

# Erfahrungen beim Bau einer Sende- und Empfangsanlage für den Satelliten Es'hail 2

## Table of Contents

1. Vorwort.....	3
2. Der Satellit.....	3
3. Die Randbedingungen.....	3
4. Die 13cm-Antenne.....	4
4.1 Die Yagi-Antenne.....	4
4.2 Die Helix-Antenne.....	4
5. Der Transverter.....	8
5.1 Das Problem mit der Eingangsleistung.....	9
5.1.1 Die Lösung mit dem Dämpfungsglied.....	9
5.1.2 Die Lösung mit dem PIN-Dioden Umschalter.....	9
6. Die Steuerung des Transverters.....	13
6.1 Die HF-Vox.....	13
7. Die Leistungsmessung.....	14
8. Die PA.....	15
8.1 Die Stromversorgung für die PA.....	15
8.2 Die Sicherung.....	16
8.3 Die ersten Tests.....	17
8.4 Das SWR.....	19
8.5 Die Temperatur.....	19
9. Die Steuerung.....	20
10. Der Empfänger.....	21
10.1 Empfang des digitalen ATV.....	21
10.2 Empfang der schmalbandigen Sendungen.....	22
11. Quellennachweis.....	23

## 1. Vorwort

Seit längerer Zeit ist bei den Funkamateuren der Satellit Es'hail 2 im Gespräch. Dieser Satellit ist geostationär und damit für den Amateurfunk ein absolutes Novum. Umso mehr reizt es genau dafür eine Sende- und Empfangsstation zu bauen. In diesem Vortrag soll von den Erfahrungen beim Aufbau einer solchen Station berichtet werden.

## 2. Der Satellit

Der Satellit Es'hail 2 ist ein geostationärer Satellit, konzipiert für eine kommerzielle Übertragung von Fernsehprogrammen. Dieser Satellit hat eine zusätzliche Amateurfunklast die wiederum aus zwei Lineartranspondern besteht, einem für Betriebsarten wie SSB, CW, PSK31... und einem für digitales ATV. Die Uplinkfrequenzen liegen im 13cm-Band, die Downlinkfrequenzen im 3cm-Band:

Schmalbandbereich:

Uplink

Frequenzbereich	Polarisation	Leistung
2400,05 MHz – 2400,3 MHz	zirkular rechtsdrehend	900 W EIRP
2401,5 MHz – 2409,5 MHz	zirkular rechtsdrehend	200 kW EIRP

Downlink

Frequenzbereich	Polarisation
10489,55 Mhz – 10489,8 Mhz	vertikal
10491 MHz – 10499 Mhz	horizontal

## 3. Die Randbedingungen

Bei dem Bau der Station ging es hauptsächlich darum mit den in meiner Bastelkiste vorhandenen Bauelementen ein einfach bedienbares Gerät zusammenzubauen. Es ging mir nicht darum die neuesten Technologien und die neuesten Aufbaumöglichkeiten

## Erfahrungen beim Bau einer Sende- und Empfangsanlage für den Es'hail 2

auszuschöpfen.

Um das Projekt nicht endlos werden zu lassen wollte ich die HF-Baugruppen für die Bänder (13cm und 3cm) nicht selbst zu bauen sondern kaufen.

Sieht man sich die im Sendebetrieb erforderlichen Leistungen an, wird klar, dass nur die schmalbandigen Betriebsarten in Frage kommen werden.

Die Station sollte als Transverter ausgeführt werden die dann zusammen mit einem FT736R gleichzeitiges Senden und empfangen möglich machen sollte.

Das Bauprojekt sollte in mehreren Einzelschritten erfolgen:

- Antenne für das 13cm-Band
- 13cm Transverter mit etwa 1W Sendeleistung.
- 20W PA
- 3cm Empfangskonverter

### 4. Die 13cm-Antenne

Da meine Erfahrungen mit Spiegeln im 13cm Band (AO 40) katastrophal waren, schied diese Art von Antennen für mich aus. Es blieben also noch die Möglichkeiten: Yagi-Antenne oder Helix-Antenne

#### 4.1 Die Yagi-Antenne

Langyagis haben sich bei mir in der Vergangenheit sehr gut bewährt. Der Nachteil ist, dass sie sich bei diesen Frequenzen nur noch schlecht als Kreuzyagis aufbauen lassen. Würde man Yagis mit linearer Polarisation verwenden, würde man aber wegen der zirkularen Polarisation auf der Empfangsseite 3dB verschenken.

#### 4.2 Die Helix-Antenne

Helixantennen sind zirkular strahlende Antennen wobei die Güte der zirkularen Strahlung mit der Anzahl der Windungen steigt [1]. Für den erzielbaren Antennengewinn gibt es eine Formel von Kraus:

$$G/dB = 10 \lg(15 * (U/\lambda)^2 * n * S/\lambda);$$

mit

U = Wendelumfang,

## Erfahrungen beim Bau einer Sende- und Empfangsanlage für den Es'hail 2

$S$  = Windungsabstand und  
 $n$  = Windungszahl

Während  $U/\lambda$  und  $S/\lambda$  konstant sind, steigt der erzielbare Gewinn nach dieser Formel mit steigender Windungszahl stetig an.

Sieht man sich im Internet nach Helix-Antennen um, findet man eine große Zahl von Seiten in die man die mechanischen Daten einer Helix-Antenne eingeben kann und dort dann den Antennengewinn als Ergebnis erhält. Bei entsprechend langen Antennen müssten demnach traumhafte Gewinne zu erreichen sein. Deshalb war meine erste Planung eine Helixantenne mit einer Gesamtlänge etwa  $20 * \lambda$ .

Eine genauere Suche brachte dann aber zum Vorschein, dass diese Formel nur in einem kleinen Bereich gilt, der Gewinn steigt ab einer Gesamtlänge von etwa  $7 * \lambda$  nicht mehr weiter. Die Antennengewinnrechner im Internet, die diese Einschränkung einfach ignorieren (und es waren alle, die ich ausprobiert habe) kann man also alle unbesehen „in die Tonne treten“.



**Bild 1: Helix-Antenne für 2400 MHz**

Abhilfe: Es werden mehrere kurze und gleiche Antennen gebaut die in einer Gruppe „gestockt“ werden.

