

Grundüberholung eines SRT

Teil 1: Abholen und Untersuchung der Teile

Wolfgang Herrmann

1. Einleitung

Wir waren gefragt worden, ob wir Interesse hätten, eine kleines Radioteleskop von der Dr. Karl Remeis-Sternwarte zu übernehmen. Dieses Institut [1] gehört zur Universität Erlangen-Nürnberg und ist in Bamberg zu angesiedelt. Das Teleskop dort war durch ein neueres ersetzt worden. Da wir bereits Teleskope von 25, 10 und 3 Meter Durchmesser haben, war die Frage, ob und wie man so etwas nutzbar machen könnte. Die Idee entstand, dass ein solches Instrument zusammen mit unserem 3-m Spiegel ein Interferometer bilden könnte. Daher fiel die Entscheidung das Projekt anzugehen.

Zunächst erhielten wir einige Fotos. Anhand derer konnten wir erkennen, dass es eines der “Small Radio Telescopes (SRT)” mit einem 2,3-m Spiegel war. Diese Teleskope wurden ursprünglich vom Massachusetts Institute of Technology (MIT) entworfen und über viele Jahre in unterschiedlichen Versionen vertrieben [2].

In dieser Artikelserie beschreiben wir unsere Aktivitäten, das Teleskop zu überholen und zu modernisieren. Dieser erste Teil handelt von der Abholung und Untersuchung der Teile, sowie von den ersten Wartungsarbeiten, Messungen und Überlegungen zur weiteren Vorgehensweise.



Abb. 1: Das SRT an seinem ursprünglichen Standort in Bamberg

2. Abholung des Teleskops

Die Mitarbeiter in Bamberg hatten freundlicherweise angeboten, das Teleskop zu demontieren, so dass wir es nur abzuholen brauchten. Dies sollte im September 2019 geschehen. Wir erhielten dann aber die Nachricht, dass eine Kolonie Wespen das Feed zu ihrem zu Hause erkoren hatten (Abb. 2). Arbeiten an dem Teleskop erschienen daher nicht gerade opportun.



Abb. 2: Kein guter Zeitpunkt für eine Demontage

Die Aktion wurde daher auf den November verschoben. In Bamberg wurde dann die Teile in einen Transporter verladen (Abb.3).



Abb. 3: Sichern der Einzelteile im Transporter

3. SRT Design-Stand

Die SRTs wurden vom MIT entworfen und haben im Laufe der Zeit diverse Iterationen durchlaufen. Diese Teleskope sind an vielen Orten weltweit im Einsatz, meistens für Ausbildungs- und Demonstrationszwecke. Wir konnten anhand der Fotos feststellen, dass die Version die wir bekommen würden, eine Antriebseinheit der CASSI Corp. haben würde. Weitere Details konnten wir jedoch erst nach Erhalt analysieren um zu sehen, welchen Design-Stand das Teleskop hatte.

Unsere Einheit bestand aus:

- Einem "CASSI" Antrieb bestehend aus einer Azimuteinheit und einem Linearantrieb für die Elevation (SuperPowerJack QARL-3636+)
- Dem Spiegel selber mit einem Durchmesser von 2,3 Meter [3] mit Halterung für das Feedhorn und Adapterring für den Antrieb
- Die Feedhorn-Einheit, bestehend aus
 - Feedhorn [4]
 - Low Noise Amplifier (LNA) [5]
 - Digital-Empfänger [6], [7], [8]
- Ground Controller für die Steuerung des Antriebes [9]
- Stromversorgung
- Rauschquelle für die Kalibration [10]

Mit Ausnahme der CASSI Antriebseinheit konnte die Dokumentation aller Komponenten auf der MIT Webseite gefunden werden (siehe Referenzen oben).

Es gab noch einen alternativen Ground Controller, der von den Mitarbeitern des Bamberger Observatorium gebaut worden war. Die Hardware war komplett, jedoch war die Software nicht fertiggestellt.

4. Erste Entscheidungen

Es war recht interessant, sich durch die Dokumentation des MIT zu arbeiten und zu sehen, wie der Empfänger ausgelegt war. Wir kamen zu dem Schluss, dass es eine gute Konstruktion zu seiner Zeit war. Allerdings ist das Konzept aus heutiger Sicht veraltet, da nunmehr Software Defined Radios (SDR) zur Verfügung stehen die sehr viele Dinge einfacher machen. Wir hatten auch vor, das Design der Empfangskette von unserem 3-m Spiegel zu verwenden. Diese basiert auf solchen SDR.

Wir haben uns ebenfalls angesehen, wie die Teleskopsteuerung realisiert war. Auch in diesem Fall kamen wir zu dem Schluss, dass es für uns einfacher war eine neue Steuerung zu bauen. Diese sollte auf dem Hard- und Softwaredesign unsers existierenden 3-m Spiegels basieren.

Aus diesen Gründen haben wir nicht den Versuch unternommen, alle Komponenten zusammenzubauen und das Teleskop in seiner ursprünglichen Konstellation in Betrieb zu nehmen. Stattdessen haben wir uns die Einzelkomponenten angesehen, deren Zustand inspiziert und wo erforderlich nachgearbeitet. Auf dieser Basis soll dann ein modernisiertes SRT entstehen.

5. Inaugenscheinnahme der verschiedenen Teile

5.1. Spiegel

Der Spiegel selber war in einwandfreiem Zustand. Es gab keine Dellen oder ähnliche Schäden die die Aperturreffizienz hätten beeinträchtigen können. Außer ein wenig Reinigung war keine weitere Arbeit nötig. Laut Unterlagen hat der Spiegel ein f/D Verhältnis von 0,375.

5.2. Azimutantrieb

Der Azimutantrieb besteht aus einem Valeo 404 854 Getriebemotor, der mit einem Zahnrad versehen ist. Eine Kette verbindet dieses mit einem anderen, größeren Zahnrad (siehe Abb. 4).

