

# **Entwicklung und Montage von Sicherungen zur gefahrlosen Bedienung eines selbstgebauten Radioteleskops**



**Tim Rambousky (16)**

**Fabian Jablonski (17)**

**Wettbewerb „Jugend Forscht“ 2015**

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

## Inhalt

|        |   |   |
|--------|---|---|
| 1.     | Einleitung.....                               | 2 |
| 1.1.   | Zusammenhang Radioastronomie-Projekt.....     | 2 |
| 1.2.   | Was genau wird uns beschäftigen.....          | 2 |
| 2.     | Aufbau des Teleskops.....                     | 2 |
| 2.1.   | Aufbau der Motorsteuerung.....                | 3 |
| 2.1.1. | Azimut .....                                  | 3 |
| 2.1.2. | Elevation.....                                | 4 |
| 2.1.3. | Software .....                                | 4 |
| 3.     | Außeneinflüsse.....                           | 4 |
| 3.1.   | Wind.....                                     | 4 |
| 3.2.   | Regen (Blitz) .....                           | 5 |
| 3.3.   | Schnee/Eis.....                               | 5 |
| 4.     | Entwicklung und Montage von Sicherungen ..... | 5 |
| 4.1.   | Sturmsicherung.....                           | 5 |
| 4.2.   | Elevation .....                               | 7 |
| 4.3.   | Sicherungselektronik .....                    | 7 |
| 5.     | Aussicht .....                                | 8 |
| 6.     | Fazit .....                                   | 9 |
| 7.     | Danksagung .....                              | 9 |
| 8.     | Quellenverzeichnis .....                      | 9 |

## 1. Einleitung

### 1.1. Zusammenhang Radioastronomie-Projekt

Wie sind wir auf die Idee gekommen Sicherungen für unser Radioteleskop zu bauen? Zunächst muss gesagt werden, dass wir im Rahmen der Jugend-Forscht AG unserer Schule vor 2 Jahren mit dem Thema Radioastronomie begonnen haben. In den vergangenen Jahren haben wir es bereits so weit gebracht, dass wir im Winter 2014 das erste voll einsatzfähige Radioteleskop in Betrieb nehmen konnten. Eine wesentliche Rolle spielt dabei die Positionierung um die zu messenden Himmelsobjekte mit höchster Genauigkeit anfahren zu können. Aus diesem Grund wurde eine Motorsteuerung entwickelt. Um sowohl die Messumgebung zu schützen und Materialverschleiß vorzubeugen, werden Sicherheitsstufen notwendig.

### 1.2. Was genau wird uns beschäftigen

Wir haben uns entschlossen, uns mit eben solchen Sicherungen zu beschäftigen. Wir werden zweckmäßige Ideen sammeln, sie untersuchen, entwickeln und montieren. Dabei muss man zwischen verschiedenen Arten der Sicherung unterscheiden. Zuerst, wie schon im Titel erwähnt, zur gefahrlosen Bedienung. Diese Art von Sicherung beinhaltet alles, was das Teleskop bei entsprechendem Fehler in Software oder Hardware zum sofortigen Stillstand bringt. Dies dient vor allem zum Beispiel dazu, bei unkontrollierter Bewegung des Radioteleskops eine Verletzung von Menschen auszuschließen. Eine andere Art der Sicherung hat die Aufgabe Materialverschleiß vorzubeugen. Bei Windlast beispielweise wirkt durch die große Oberfläche des Teleskops eine große Kraft auf die Motorachse, welche diese nicht halten kann. Aus diesem Grund bricht oder verformt sie sich bei Überlastung.

## 2. Aufbau des Teleskops

Das Radioteleskop befindet sich auf einer Standsäule, die auf einem im Boden verankerten Holzgerüst verschraubt ist. Auf der Standsäule ist eine runde Platte, die mit Winkeln fixiert ist.