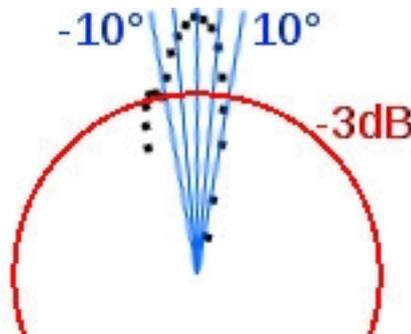
Um ein Gefühl dafür zu bekommen wie gut (oder schlecht) die Eigenbauantenne wirklich ist habe ich versucht das Antennendiagramm aufzunehmen. Die Antennenmessung hat im eigenen Garten stattgefunden. Dazu wurde ein Meßsender an einen zirkular polarisierenden

## Erfahrungen beim Bau einer Sende- und Empfangsanlage für den Es'hail 2

„Dosenstrahler“ angeschlossen, und die Helixantenne in etwa 5m Entfernung auf einem Antennenrotor montiert. Die empfangene Leistung der Antenne wurde mit einem Mikrowellen-Leistungsmeßgerät gemessen. Die WLANs der Nachbarschaft waren aber leider so stark, dass der eigene 100mW Sender nur bei direkter Ausrichtung der Antenne auf den Sender wirklich eindeutig auszumachen war. Ein halbwegs interpretierbares Ergebnis war deshalb nur mit zwei Meßrunden zu erhalten:

- Messung der Leistung ohne den eigenen Sender,
- Messung der Leistung mit eigenem Sender
- Aufnehmen der Differenz beider Leistungen.

Es ist klar so erzielte Ergebnisse nur recht eingeschränkt nutzbar sind. Trotzdem: Hier das auf diese Weise gemessene Antennendiagramm:



**Bild 2: Messung einer einzelnen Helixantenne**

Aus dem Bild kann man einen 3dB Öffnungswinkel von 16 Grad erkennen. Denkt man sich dass die gesamte Leistung der Antenne in einem Kegel mit dem Winkel von 16 Grad ausgestrahlt wird und setzt das Verhältnis von der gesamten Kugeloberfläche zu der durchstrahlten Kugeloberfläche kommt man (für kleine Winkel) in einer vereinfachten

Rechnung zu dem Faktor 
$$g = \frac{4 \pi r^2}{\pi r^2 \sin^2(\alpha/2)} = \frac{4}{\sin^2(\alpha/2)};$$

Bei  $\alpha = 16^\circ$  ergibt das ein g von 206 oder 23,1dBi. Diese Rechnung ist – zugegeben – recht optimistisch, mit geschätzten 21 dBi bis 22 dBi wird man aber mit der Abschätzung des Antennengewinns nicht allzu weit daneben liegen. Eine 4-fach Gruppe bringt dann auch noch etwa 4 zusätzliche dBs, was einen Gesamtgewinn von 25dBi bis 26dBi bringen dürfte, bei 20W Sendeleistung eine EIRP zwischen 6 kW und 8 kW. Auch wenn diese Rechnung vielleicht zu optimistisch sein mag, das geforderte Minimum von 900W EIRP sollte damit wohl überschritten werden.



Bild 3: Helix-Gruppe für 2400 MHz

## 5. Der Transverter

Als Transverter hatte ich mir einen 13cm Transverter von Kuhne angeschafft. Er setzt das

## Erfahrungen beim Bau einer Sende- und Empfangsanlage für den Es'hail 2

2m-Band in das 13cm-Band um. Nachdem das 13cm-Band aber deutlich breiter als das 2m-Band ist, kann man den umgesetzten Bereich umschalten. Einer der Bereiche ist der im 13cm-Band für CW/SSB genutzte Bereich, einer der für den Satellitenbetrieb. Aus diesem Grund sollte der Transverter nicht nur in Senderichtung für den Es'Hail 2 benutzt werden können sondern auch für den „normalen“ Funkbetrieb im 13cm-Band.

### 5.1 Das Problem mit der Eingangsleistung

Für den Sendebetrieb erlaubt der Transverter eine Eingangsleistung von maximal 1W bis 5W. Der Maximalwert lässt sich am Transverter mit einem Poti einstellen. Mein Transceiver liefert eine Leistung von ca. 50mW bis 25W, an einem Poti an der Frontplatte einstellbar. Das birgt die Gefahr dass der Sender den Transverter mit voller Leistung schädigt wenn der Leistungsregler am FT736 versehentlich auf Rechtsanschlag steht. Dafür gibt es zwei Abhilfen:

- Ein Dämpfungsglied von 10dB zwischen Sender und Transverter.
- Ein PIN-Diodenumschalter der den Senderausgang bei zu hoher Leistung vom Transvertereingang trennt.

#### 5.1.1 Die Lösung mit dem Dämpfungsglied

Obwohl das Ganze verhältnismäßig einfach zu realisieren ist, hat die Lösung einige gravierende Nachteile:

- Das Dämpfungsglied dämpft natürlich auch die empfangenen Signale um 10dB. Das ist möglicherweise nicht ganz so gravierend, weil der Transverter von sich aus ja schon eine verstärkende Wirkung hat. Wie sich dieses Dämpfungsglied im Empfangsbetrieb wirklich auswirkt habe ich nicht näher untersucht.
- Um auf der sicheren Seite zu sein, müsste man bei der Lösung mit dem Dämpfungsglied den Transverter auf 2,5W Eingangsleistung stellen. Im Sendebetrieb müsste der Transceiver dann mit voller Leistung senden. Dabei werden dann 22,5W im Dämpfungsglied und 2,5W im Transverter verbraten um schließlich 1,5W Sendeleistung im 13cm-Band zu erhalten. Diese Leistung muss dann mit Lüftern aus dem Aufbau entfernt werden – sicher keine wirklich elegante Lösung.

#### 5.1.2 Die Lösung mit dem PIN-Dioden Umschalter

Die Idee war, den Senderausgang im Fall zu hoher Leistung auf einen Anschlußwiderstand umzuschalten und diese Umschaltung optisch anzuzeigen sodass der Sender von Hand

## Erfahrungen beim Bau einer Sende- und Empfangsanlage für den Es'hail 2

abgeschaltet werden kann. Der Sender wird deshalb nicht allzu lange auf den Abschlußwiderstand „heizen“, es ist also keine besondere Kühlung nötig.