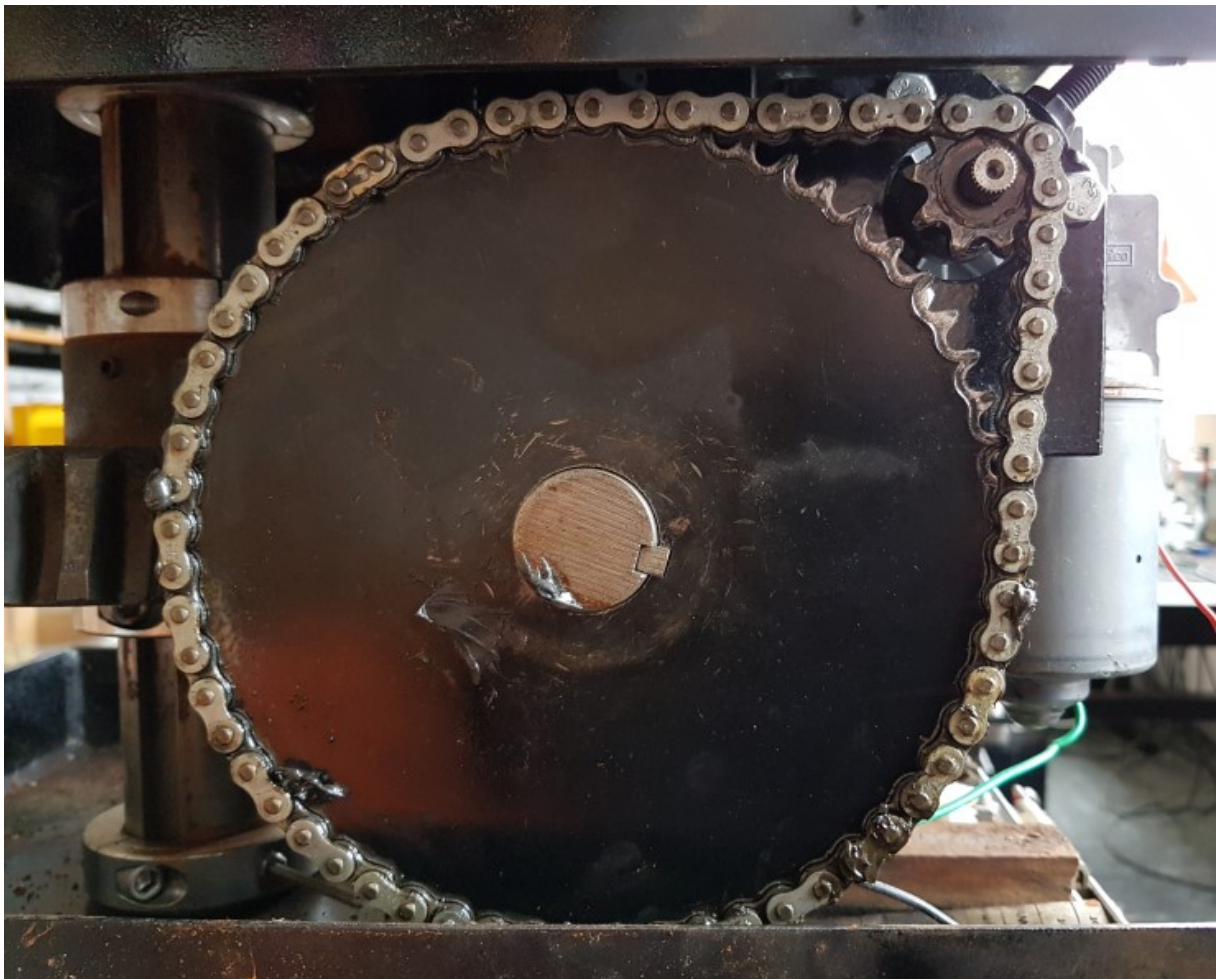


Abb. 4: Einheit mit Zahnrädern

Dieses Zahnrad wiederum sitzt auf der Achse eines Schneckengetriebes, siehe Abb. 5.

