drehrichtungen fahren kann, wird ein Inverter [1, S. 136] benötigt (IC8B). Die beiden OPs (IC9A, IC9B) werden genau wie IC4A und IC4B über die Analogschalter [5] angesteuert und mit der Vorzeichenerkennung ausgewählt, um jeweils die korrekte Korrekturspannungen weiterzuleiten.

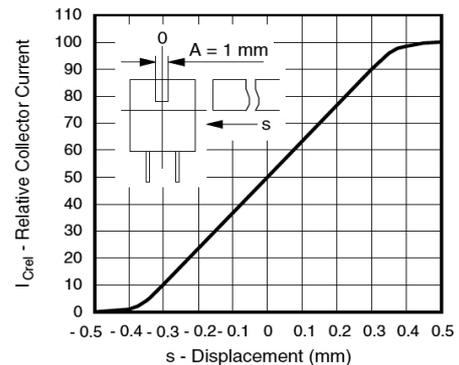


Abb. 13: Auflösung der Lichtschanke

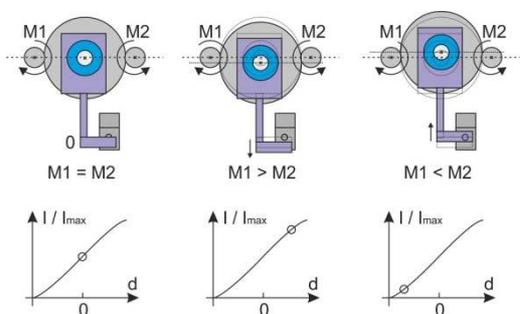


Abb. 14: Auswirkungen von einer Verschiebung der Königsachse

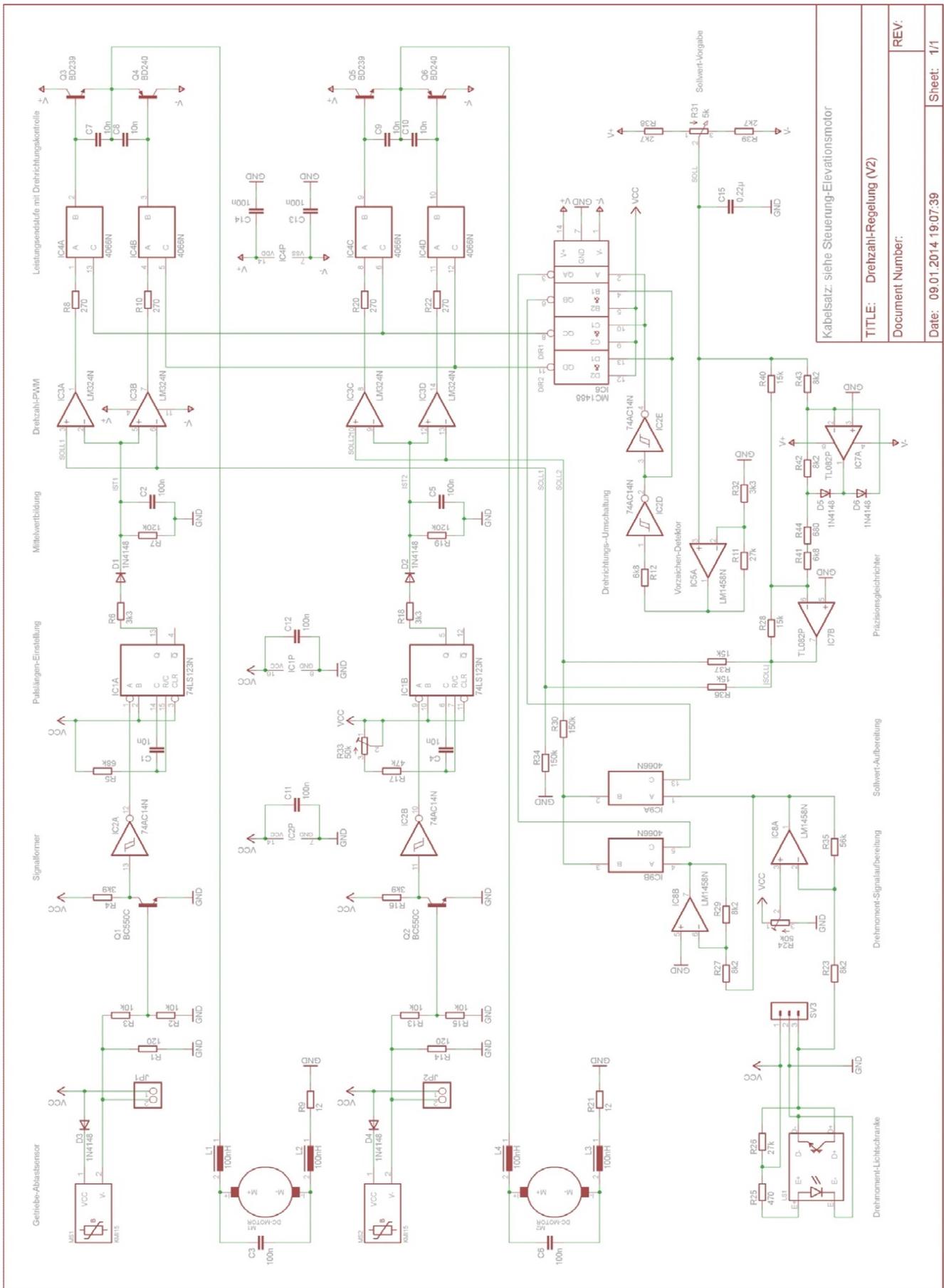


Abb. 15: Schaltplan der Azimutsteuerung

Kabelsatz: siehe Steuerung-Elevationsmotor	
TITLE: Drehzahl-Regelung (V2)	REV:
Document Number:	
Date: 09.01.2014 19:07:39	Sheet: 1/1

4.2.7. Sollwert-Aufbereitung

Die Sollwerte 1 und 2 für die beiden Motoren aus dem Präzisionsgleichrichter und der Korrekturspannung der Drehmomentüberwachung werden über die Widerstände R36, R37 und R30 additiv zusammengeführt. R34 wird benötigt, damit die resultierenden Gesamtwiderstände der beiden Zweige gleich groß sind.

5. Probleme und Fehleranalyse

Bei einem solchen Projekt können natürlich auch Fehler passieren, bzw. Ungenauigkeiten auftreten. Außerdem standen wir oft genug vor Problemen, die wir lösen mussten bevor es weiter gehen konnte.

5.1. In der Mechanik

Für unser Vorhaben, ein möglichst spielfreies Steuerungssystem zu bauen, haben wir anfangs Zahnräder aus Kunststoff geplant. Jedoch würden diese bei den enormen Kräften, die auf die Räder wirken, zerrissen werden.