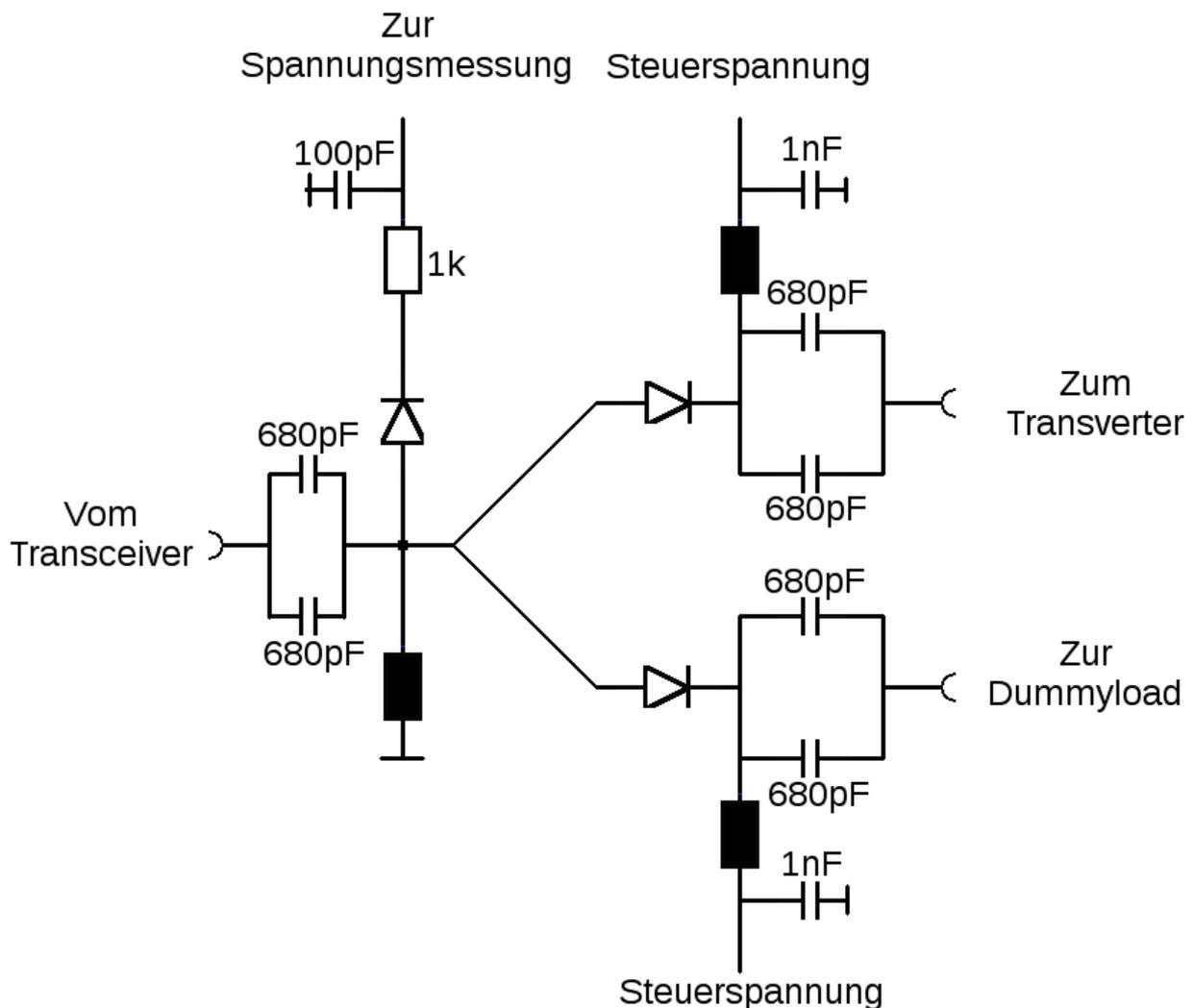


Bild 4: Schaltbild des Diodenumschalters

Ein genauere Betrachtung zeigte dann aber doch einige Probleme:

- Die Sperrspannung:

Geht man von 50Ω Impedanz aus, dann ergibt sich bei einer Leistung von 25W eine Spannung von  $U_{max} = \sqrt{2} * \sqrt{P * R} = \sqrt{2} * \sqrt{50 * 25} V = 50 V$ ; und ein Strom von

$I_{max} = \sqrt{2} * \sqrt{P / R} = \sqrt{2} * \sqrt{25 / 50} = 1 A$ ; . Um ein 25W-Signal mit einer PIN-Diode sperren zu können muss also eine Gegenspannung von 50V angelegt werden. Die Diode selbst muss aber für die doppelte Spannung ausgelegt sein.

- Der Diodenstrom:

## Erfahrungen beim Bau einer Sende- und Empfangsanlage für den Es'hail 2

Ebenso ist es mit dem Strom: Um ein 25W-Signal durchschalten zu können muss man einen Gleichstrom von 1A durch die Diode schicken, der Spitzenstrom durch die Diode ist dann doppelt so hoch, also 2A. Man würde dafür 200V/2A PIN-Dioden brauchen. Das größte was ich finden konnte waren 200V/1A.

Bleibt nur die Lösung jeweils zwei Dioden parallel zu schalten.

- Die Diodenleistung

Bei 1A Strom liegen an der Diode etwa 0,9V an. Das SMD-Element verheizt also konstant 0.9W was auf der kleinen Fläche des SMD-Elements zu beträchtlichen Temperaturen führt.

Der Kompromiss

Um den beschriebenen Wärmeproblemen etwas aus dem Weg zu gehen wurden die Diodenströme einstellbar gemacht und auf etwa 0.7A eingestellt. Bei zu hoher Sendeleistung steigt dann das „virtuelle“ SWR weil die Dioden das Signal dann zeitweise sperren. Nachdem das aber sowieso nur bei einer Fehlbedienung auftreten darf, wurde dieser Kompromiss so beibehalten.