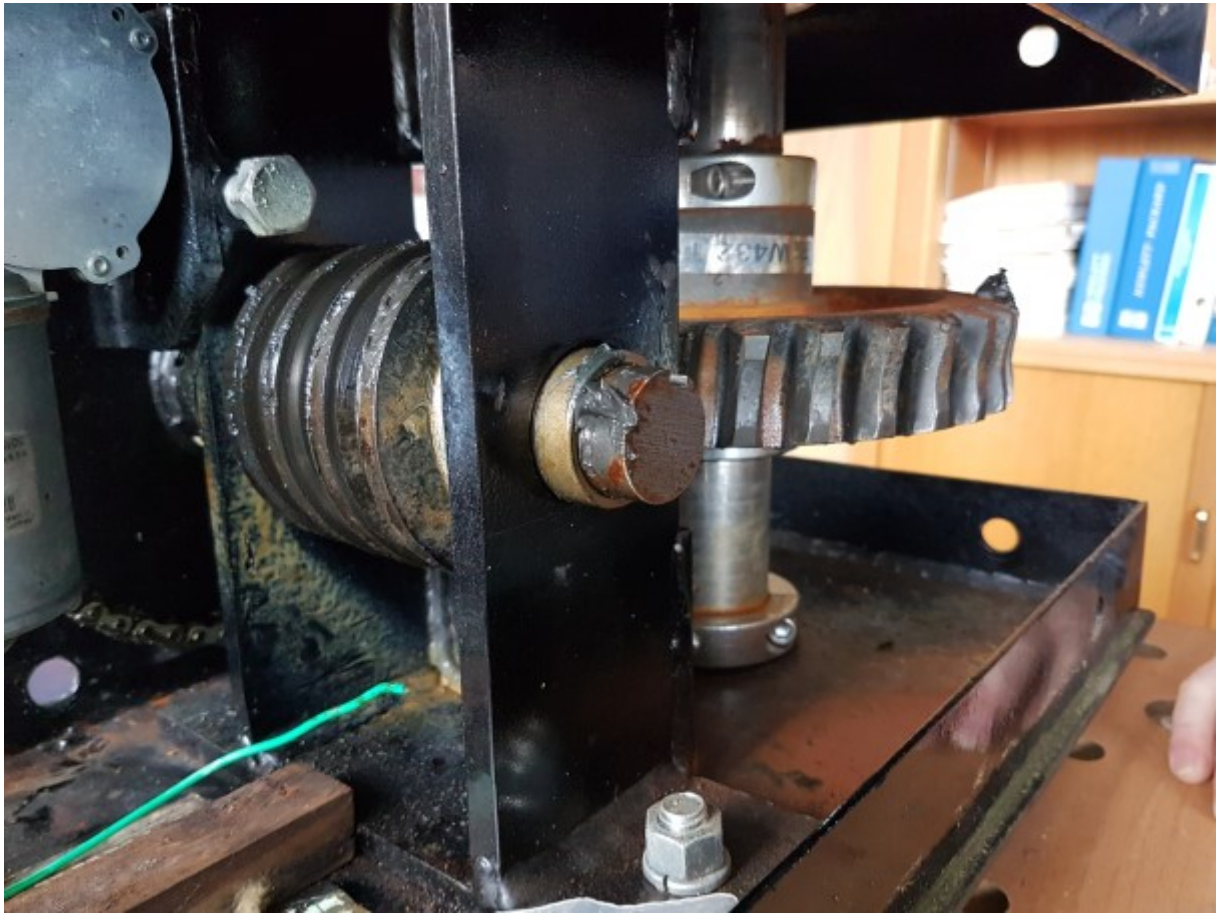


Abb. 5: Schneckengetriebe

Die Gesamteinheit macht einen sehr robusten Eindruck und ist sehr schwer. Lediglich ein wenig Säubern und das Entfernen von Korrosion waren notwendig. Wir stellten fest, dass die Einheit ein Spiel von etwa $0,6^\circ$ Grad hat. Bei Beambreite eines 2,3-m Teleskops bei 21 cm Wellenlänge sollte dies aber kein großes Problem für die Pointing-Genauigkeit haben.

Die Einheit hat Endschalter, die die Rotation nach einer vollen Umdrehung stoppen. Dioden über diese Schalter erlauben es, dann jeweils in die andere Richtung zu fahren und damit die Endschalter wieder zu öffnen (Abb. 6)

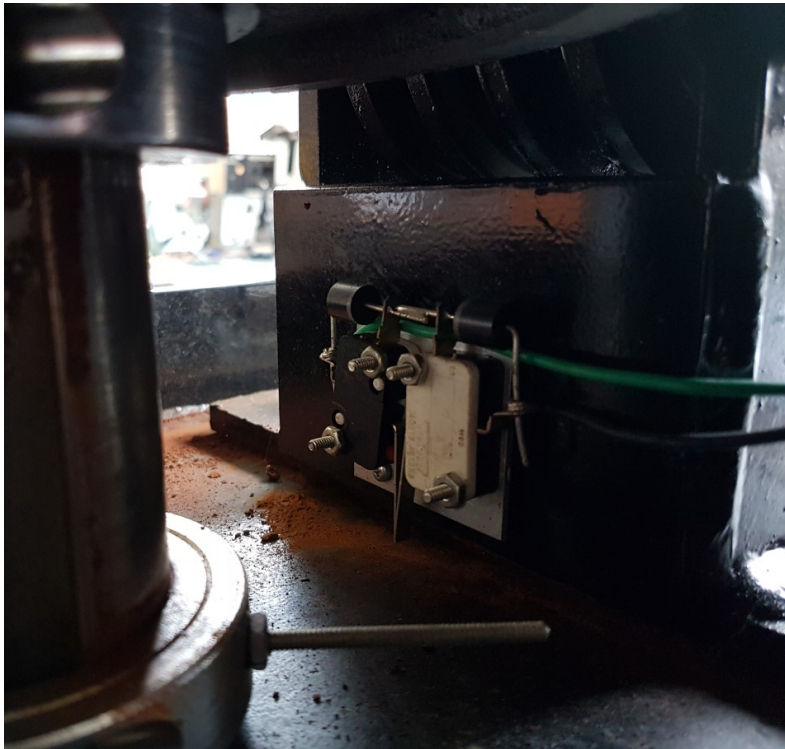


Abb. 6: Endschalter

Ein Hallsensor am Getriebemotor gibt 8 Impulse pro Umdrehung ab. Damit kann die Position des Azimut Antriebes bestimmt werden, sofern man z.B. über die Endschalter einen Ausgangspunkt festlegt (Abb. 7.)

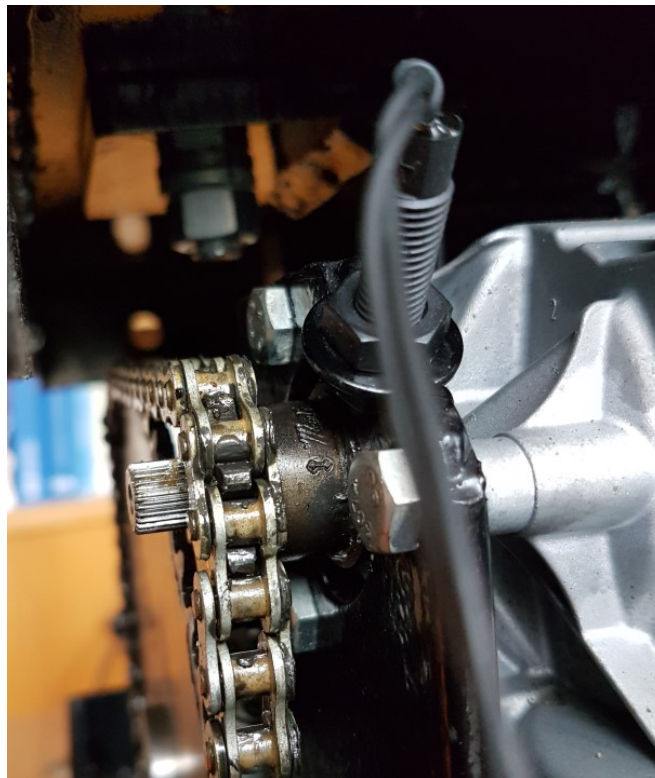


Abb. 7: Hallsensor

5.3. Elevationsantrieb

Die Elevation des Teleskops wird über einen Linearantrieb bewirkt. Ein SuperPowerJack Type QARL-3636+ findet Verwendung. Dieser Antrieb erforderte Wartung. Er wurde demontiert, gesäubert und gefettet. Danach war er wieder voll funktionsfähig (Abb.8).

Dieser Antrieb hat ähnlich wie der Azimutantrieb Endschalter sowie einen Hallsensor für die Erfassung der Bewegung.