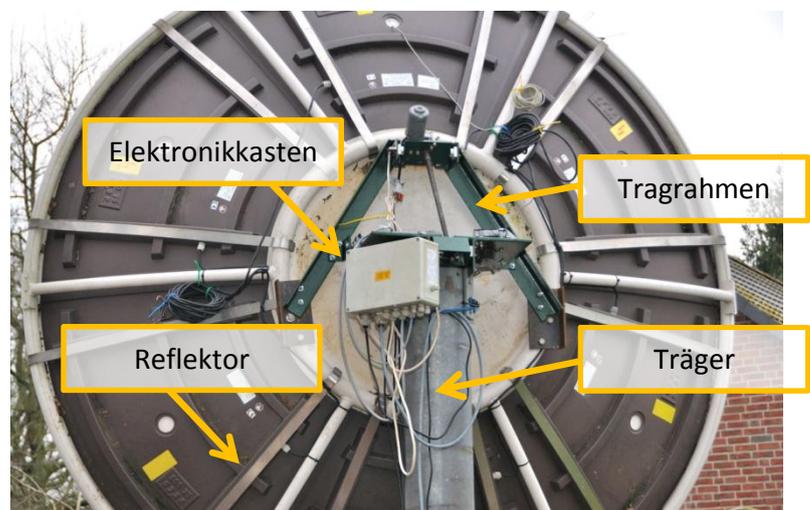


Abb. 1: Gesamtaufbau

Auf Der Platte befindet sich ein Zahnkranz mit Kugellager, der außen auf der unteren runden Platte und innen mit einer großen Tragplatte verbunden ist. Auf dieser drehbaren Tragplatte befinden sich die Hauptkomponenten. Angefangen mit dem Azimutmotor, auf dessen Achse ein Ritzel verschraubt ist. Das Ritzel greift in den Zahnkranz. Somit dreht der Motor die Tragplatte um den Kranz. An der vorderen Seite der Tragplatte ist eine weitere Achse, die Elevationsachse. Sie ist mit Lagern angebracht und auf ihr befindet sich der Tragrahmen für den Reflektor. Auf der oberen Seite dieses Tragrahmens ist der Elevationsmotor mit Spindel auf dem Elevationslager befestigt. Auf der hinteren Seite der Tragplatte ist ein beweglicher Lagerkopf angeschraubt, das Führungslager, durch den die am Elevationsmotor angebrachte Spindel hindurchgeführt wird. An der Tragplatte befestigt, befindet sich der Steuerungskasten. Im Steuerungskasten befindet sich unter anderem die Steuerungselektronik für die Motoren, die die Befehle der Software aufnimmt und in eine Position oder Drehzahl für die beiden Motoren umrechnet.

## 2.1. Aufbau der Motorsteuerung

Die Motorsteuerung unseres Radioteleskops hat zwei Antriebe, die getrennt voneinander die horizontale und vertikale Ausrichtung des Teleskops vorgeben.

### 2.1.1. Azimut

Der Azimut gibt eine Drehrichtung in der horizontalen Ebene vor. Dabei dreht sich das Ritzel des Azimutmotors auf dem fest montierten Zahnkranz, wodurch sich die Tragplatte an den Zähnen entlangdrückt und so eine Bewegung ausführt. Wenn nun durch die vorgeschaltete Software eine Drehzahl vorgegeben wird, dreht sich die Tragplatte samt Parabolspiegel um die eingegebene Schrittweite.

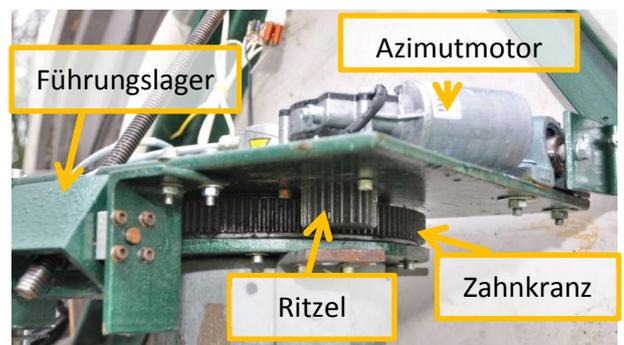


Abb. 2: Azimutmotor mit Ritzel und Zahnkranz

### 2.1.2. Elevation

Da für den Elevationsantrieb ein Zahnkranz ungünstig ist, musste hier ein anderes System angewandt werden. Dazu wurde ein Spindeltrieb montiert. Bei vorgegebener Drehzahl für den Motor wird eine Spindel durch das untere Führungslager geschraubt, wodurch sich das Radioteleskop in vertikaler Richtung bewegt.