Das messen der Eingangsleistung

Um bei zu hoher Leistung reagieren zu können muss man die Leistung messen. Die Idee war gewesen, dafür einfach eine weitere PIN-Diode der Art einzusetzen wie sie für die Umschaltung schon eingesetzt wurden. Der erste Test brachte dann aber ganz sonderbare Ergebnisse: Der Messausgang war extrem hochohmig und es musste ein eigener Impedanzwandler eingebaut werden um die Leistung überhaupt gemessen zu bekommen.

Die Umschaltung

Für kurze Reaktionszeiten erschien mir ein Mikrocontroller zu langsam, die Logik für die Umschaltung wurde deshalb diskret aufgebaut. Auch die Ansteuerung der Dioden (hohe positive Spannung für's sperren und kleine negative Spannung/hoher Strom für die Freigabe erwies sich als nicht ganz trivial).

## Erfahrungen beim Bau einer Sende- und Empfangsanlage für den Es'hail 2

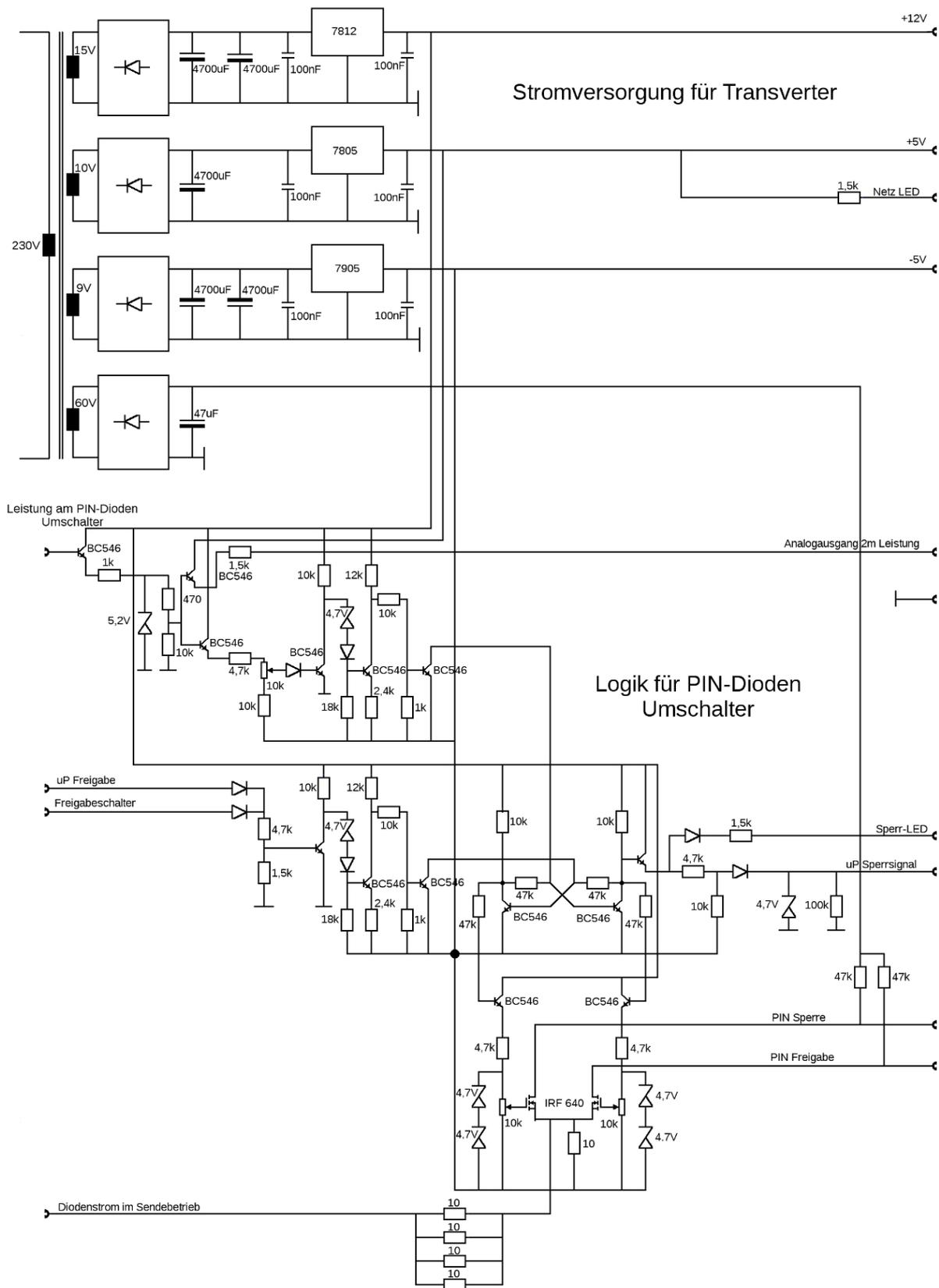


Bild 5: Stromversorgung für den Transverter und Steuerung der PIN-Dioden Umschaltung

## 6. Die Steuerung des Transverters

So lange der Transverter direkt neben dem eigenen Transceiver steht lässt er sich einfach von Hand von Empfangs auf Sendebetrieb umschalten. Ein kleines bisschen aufwendiger ist es den Sender über eine eigene Steuerleitung vom FT736 aus zu steuern.

Das Kabel vom Transverterausgang zur Sendeantenne sollte möglichst kurz sein denn bei den hohen Frequenzen sind Kabelverluste nicht mehr zu vernachlässigen. Für meine Versuche war deshalb geplant, den Transverter im Dachboden zu installieren und über ein langes HF-Kabel mit dem Transceiver zu verbinden. Eine eigene Steuerleitung wollte ich mir ersparen. Die Lösung dafür ist eine HF-Vox.