Auch sind die Kräfte für ein Verdrehen der Motoren verantwortlich, welches erst durch eine kleine Aluminiumplatte gelöst werden sollte. Sie sollte waagrecht die Motorachsen verbinden und die Achse mittig durchlaufen lassen. Allerdings wären die Motoren zu dicht aneinander gewesen, um die Welle noch hindurch zu lassen. Letztendlich wurden die Motoren so zusammengeschraubt wie oben beschrieben.

Nach der ersten Inbetriebnahme bemerkten wir, dass die Motorzähne sich ständig aus dem Hauptzahnrad drehten oder festhaken, weil die Drehzahl eines Motors nicht gestimmt hat. Dadurch ist dieser nicht mehr hinterher gekommen und hakte sich fest. Die Lösung waren die Magnetsensoren (siehe oben). Zur genauen Justierung wurden auf der oben beschriebenen Aluminiumplatte Kunststoffblöcke gesetzt. Mit deren Hilfe können die Motorachsen in Richtung des Hauptzahnrades nahezu spielfrei ausgerichtet werden.

Die Winkelprofile sind verschiebbar, damit auch der gesamte Motorblock genau ausgerichtet werden kann.

Ungenauigkeiten in unserer Arbeit können natürlich durch ungenaues Abmessen der Abstände entstehen. Dadurch können sich z.B. bewegliche Teile verklemmen. Motoren können fehlerhaft justiert sein und so ein Spiel erzeugen, bei dem sie sich verkanten können oder gar einen Zahn überspringen.