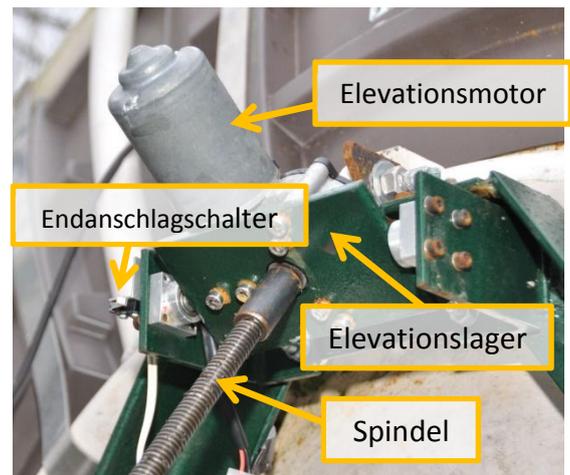


Abb. 3: Elevationsmotor mit Spindel

### 2.1.3. Software

Die Steuerungssoftware übernimmt eine tragende Rolle in der Motorsteuerung. Grundsätzlich hat sie die Möglichkeit Elevation und Azimut getrennt voneinander fahren zu lassen. Die Vorgabe einer Position kann über verschiedene Arten ablaufen. Beispielsweise kann man aus der Kalibrierungsposition heraus eine Position in Grad eingeben, auf die sich das Teleskop dann ausrichtet. Man hat aber auch die Möglichkeit eine feste Drehzahl also Geschwindigkeit, vorzugeben mit der sich das Teleskop dreht.

## 3. Außeneinflüsse

Da unser Teleskop im Freien steht, muss es gegen Außeneinflüsse geschützt werden.

### 3.1. Wind

Wind ist eine der größten Gefahren für unser Teleskop. Der Wind übt eine ständige Kraft auf unseren Reflektor aus. Dieser beginnt sich mit der Tragplatte zu drehen, da das Zahnrad des Motors im Zahnkranz Spiel hat. Somit schlägt der Zahnkranz bei Wind immer auf unsere Motorachse, die ab einer gewissen Windstärke dieser Kraft nicht mehr standhalten kann. Die Kraft die der Wind ausübt, können wir berechnen mit:

$$F = \frac{1}{2} c_w \cdot \rho \cdot A \cdot v^2$$

A ist die Querschnittsfläche unseres Reflektors, v die Windgeschwindigkeit,  $\rho$  die Dichte von Luft und  $c_w$  der Widerstandsbeiwert. Im schlimmsten Fall kommt der Wind mit einer Geschwindigkeit von 165 km/h (Orkanstärke) von der Seite. Unser Reflektor hat einen Radius von 1,2m, folglich beträgt die Querschnittsfläche  $2\pi \cdot (1,2\text{m})^2 = 4,25\text{m}^2$ . Die Dichte von

Luft beträgt  $1,247 \text{ kg/m}^3$ . Der Widerstandsbeiwert, der je nach Form der Querschnittsfläche unterschiedlich ist,  $1,17$ , wobei wir hier annehmen, dass unser Reflektor eine Platte ist. Somit ergibt sich im schlimmsten Fall eine Kraft von  $6933\text{N}$ , die auf das Teleskop wirkt. Da der Reflektor  $0,4\text{m}$  vom Mittelpunkt der Säule entfernt ist beträgt das Drehmoment an der Motorachse  $2773\text{Nm}$ . Damit unser Motor vor dieser Belastung geschützt ist, müssen wir eine Sturmsicherung entwickeln, die dieser Kraft standhält.

### **3.2. Regen (Blitz)**

Ein weiterer negativer Einfluss unter dem das Teleskop stehen kann ist Regen. Bei Regen gibt es große Rostgefahr, weshalb alle freien Stellen mit wasserdichten Lacken beschichtet werden mussten. Um Stellen wie zum Beispiel den Zahnkranz oder Spindel, die nicht lackierbar sind zu schützen, wurden diese mit Molybdändisulfid bestrichen. Außerdem kann sich der Spiegel bei falscher Belastung, zum Beispiel durch Regen, verformen. Dies ist der Fall wenn sich das Teleskop beispielsweise in  $90^\circ$ -Position befindet. Wenn sich zu viel Regen im Spiegel sammelt wird das Gewicht enorm erhöht und die Schüssel fängt an sich zu verbiegen, wodurch die Messgenauigkeit deutlich verschlechtert wird. Der Steuerungskasten mit der Steuerungselektronik für die Motoren ist durch die Dichtungen witterungsbeständig. Blitze können dem Radioteleskop bei Gewitter nichts anhaben, da es über den Standsäule geerdet ist.