### 6.1 Die HF-Vox

Für die Umschaltung bei zu hoher Leistung existiert ja schon eine Leistungsmessung. Die dafür generierte Spannung sollte auch für die HF-Vox verwendet werden. Um mir den Aufwand an diskreten Bauelementen zu ersparen wurde das Verhalten der HF-Vox (Empfindlichkeit, Haltezeit) per Software in einem Mikrocontroller realisiert. Erste Tests brachten in den Betriebsarten CW und FM recht gute Ergebnisse. Mit SSB will es nicht so recht funktionieren. Der Grund ist, dass SSB verglichen mit der mittleren Sendeleistung sehr hohe Spitzenleistungen hat. Dreht man die Empfindlichkeit der VOX auf das mögliche Maximum, kommt die Schaltung (wohl wegen der oben schon erwähnten sehr hochohmigen Leistungsmessung) und dadurch verursachten Einstreuungen ins Schwingen. Dreht man die Empfindlichkeit zurück funktioniert die HF-Vox zwar, die Leistung des Transceivers muss aber sehr sehr vorsichtig eingestellt werden denn der Punkt an dem die VOX schon anspricht, und der, der wegen zu hoher Eingangleistung zur Abschaltung führt liegen recht nahe beieinander. Unglücklicherweise kommt noch ein weiterer Effekt dazu: Gehen die Leistungsspitzen über die durch den eingestellten PIN-Dienstrom bedingte maximal mögliche Leistung hinaus, sieht der Sender keine 50Ω mehr. Je nach Leitungslänge kommt es dann zu einer Spannungsüberhöhung (und sofortigen Abschaltung) oder zu einer Absenkung der Spannung (und damit einer weit unempfindlicheren Abschaltung). Ein Problem das bisher noch nicht ganz gelöst ist.. Derzeit lässt sich das Optimum nur mit einer Verkürzung oder Verlängerung des HF-Kabels um wenige Zentimeter optimieren.

## 7. Die Leistungsmessung

Um die Leistung optimal einstellen zu können (speziell auch wegen der HF-VOX) ist eine genaue Leistungsmessung nötig. Auch dazu sollte wieder das Signal verwendet werden das aus dem PIN-Dioden-Umschalter stammt. Dafür habe ich den Zusammenhang Leistung/Ausgangsspannung ausgemessen und in einem Diagramm festgehalten. Die erste Vermutung war, dass die Spannung (zumindest in dem Bereich in dem die Dioden oberhalb des 0,7V Knickpunkts arbeiten) der Beziehung  $U = \sqrt{P * R}$ ; folgt. Überraschenderweise ist das überhaupt nicht der Fall. Um eine lineare Anzeige zu erhalten habe ich deshalb eine Tabelle aufgestellt, die in dem schon für die HF-VOX benutzten Mikrocontroller linear interpoliert wird. Das Ergebnis wird dann als PWM (Pulsbreitensignal) auf ein analoges Meßwerk gegeben.

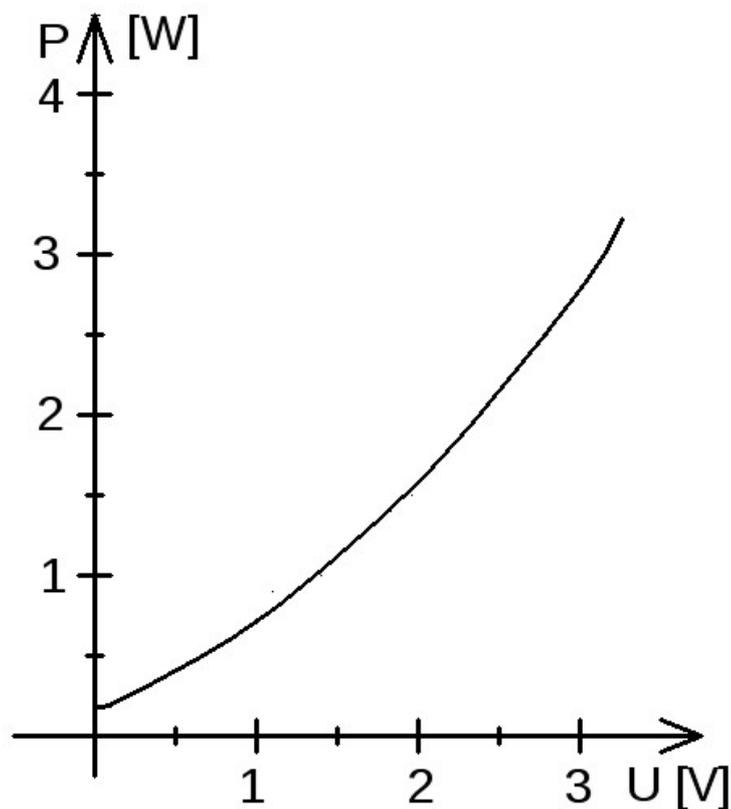


Bild 6: Diagramm Monitorspannung/Eingangsleistung

Auch der Transverter selbst hat einen Spannungsausgang mit dem sich die 2,4GHz Sendeleistung messen lässt. Die hier aufgenommene Leistungs/Spannungskurve sieht der aus der Leistungsumschaltung recht ähnlich. Auch hier ist deshalb eine Stützstellenliste notwendig um sie mit einem Mikrocontroller linearisieren zu können.

## 8. Die PA

Nachdem bis dahin zusammengebaute Gerät mit dem oben beschriebenen „Einschränkungen“ funktionierte, sollte jetzt noch eine PA eingebaut werden. Auch diese PA stammt von Kuhne. Eingangsleistung bis 1,5W, Ausgangsleistung bis max.30W (bis 20W linear). Stromversorgung: 12V max. 5A. In der Beschreibung der PA wird darauf hingewiesen, dass die Stromversorgung mit einer 5A-Sicherung zu sichern ist.



Bild 7: Die PA-Platine

### 8.1 Die Stromversorgung für die PA

Um Ärger mit Störungen aus Schaltnetzteilen zu vermeiden sollte diese Stromversorgung „klassisch“ aufgebaut werden, also mit einem Ringkerntrafo und einem einfachen Längsregler. Um die Verluste so klein wie möglich zu halten wurde die Sekundärspannung des Trafos so klein wie möglich gehalten und anstatt einer Graetz-Brücke nur zwei Dioden eingebaut, was natürlich zwei Sekundärwicklungen im Trafo erfordert. Eine niedrige Spannung erfordert eine hohe Speicherkapazität um die Lücken die bei der Gleichrichtung



## Erfahrungen beim Bau einer Sende- und Empfangsanlage für den Es'hail 2

Sicherungsautomat der wohl in Telefonanlagen benutzt worden war. Der hatte intern einen Auslöser mit einem Bimetallstreifen und einen mit einer Magnetspule für hohe Ströme. Obwohl auf dem Automat 0,6A stand löste das Ding erst bei über 5A über diese Magnetspule aus. Zerlegen des Automaten und neu wickeln der Spule löste dieses Problem, der Automat löst jetzt schon bei 0,5A über diese Spule aus. Mit diesem Automaten wird jetzt die Primärspannung des PA-Trafos abgeschaltet.