Abb. 8: Letzte Feinarbeit am Linearantrieb nach der Wartung

5.4. Feedhorn Einheit

Die Feedhorn Einheit kombiniert das Feedhorn, LNA und Empfänger in einem Block [7]:

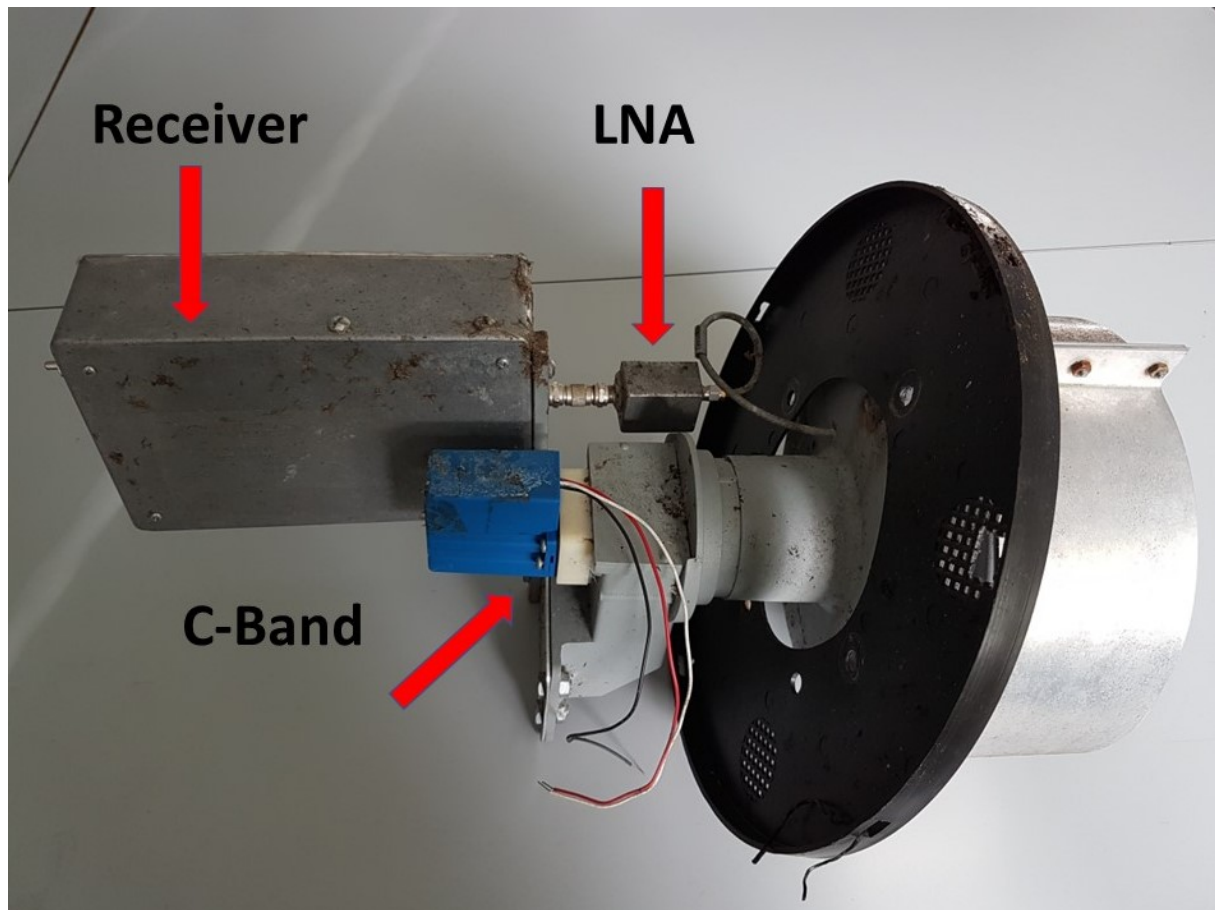


Abb. 9: Feedhorn Einheit

Da Wespen in der Einheit gehaust hatten, war einiges an Überresten vom Nest vorhanden. Im Bild oben sieht man noch ein paar ihrer Hinterlassenschaften.

Das Feedhorn ist eigentlich ein Horn für das C-Band, welches modifiziert wurde. Der C-Band Teil hat einen Hohlleiter, der verschlossen wurde und als Halterung für den Empfänger dient. Das blaue Kästchen dient dazu, die Probe für das C-Band zu drehen und damit die Polarisierung zu kontrollieren. Der gesamte C-Band Teil ist aber unbenutzt. Eine zweite Probe (siehe unten) wird für das L-Band verwendet und ist mit dem LNA verbunden, der wiederum unmittelbar mit dem Empfänger verbunden ist.

5.4.1. Feedhorn

Wir waren erstaunt, dass ein Feedhorn für das C-Band so modifiziert werden kann, dass es für das L-Band brauchbar wird. Die Modifikation ist in einer Zeichnung des MIT beschrieben [4]. Die Modifikation besteht darin, dass der äußere Ring mit einem Blechstreifen ergänzt wurde, so dass er tiefer wurde. Dann gibt es eine weitere Probe für den 21-cm Bereich, wie in Abb. 10 und 11 zu sehen.