### **3.3. Schnee/Eis**

Mit Schnee verhält es sich ähnlich wie mit Regen. Wenn das Gewicht zu groß wird, verbiegt sich das Teleskop, sodass die Messgenauigkeit beeinflusst wird. Eis ist ein weiterer gefährlicher Faktor, da Wasser sich bei Gefrierung ausdehnt und so Teile sprengen könnte. Darum müssen Löcher in die oben genannte untere Tragplatte gebohrt werden, um Wasser abfließen lassen zu können.

## **4. Entwicklung und Montage von Sicherungen**

### **4.1. Sturmsicherung**

Die Sturmsicherung muss dafür sorgen, dass kein Spiel mehr zwischen Tragplatte und Zahnkranz besteht, wenn das Teleskop keine Messung vornimmt. Außerdem muss sie dem Wind standhalten und ohne großen Aufwand aktiviert und deaktiviert werden können, idealerweise auch von der Messsoftware aus.

Unsere erste Idee war es einen Block anzufertigen, der an der Tragplatte befestigt wird und der genau in die Kerben des Zahnkranzes passt. Dieser ließe sich dann mit einem Motor, der über die Software gesteuert werden würde, in den Zahnkranz ein- und ausführen. Leider gab es mehrere Probleme:

- An der Tragplatte ist sehr viel montiert und es ist dort nur noch sehr wenig Platz um weitere Konstruktionen zu befestigen.
- Das Befestigen der Sicherung wäre sehr kompliziert geworden, da wir die Tragplatte nicht abbauen können ohne das Teleskop auseinander zu bauen und sie so auch nicht in der Werkstatt bearbeiten könnten
- Der Block müsste immer in derselben Position in den Zahnkranz gefahren werden, da er sonst entweder keinen spielfreien Sitz garantieren oder den Zahnkranz beschädigen würde. Die Positionierung unseres Teleskops ist zwar sehr genau, trotzdem können Fehler auftreten oder die Software abstürzen, was zur Folge hätte, dass die genaue Position zum Einrasten verloren gehen oder sich verändern würde

Aus diesem Grund überlegten wir uns ein neues Konzept. Wir entschieden uns die Sturmsicherung zwischen dem unteren Rand unseres Reflektors und der Standsäule des Teleskops zu bauen. Die Sturmsicherung lässt sich in drei Teile aufteilen. Den Konus, das Schloss und die Führung. Der Konus ist aus Nylon gefertigt und am unteren Rand des Reflektors montiert. Das Schloss ist durch einen

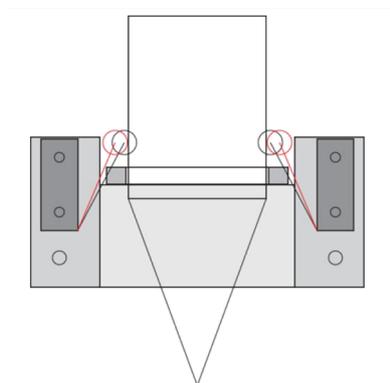


Abb.5: Sturmsicherung Zeichnung



Abb. 4: Sturmsicherung

Stahlträger an der Standsäule

befestigt und ist

um 1mm größer als der Konus (0,5 mm je Seite). An dem Schloss befindet sich eine Führung. Sie besteht aus zwei Schaltern, die, wenn der Konus genau Mittig sitzt kurz davor sind auszulösen. Die Position in der Konus und Schloss übereinstimmen ist in der Software gespeichert. Sie wird