Bild 9: Sicherungsautomat (vor dem Umbau)

### 8.3 Die ersten Tests

Bei den ersten Tests zusammen mit der PA schien die Ausgangsspannung des Netzteils bei 6V anstatt 12V zu liegen. Das Oszilloskop zeigte wildes Schwingen der Spannungsregelung sobald irgendwelche kapazitive Lasten angeschlossen waren. Das konnte nach längeren Versuchen durch verlangsamen der Regelung mit Hilfe von Kondensatoren am Gate des MOS-FETs behoben werden. Ein weiterer Effekt dessen Ursache nicht gefunden werden konnte war, dass die Sicherungselektronik den FET pro Sekunde mehrfach für wenige Mikrosekunden abgeschaltet hat, meist ohne wirklich auszulösen, alle ein bis zwei Minuten war es dann doch so weit und der Automat wurde angesteuert. Dieser Effekt tritt aber nur ohne Last auf. Zur Abhilfe liegt derzeit ein Widerstand parallel zu Stromversorgung der auch dann etwas Last erzeugt wenn die PA abgeschaltet ist.

Das war leider nicht das einzige Problem. Beim ausschalten des Gerätes (also trennen vom

## Erfahrungen beim Bau einer Sende- und Empfangsanlage für den Es'hail 2

Netz) sprach die Sicherung immer an. Als Grund dafür stellte sich heraus, dass die Spannung am Spannungsverdoppler wegen der viel kleineren Kapazitäten deutlich schneller einbricht als die durch die 30000uF gepufferte 12V-Spannung. Das bringt die Sicherungselektronik zum sofortigen auslösen. Die einzige Abhilfe in dem Fall war, dem Auslösen zuvorzukommen: Mit dem ausschalten des Netzschalters wird jetzt gleichzeitig der Auslösemagnet des Automaten von der Elektronik getrennt. Damit ist jetzt auch dieses Problem behoben.

Wie sich das gehört, hat das Gerät auch auf der Primärseite eine Sicherung. Für den Normalbetrieb, Gesamtleistung keine 100W, sollten 0,5A genügen. Um den Einschaltstoß der Trafos zu überleben hatte ich eine träge 1A Sicherung eingesetzt. Die war schon beim ersten einschalten „atomisiert“. Letztendlich „hält“ eine träge 3A-Sicherung den Einschaltstoß beider Trafos aus. Dieser Wert ist für einen sinnvollen Schutz aber deutlich zu hoch. Um das Problem zu beheben wurde ein eigener Mikrocontroller spendiert. Der wird mit der Spannung des kleinen Trafos (für den Transverter) versorgt. Er wartet nach dem eigenen Start etwas, schaltet dann einen Widerstand in Serie zum großen Ringkerntrafo, schaltet ihn ein, und schließt den Vorwiderstand etwa eine halbe Sekunde später wieder kurz. Jetzt hält auch eine 1A-Sicherung wieder problemlos.

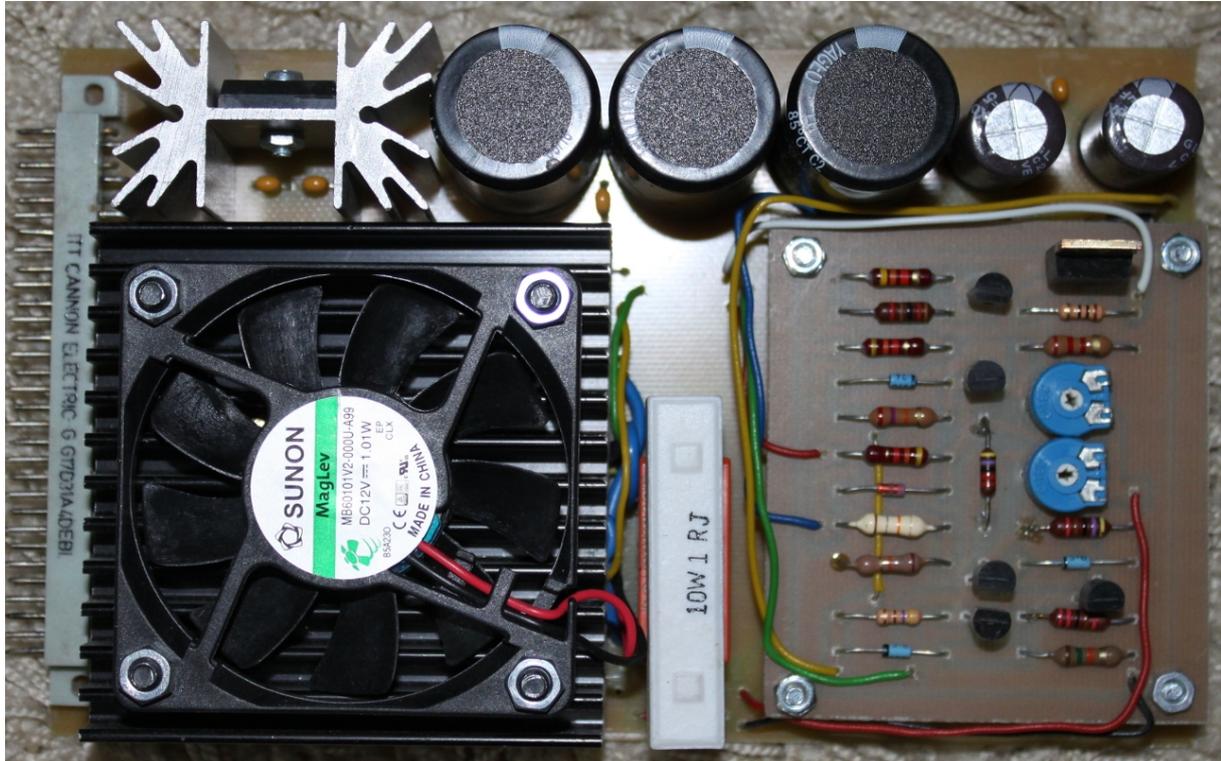


Bild 10: Die 12V / 5A Platine

## 8.4 Das SWR

In der Beschreibung der PA steht (neben der Sache mit den 5A) auch dass das SWR nicht größer werden darf als 2. Auch da gibt es zwei Wege:

- Mit einem Zirkulator dafür sorgen, dass der PA-Ausgang immer die 50Ω sieht.
- Das SWR messen und den Sender im Falle eines zu großen Wertes abschalten.