5.2. In der Elektronik

Die größten Bedenken am Anfang unseres Projekts bestanden weniger in der Mechanik, sondern in der Elektronik. Und so kam es dann schließlich auch. Zuerst versuchten wir die Azimutsteuerung komplett ohne jegliche Sensoren zu bauen. Wie sich herausstellte, war dies unmöglich, da trotz der Regelung durch äußere Einflüsse die Motoren nicht das taten, was sie tun sollten. Allerdings ist die jetzige Schaltung durch die verschiedenen Sensoren erheblich komplizierter geworden. Vor allem spielt der Drehmomentsensor eine große Rolle. In der früheren Schaltung hätten die Motoren den ganzen Aufbau zerreißen können, wenn die Kräfte und damit das resultierende Drehmoment zu unterschiedlich gewesen wären. Um das Drehmoment besser kontrollieren zu können, mussten wir uns einen Drehmomentsensor ausdenken. Dazu überlegten wir, welche Folgen ein größeres Drehmoment eines Motors haben würde, bis wir darauf stießen, dass sich der betreffende Motor aus seiner Position am Hauptzahnrad drehen würde. Also kam die Idee auf, dass man doch das Drehmoment nicht über eine Verdrehung, sondern eine Verschiebung der eigentlich in einer Linie befindlichen Motoren und Königsachse bestimmen könnte. Uns erschien die Variante mit der Lichtschranke dazu am einfachsten. Um nun das Drehmoment entsprechend auszugleichen, musste eine Nachführung der Drehzahl eingerichtet werden. Die resultierende Spannung, die auf den Motor übertragen werden soll, musste also in eines der beiden Sollsignale gemischt werden. Mit dieser Steuerung wird jetzt ein Motor mit dem Soll-Wert 1 gefahren, der andere Motor erhält mit dem Soll-Wert 2 eine Nachführung unter Berücksichtigung der äußeren Einflüsse. Die Magnetsensoren sind insofern wichtig, dass wir zu jeder Zeit eine Überwachung der Drehzahl haben.

6. Fazit

Der mechanische Aufbau zeigte uns, dass es wichtig ist, möglichst genau zu bauen, damit eine Positionierung mit kleinsten Abweichungen möglich ist. Außerdem sind stabile Materialien notwendig, da die wirkenden Kräfte enorm groß sind und, wie es häufig auch vorgekommen ist, ein ganzes Bauteil auch zerstören können. Darum haben wir uns oft für Materialien wie Aluminium entschieden.

Der elektrische Aufbau schützt Motoren und Mechanik vor Abnutzung oder gar Zerstörung. Die eingebauten Sensoren machen die genaue Ansteuerung der Motoren überhaupt erst möglich. Außerdem haben wir mit ihnen mögliche Gefahrenpotenziale außer Kraft gesetzt.

7. Ausblick

Noch haben wir es nicht geschafft, unser Modell fertig zu bauen. Unsere Zielsetzung wurde zwar erfüllt, jedoch sind es noch Kleinigkeiten, die fehlen.

So fehlen noch Sicherheitsendanschlagsschalter, die ausgelöst werden, sobald das Ende der Zahnstange des Elevationsantriebs oder eine Umdrehung des Azimutantriebs erreicht sind. Dadurch verhindern wir zum Einen das Abrutschen des Motorritzels vom Linearzahnrad und zum Anderen das Aufwickeln der Kabel um die Königsachse.

Außerdem versuchen wir noch, die grundlegende Schaltung auf eine Platine zu löten und den Antrieb für die Elevation zu kalibrieren. Für letzteres werden die zwei Endanschlagsschalter benötigt. Ist dies geschehen, kann man auch genauere Messungen der Winkelgeschwindigkeiten dieses Antriebs durchführen.

Um auf den Rahmen unserer AG zurück zu kommen: Im Sommer dieses Jahres soll eine Motormechanik für unseren 4 m-Parabolspiegel geliefert werden. Ansätze der fehlenden Ansteuerung wurden in diesem "Jugend Forscht"-Projekt erforscht und werden auch so weitgehend übernommen werden können.

8. Danksagung

Wir bedanken uns ganz herzlich bei Herrn Biedermann, der seine Zeit für uns geopfert und uns mit vielen guten Anregungen in unserem Projekt maßgeblich unterstützt hat. Außerdem danken wir auch der restlichen Familie, die uns mit gutem Essen und Getränken versorgt hat.

9. Quellen

[1] U. Tietze, Ch. Schenck: Halbleiter-Schaltungstechnik, 9. Auflage, Springer-Verlag Berlin, 1989

[2] Texas Instruments: Datenblatt (PDF) zum NE 555, Texas Instruments 1991

[3] Philips: Datenblatt (PDF) zum KMI15/1, Philips Corporation 1996

[4] Vishay Semiconductors: Datenblatt (PDF) zum TCST 2103, Vishay Semiconductors 2009

[5] Maxim: Datenblatt (PDF) zum MC1488, Maxim Integrated Products 1995