angefahren und anschließend beginnt der Einfädungsprozess. Hierbei wird der Elevationsantrieb gefahren, während an dem an dem Azimutantrieb eine Spannung anliegt, die aber nicht ausreicht das Teleskop zu fahren. Sollte der Konus nicht exakt mittig sein, löst einer der Schalter aus, die den Motorstrom in eine Richtung am Azimutantrieb unterbricht. Dies wird von der Software bemerkt und als Auslösen von Endanschlagschaltern gedeutet. Nach dem Auslösen eines der beiden Schalter wird die Pulsweitenmodulation umgepolt und erhöht, was zu einer entgegengesetzten Fahrtrichtung des Azimut führt, bis der Schalter wieder freigegeben wird. Erst dann wird die PWM wieder auf ihren „Prüfwert“ gesetzt. Wenn dieses Ereignis eintritt, ändert die Software die Fahrtrichtung. Dasselbe gilt für den gegenüber liegenden Schalter, nur umgekehrt. Somit kann der Konus sicher eingefädelt werden. Bei Wind ist somit das Spiel am Zahnkranz minimiert und der Motor gesichert.

#### **4.2. Elevation**

Damit bei Fehlern in der Positionierung des Elevationsantriebs die Spindel nicht zu weit gefahren wird, so dass sie sich aus dem Führungslager gedreht wird oder der Motor durch den Widerstand der Aufeinander liegenden Tragplatte und des Tragrahmens zerstört wird, brauchen wir auch hier eine Sicherung. Wir haben hier Endanschlagschalter so montiert, dass sie kurz vor diesen Extremfällen auslösen. Endanschlagschalter 1 (Abb.3) sitzt so an dem Elevationslager, dass er auslöst, kurz bevor dies die Tragplatte berührt. Endanschlagschalter 2 befindet sich hinter dem Winkel, der Tragrahmen und Elevationsachse verbindet. Wenn das Teleskop wie in Abb.1 in der 0° Position steht, drückt dieser gegen die Tragplatte und löst aus. Wie auch bei den Schaltern in der Führung der Sturmsicherung unterbrechen diese den Motorstrom in eine Richtung und verhindert das weitere Fahren.

#### **4.3. Sicherungselektronik**

Da unsere Sicherungen so zuverlässig wie möglich sein müssen, unterbrechen wir den Strom direkt an den Motoren und schalten ihn nicht über die Software ab. Der Schaltplan in Abb. Beschreibt unser Konzept. Er besteht aus der Spannungsquelle, dem Motor, den beiden Justier-Schaltern, Dioden, Spulen (L1 und L2 die für uns nicht weiter wichtig sind) und zwei Endanschlagschaltern für die Azimutantriebsicherung (zum jetzigen Zeitpunkt haben wir diese noch nicht fertig gestellt, allerdings haben wir schon einen groben Plan dafür und

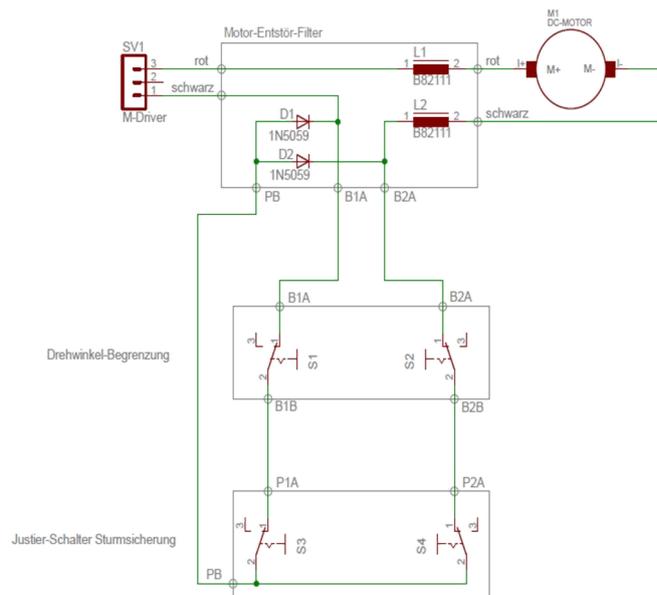


Abb. 4: Sicherungskasten

werden in der Aussicht weiter darauf eingehen. Da wir auch schon die Verkabelung bedacht haben, befinden sich die Schalter schon im Schaltplan). Wir unterscheiden 2 Fälle. Im ersten Fall fließt der Strom von Plus (Ausgang 3 der Spannungsquelle) nach Minus (Ausgang 1 der Spannungsquelle), im zweiten Fall von Minus nach Plus. Im ersten Fall dreht sich der Motor in die Richtung in der sich die Schalter B2A und P2A befinden, im zweiten Fall in die