Leider habe ich keinen Zirkulator für 2,4GHz gefunden, blieb also nur der Weg der Messung. Für die Messung wird ein Richtkoppler eingesetzt, die Vorwärts- und Rückwärtsleistungen werden über Dioden gleichgerichtet und man erhält Spannungen die den Leistungen entsprechen sollen. Auch hier ist der Zusammenhang zwischen Leistung und Spannung nicht wie erwartet. Deshalb wurde auch hier die Lösung mit Diagrammen verfolgt, die in einem Mikrocontroller linearisiert werden. Daraus wird dann das SWR errechnet. Ab einer einstellbaren Vorwärtsleistung wird die Überwachung scharf gestellt. Wird das SWR zu hoch, wird die HF-Einspeisung am 2m-Eingang auf den mit der Dummy-Load versehenen Ausgang umgeschaltet.

## 8.5 Die Temperatur

Schließlich gibt es in der Vorgabe für die PA noch den Punkt, dass die Gehäusetemperatur die 55 Grad-Marke nicht überschreiten darf. Auch dafür wollte ich Bauteile aus meiner Bastelkiste verwenden: NTC-Widerstände.

Diese Widerstände verhalten sich nach der Formel  $R = R_r * e^{B(1/T - 1/T_r)}$ ; mit

Tr = Referenztemperatur und

Rr = Referenzwiderstand.

Mit zwei Messungen lassen sich die Werte Rr und B und Tr bestimmen. Dazu wurde Der NTC verhält sich exakt nach dieser Formel. Damit ist es leicht, die Temperatur des Gehäuses zu messen, in einem Mikrocontroller zu linearisieren und damit einen Lüfter anzusteuern.



Bild 11: Aufbau zur Messung der NTC-Parameter

## 9. Die Steuerung

Die Punkte Messung und Steuerung wurden inzwischen schon mehrfach erwähnt. Verglichen mit einem diskreten Aufbau oder speziellen Bauteilen (Timer, Komparatoren. . .) hat sich in der Vergangenheit gezeigt, dass Mikrocontrollen in vielen Fällen die flexibelste und kostengünstigste Lösung für Steuer- und Messaufgaben sind. In dem beschriebenen Gerät wurden vier Mikrocontroller des Typs ATtiny44 eingesetzt für die Aufgaben:

- Lüftersteuerung, Anzeige des PA-Stroms
- HF-Vox , Anzeige der Eingangsleistung, der Transverterleistung und der PA-Leistung
- Anzeige des SWR und der PA-Temperatur und

## Erfahrungen beim Bau einer Sende- und Empfangsanlage für den Es'hail 2

- Steuerung der Einschaltsequenz für die Stromversorgung der PA

Auf der Platine selbst sind hauptsächlich Abblockkondensatoren für die Controllereingänge, Potis für Referenzspannungen und einfache Pegelanpassungen verbaut. Im Gegensatz zum 12V 5A – Netzteil gab es mit dieser Platine keine Überraschungen.