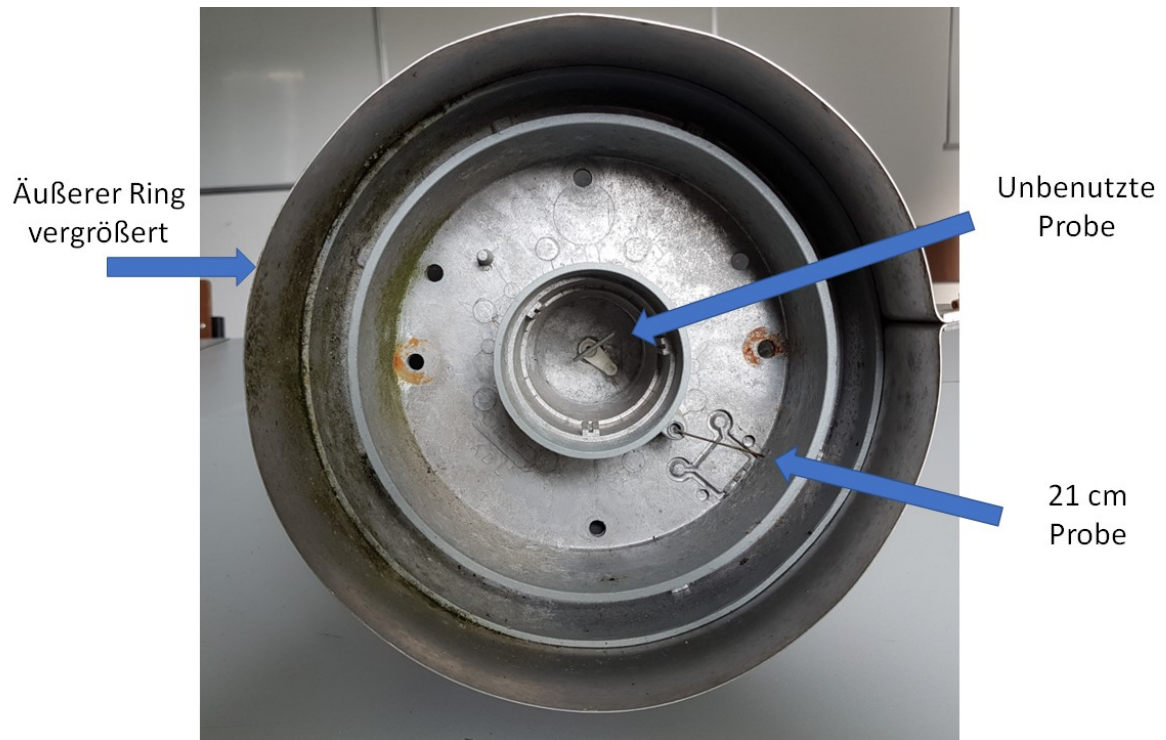


Abb. 10: Feedhorn



Abb. 11: Detailansicht der beiden Probes im Feedhorn

Die Probe für 21 cm kann durch Rein- und Rausziehen eines Semirigidkabels justiert werden. So kann eine gute Resonanzabstimmung für 1420 MHz erreicht werden, siehe Messungen in Abb. 12.

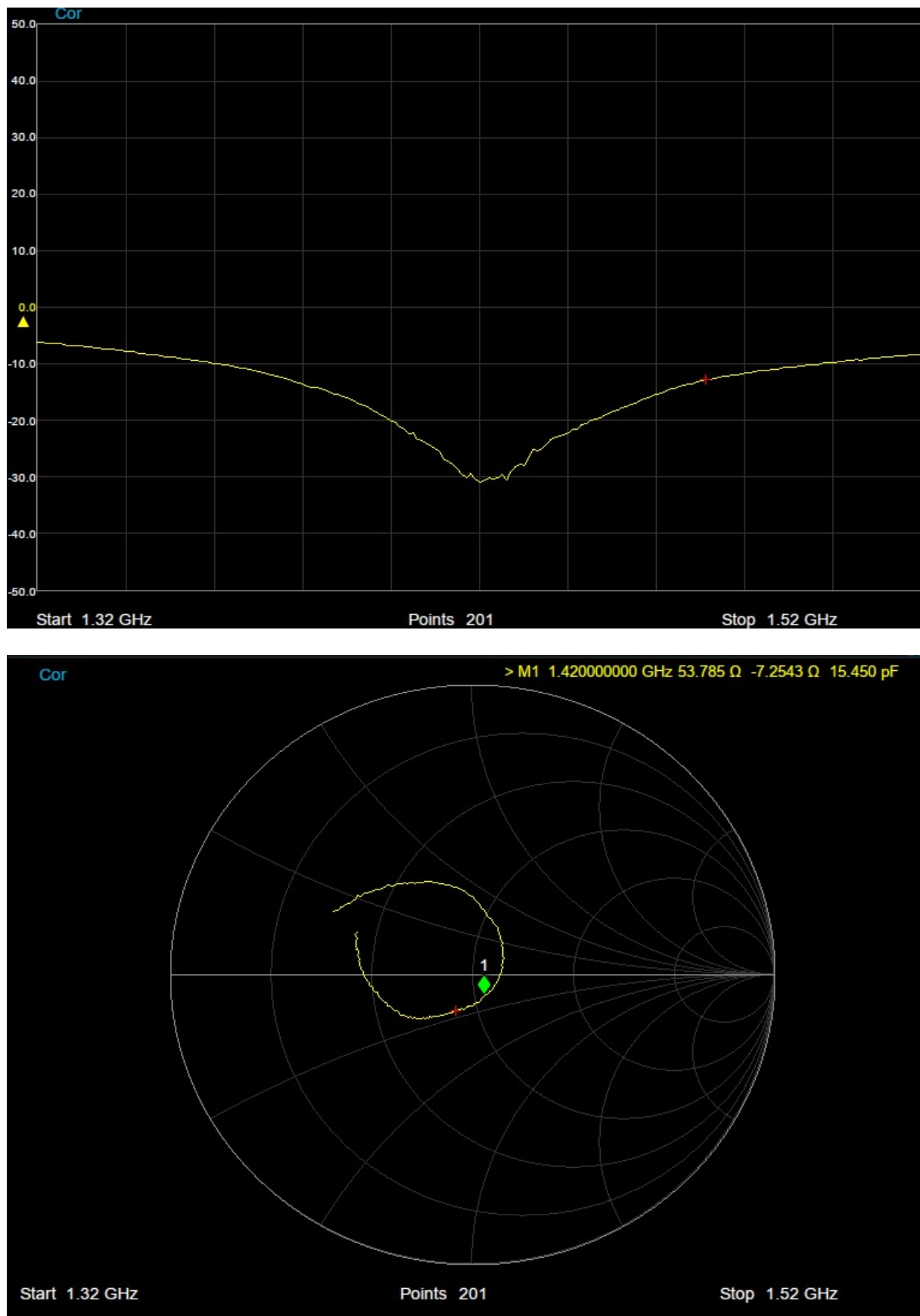


Abb. 12: S11 Plots vom Vektoranalysator

5.4.2. Beamprofil

Das Beamprofil des Horns wurde bei 1420 MHz gemessen um zu prüfen, inwieweit es mit dem Spiegel von einem f/D Verhältnis von 0,375 zusammenpasst. Insbesondere das ungewöhnliche Design des Horns ließ keine Vorhersagen zu, was zu erwarten war.

Die nachstehende Abb. 13 zeigt das gemessene Profil in der E- und H Ebene. Die blauen Pfeile zeigen den Winkel zum Spiegelrand an. Dieser beträgt 67° nach jeder Seite.