Richtung der sich die Schalter B1A und P1A befinden. Im Normalfall fließt der Strom von Plus über L1 zum Motor, dann nach L2 und über die vier Schalter zu Minus, oder umgekehrt. Wenn in Fall eins B2A oder P2A ausgelöst werden, kann der Strom nicht mehr in diese Richtung fließen, da einer der Schalter den Stromkreis unterbricht und die Diode D2 den Strom blockiert. Damit die Position in der der Schalter aktiviert ist verlassen werden kann, muss dieser Überbrückt werden. Wenn wir umpolen und in die andere Richtung fahren wollen, fließt der Strom von Minus über B1A und P1A nach D2 und so zum Motor und zu Plus. Wenn der Schalter wieder freigegeben wird, fließt der Strom wie im Normalfall. Umgekehrt gilt das für Fall 2. Hier blockieren B1A oder P1A und D1 den Strom. Zum Überbrücken fließt er von Plus durch B2A und P2A über D1 zu Minus.

## 5. Aussicht

In Zukunft werden wir uns noch weitere Systeme zur gefahrlosen Bedienung überlegen. So ist zum Beispiel die Azimutsicherung bereits in Arbeit. Wir haben hier den besonderen Anspruch, dass wir größere Winkel als 360° fahren können. Da wir aber trotzdem unsere Kabel vor Überdrehung schützen müssen, darf sich das Teleskop ab einem gewissen Punkt nicht mehr in die gleiche Richtung drehen. Um diese großen Winkel fahren zu können, wollen wir die Endanschlagschalter nicht an der Tragplatte, sondern extern montieren. Die Idee ist es, ein Seil um den Zahnkranz zu legen, das sich in Azimutrichtung mitdreht. Am

Ende des Seils hängt ein Gewicht, das in einem senkrechten Rohr geführt wird. Am oberen und unteren Ende des Rohrs befinden sich die Endanschlagsschalter. Das Seil ist so lang, dass das Gewicht in der kleinsten Azimutposition den unteren und in der größten den oberen Endanschlagsschalter auslöst. Da wir den Umfang des Zahnkranzes kennen, können wir mit der Länge unseres Seils den fahrbaren Azimutwinkel bestimmen. Eine andere bereits existierende Idee zum Notausschalten ist, die sofortige Unterbrechung der Stromzufuhr. Erste Ideen gingen in die Richtung, durch Überdrehung des Radioteleskops einen Stecker ziehen. Weil zum Messen, zur Stromversorgung und zur Positionierung Kabel benötigt werden, hängen diese bislang noch mit einem Expander am Träger gesichert, so dass diese gerade so eine Drehung von  $360^\circ$  aushalten, bis sie reißen. Dazu müssen wir uns noch eine andere Lösung überlegen. Eine Idee wäre, die Kabel durch ein Loch in den hohlen Träger zu führen, da sie sich dort nicht um die Standsäule aufwickeln können.

## **6. Fazit**

Bei der Auseinandersetzung mit diesem Projekt haben wir den Grundstein für eine sichere Bedienung gelegt. Notausschalter, Sturmsicherung und Maßnahmen zum Schutz vor Witterung sind eingebaut worden, sodass Verschleiß und Zerstörung minimiert wurden. Zwar gibt es noch Ausbaubedarf, der sich noch fortsetzen wird, jedoch ist das Ziel unserer Arbeit, die sichere Bedienung des Radioteleskops, grundlegend gelöst.

## **7. Danksagung**

Wir bedanken uns ganz herzlich bei Herrn Biedermann, für die Unterstützung unseres Projekts und die Zeit die er dafür geopfert hat. Außerdem danken wir auch der restlichen Familie, die uns mit gutem Essen und Getränken versorgt hat. Wir freuen uns über die sehr gute Zusammenarbeit mit der restlichen Jugend-forscht AG, für die gesorgte Motivation und dem Spaß während des Arbeitens.

## **8. Quellenverzeichnis**

[1] <http://www.alexander-unzicker.de/Formeln.pdf>

[2]Jürgens, Lukas 2014: Digitale sensorlose Servoregelung für Gleichstrommaschinen