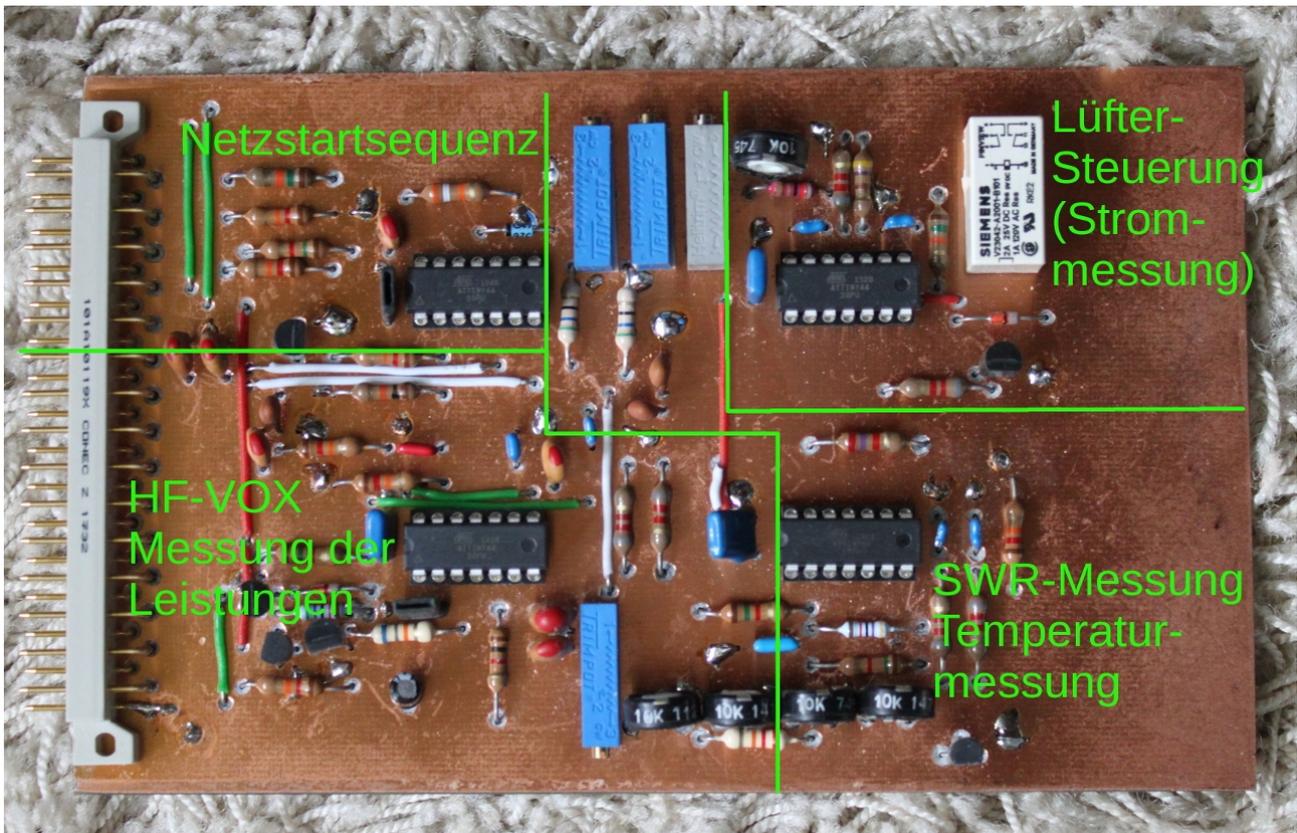


Bild 12: Platine zur Steuerung und Messungen im gesamten Transverteraufbau

## 10. Der Empfänger

Im Gegensatz zum Sender ist auf der Empfängerseite noch nicht so viel passiert. Für den Empfang des Satelliten gibt es schon fertige LNBS, die sich genau wie die für den normalen Fernsehempfang einsetzen lassen.

### 10.1 Empfang des digitalen ATV

Der digitale Fernsehempfang (10401 MHz bis 10499 Mhz) wird vom LNB auf 1131 Mhz bis 1139 Mhz umgesetzt und ist dann mit einem handelsüblichen Sat-Receiver zu empfangen.

In dem Fall genügt ein 75Ω Kabel zwischen LNB und dem Empfänger

## 10.2 Empfang der schmalbandigen Sendungen

Der Bereich von 10489,55 Mhz bis 10489,8 Mhz wird auf den Bereich von 1129,55 MHz bis 1129,8 Mhz umgesetzt. Um diese Signale empfangen zu können ist ein „Bias-T“ nötig. Damit kann der LNB mit Strom versorgt werden ohne den eigenen Empfängereingang mit Gleichspannung zu belasten. Zusätzlich wird in dem Bias-T-Gehäuse eine Transformation von 75Ω auf die üblichen 50Ω durchgeführt.

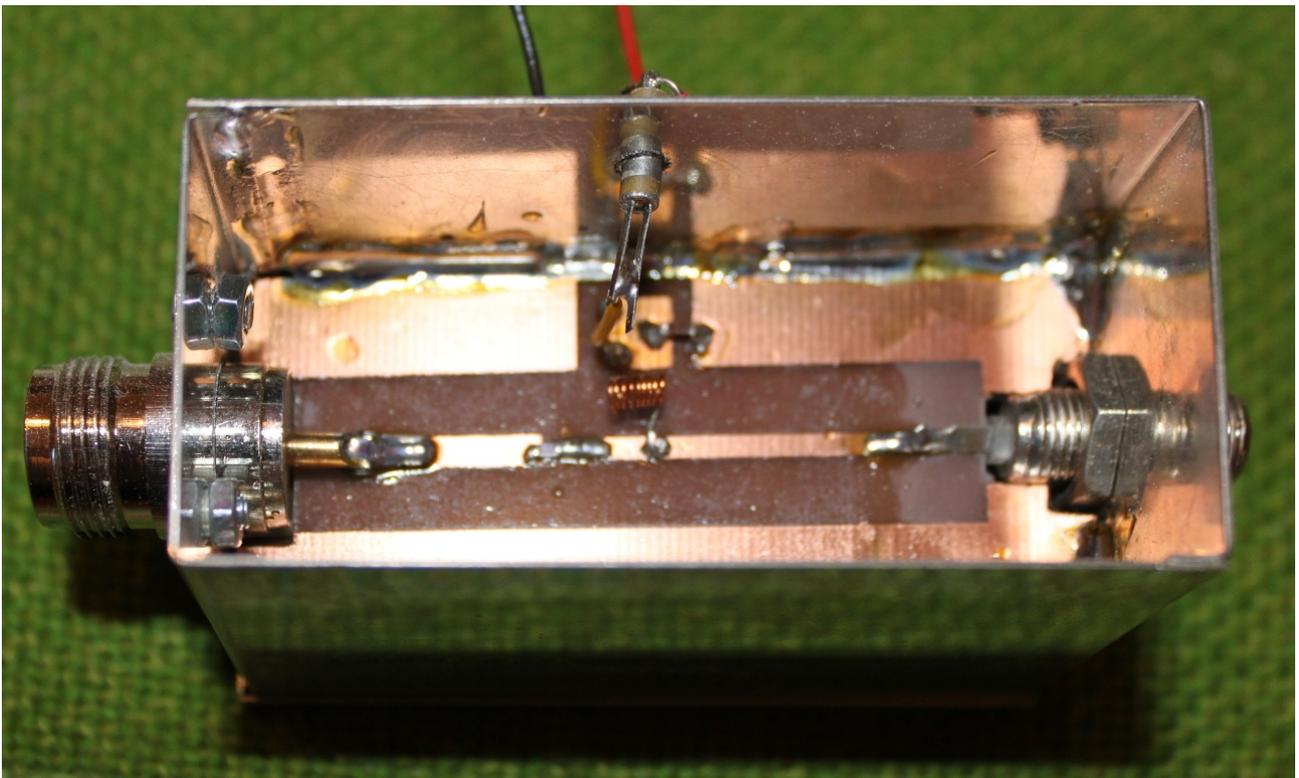


Bild 13: Bias-T mit 50Ω-75Ω Transformation

Im ersten Anlauf soll das Signal mit einem Scanner empfangen werden, längerfristig ist allerdings ein Mischer geplant, der das Signal in das 70cm-Band umsetzt sodass das Satellitensignal mit dem FT736 empfangen werden kann.

## 11. Quellennachweis

[1] Rothammels Antennenbuch 13. Auflage, Seite 815 DARC-Verlag

Siemens Bauelemente (Technische Erläuterungen und Kenndaten für Studierende)  
Richterdruck Würzburg

<https://amsat-uk.org/satellites/geosynchronous/eshail-2>