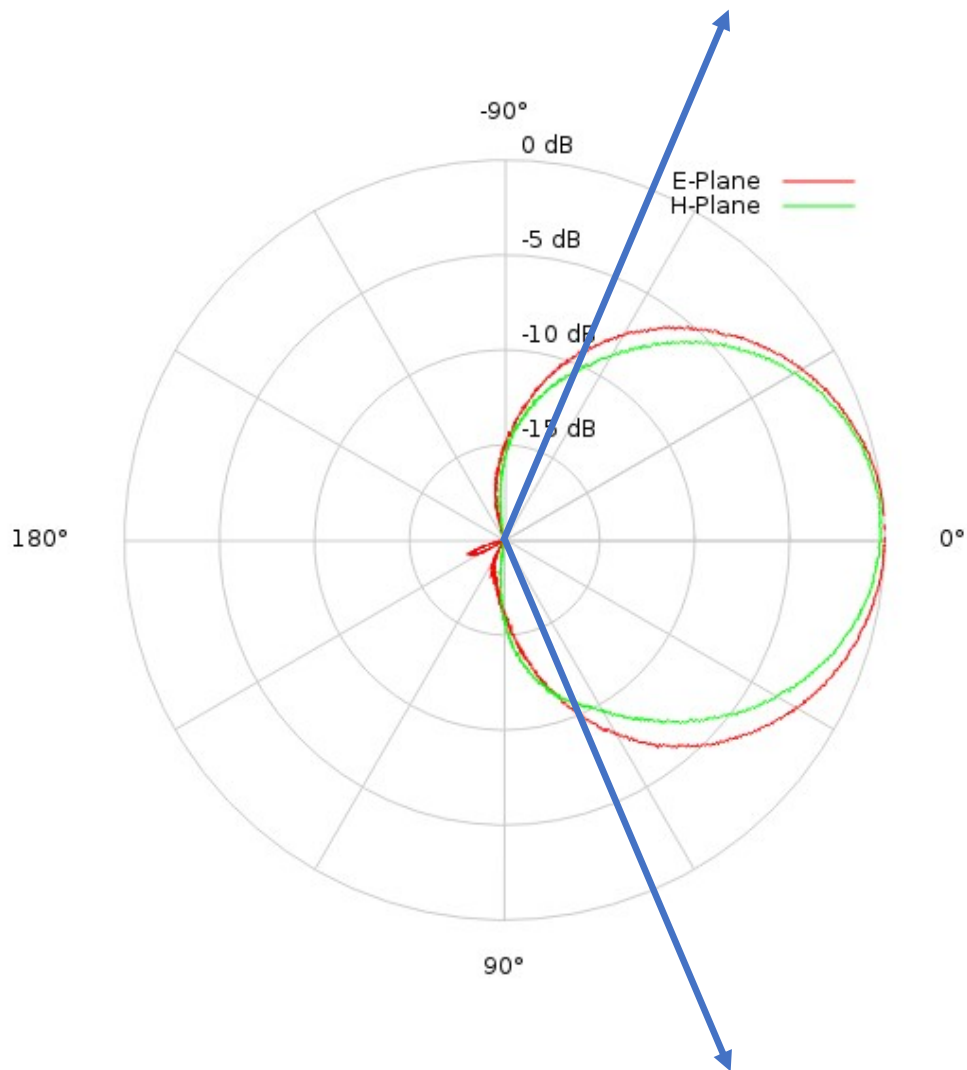


Abb. 13: Profil des Feedhorns

Die Randbelegung ist ca. -10 dB wie bei Parabolspiegeln üblich. Dieses, zusammen mit dem Profil bei größeren Winkeln lässt ein geringes Spillover und damit eine günstige Systemtemperatur erwarten. Dem gegenüber ist die Ausleuchtung selber nicht optimal, da das Profil bei kleinen Winkeln bereits deutlich abfällt. Hier wird der Kompromiss, auf eine kommerzielles C-Band Horn zurückzugreifen und dieses zu modifizieren, sichtbar.

5.4.3. LNA

Der LNA ist in ein kleines Aluminiumgehäuse eingebaut, siehe Abb. 14. Der Eingang hat eine SMA Buchse, der Ausgang ist mit einer F-Buchse versehen. Die Stromversorgung erfolgt über das Koaxialkabel von der Empfängerseite aus.

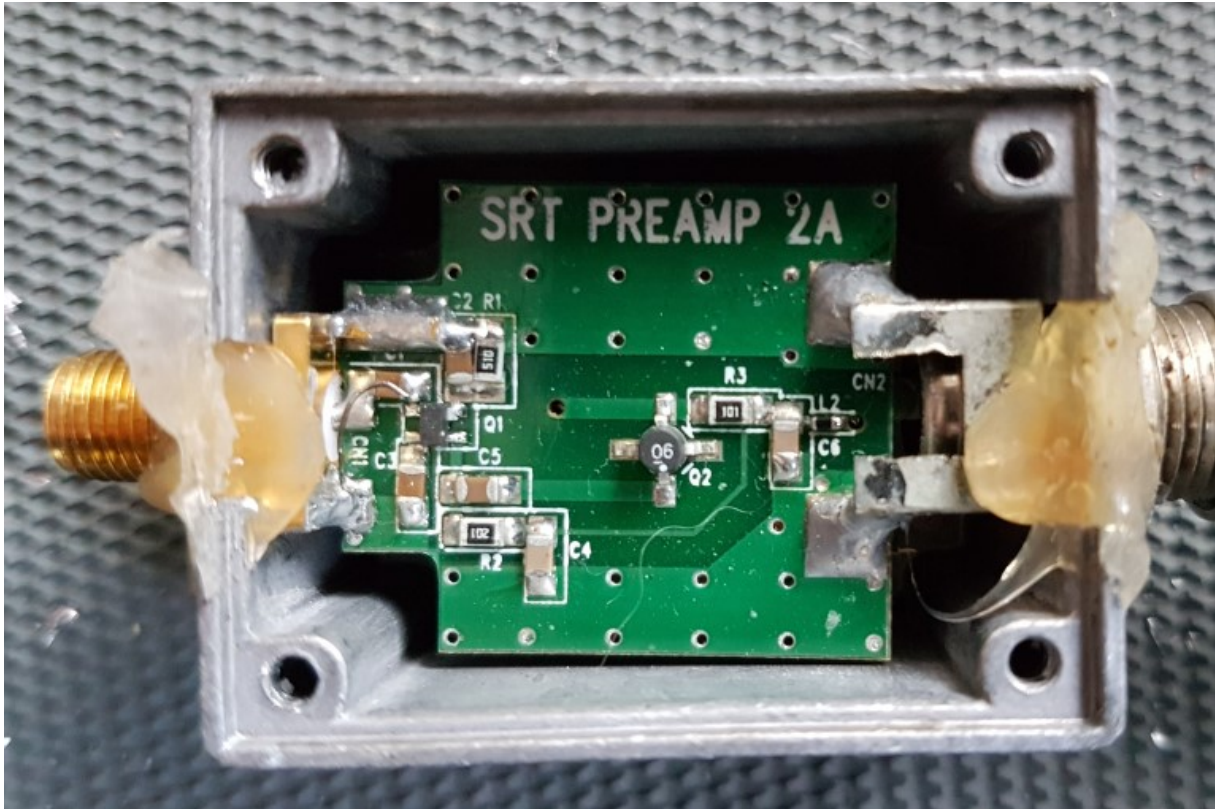


Abb. 14: LNA

Wir haben eine Verstärkung von 29 dB bei einer Rauschzahl von 0,46 dB bei der Arbeitsfrequenz von 1420 MHz gemessen. Dies sind recht zufriedenstellende Werte.

Der LNA hat ein internes Filter mit einer Bandbreite von ca. 55 MHz um 1420 MHz. Die Verstärkungskurve der LNA-Filtereinheit ist in Abb. 15 unten dargestellt.

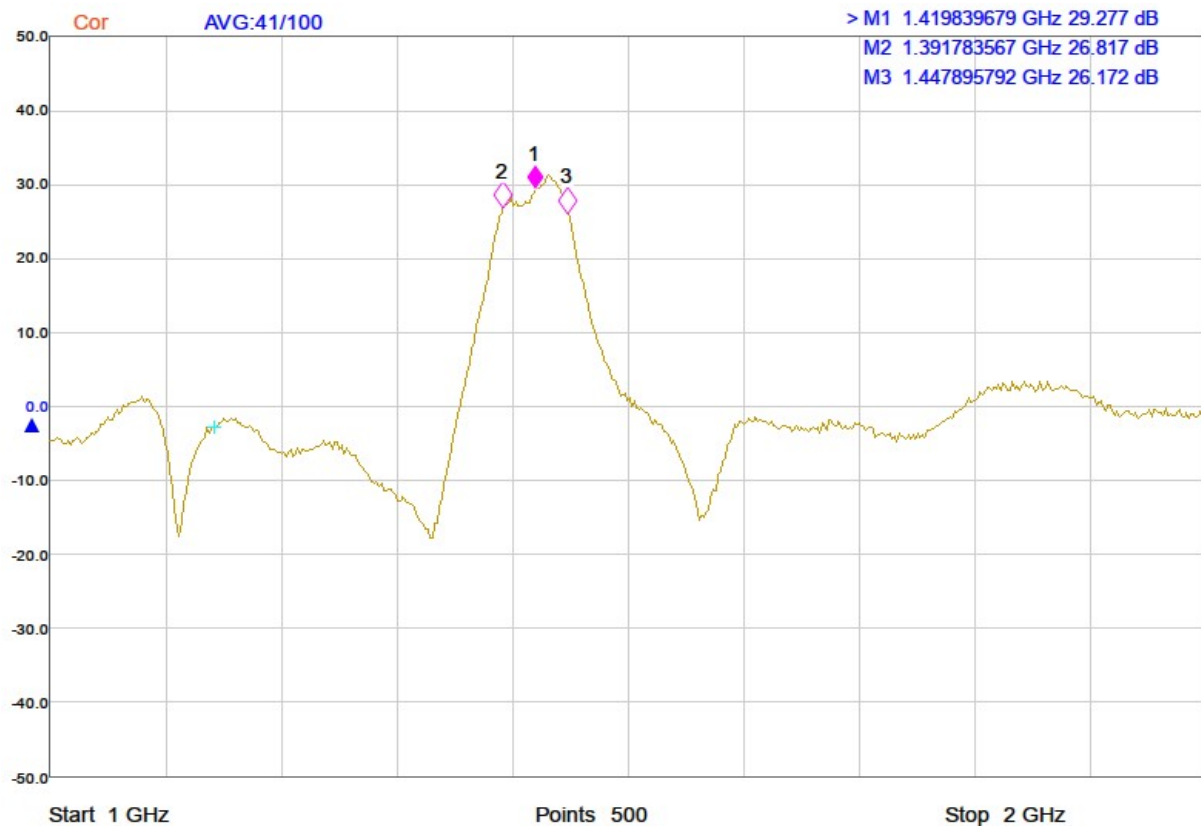


Abb. 15: Verstärkungskurve

5.5. Rauschquelle

Eine Rauschquelle für die Kalibration besteht aus einer kleinen Platine mit einer Noise/Com Rauschdiode (Abb. 16). Sie ist in einem Gehäuse aus PVC Rohren untergebracht und hat zwei Messingstäbe als Dipolantenne (Abb. 17). Eine genaue Beschreibung dieses Designs ist bei [10] zu finden.

Die Funktion wurde verifiziert indem das Signal mit einer Log/Per Antenne empfangen und mit einem Spektrumanalysator nachgewiesen wurde.

Die Version die wir haben, unterscheidet sich ein wenig von der Dokumentation. Dort wird eine Kombination von 51 Ohm parallel zu 20 pF zwischen den Antennenstäben gezeigt. Gemäß der Dokumentation dient dies der Abschwächung des Signals auf ein passendes Niveau. Diese Bauteile fehlen bei unserer Version. Insoweit bleibt später zu prüfen, ob hier etwas angepasst werden muss. Die Einheit ist für eine Betriebsspannung von 24V ausgelegt.

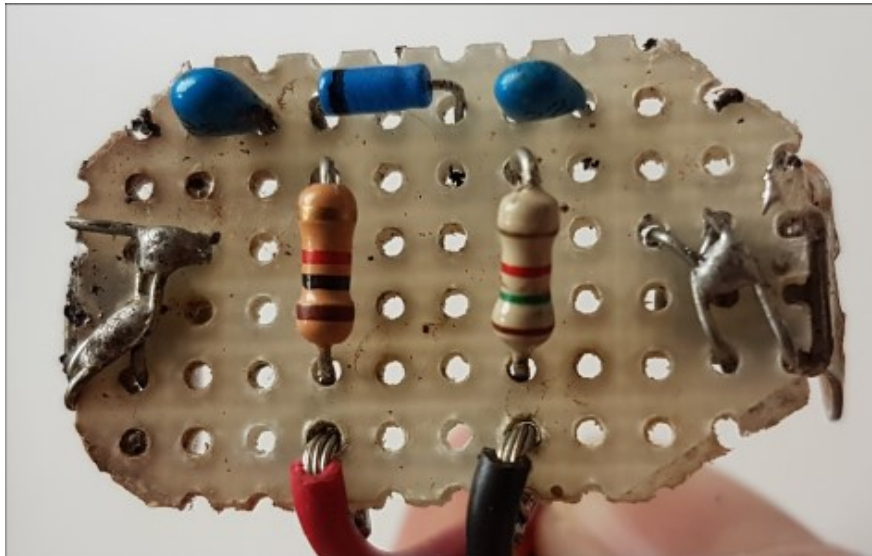


Abb. 16: *Platine der Rauschquelle*

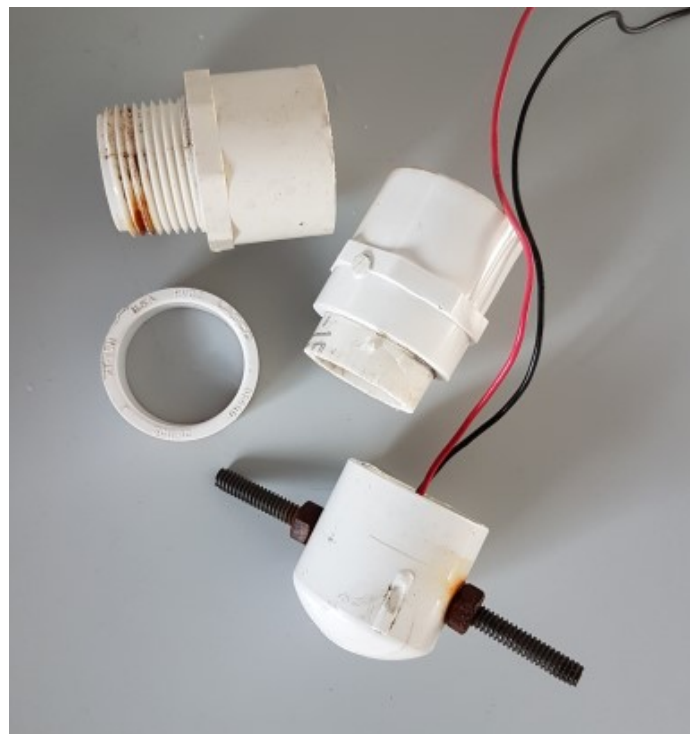


Abb. 17: *Rauschquelle*

6. Fazit und nächste Schritte

Alle untersuchten Teile waren in einem guten Zustand. Lediglich Wartungsarbeiten wie Säubern, Beseitigung von Korrosion und Abschmieren waren notwendig. Schäden, die eine eingehende Reparatur erfordert hätten, wurden nicht gefunden.

Als einer der nächsten Schritte soll ein Versuch gemacht werden, um die grundsätzliche Eignung von Feedhorn und fernespeisten LNA im Zusammenhang mit dem Spiegel zu überprüfen. Hierfür werden diese drei Einheiten zusammengebaut. Zwei Versuche sind geplant:

- Prüfen der gesamten Empfangskette im Zusammenspiel (Spiegel – Horn – LNA – Backend). Hierbei geht es um die Stabilität und Rauschen der Gesamtkette.
- Prüfen des Signalanstieges, wenn der Spiegel auf die Sonne gerichtet wird (manuell). Hierbei geht es um eine Abschätzung der Ausleuchtung.

Je nach Ergebnis wird über die weitere Verwendung des Original LNAs und Feedhorns entschieden.

Im Hinblick auf das von uns verfolgte Gesamtkonzept sind die folgenden technischen Änderungen an den hier betrachteten Komponenten vorgesehen:

- Der Azimutantrieb soll einen Quadraturencoder anstelle des Hallsensors für die Rückmeldung der Position erhalten. Damit ist gewährleistet, dass die Richtung der Bewegung erkannt werden kann und die Kompatibilität zu den von uns verwendeten Motorcontrollern gegeben ist.
- Die Endschalter des Azimutantriebes sollen so umgebaut werden, dass die Software eine Rückmeldung über das Auslösen eines Endschalter erhält.
- Der Elevationsantrieb bleibt unverändert. Der Hallsensor für die Messung der Umdrehungen des Antriebs wird jedoch nicht weiter verwendet. Anstelle dessen wird das Teleskop mit einem davon unabhängigen Lagesensor ausgerüstet, um die Elevation zu messen.
- Die Rauschquelle wird auf eine Betriebsspannung von 5V umgebaut und soll vom Backend steuerbar sein.
- Wenn der oben genannte Versuche zum Feedhorn positiv verläuft, soll dieses mit einer weiteren Probe versehen werden. Diese soll auswechselbar sein um wahlweise die zweite Polarisationssebe oder ein Signal bei 1612 MHz (für OH-Maser) auskoppeln zu können.

7. Danksagung

Wir bedanken uns bei der Dr. Karl Remeis-Sternwarte der Universität Erlangen-Nürnberg für die Überlassung des Teleskops und die Unterstützung bei der Abholung.

Literatur:

- [1] <https://www.sternwarte.uni-erlangen.de/>
- [2] <https://www.haystack.mit.edu/edu/undergrad/srt/index.html>
- [3] https://www.haystack.mit.edu/edu/undergrad/srt/antenna/antenna_info.html
- [4] <https://www.haystack.mit.edu/edu/undergrad/srt/receiver/schem9.pdf>
- [5] <https://www.haystack.mit.edu/edu/undergrad/srt/receiver/schempre.pdf>
- [6] <https://www.haystack.mit.edu/edu/undergrad/srt/receiver/srtdig2.pdf>
- [7] https://www.haystack.mit.edu/edu/undergrad/srt/receiver/receiver_circuit.html
- [8] <https://www.haystack.mit.edu/edu/undergrad/srt/receiver/schemrecdig.pdf>
- [9] <https://www.haystack.mit.edu/edu/undergrad/srt/receiver/schemgndctl2.pdf>
- [10] https://www.haystack.mit.edu/edu/undergrad/srt/receiver/calibrator_report.PDF