

EME Versuche mit Eigenbaumitteln

Inhaltsverzeichnis

1. Vorwort.....	3
2. Die Situation.....	3
3. Die Antenne.....	3
4. Der Vorverstärker.....	5
5. Nachführen der Antenne.....	5
5.1 Die Hardware.....	5
5.2 Die Software.....	7
5.3 Test der Antennennachführung.....	9
6. Erste Empfangsversuche.....	10
6.1 Die Suche nach anderen Stationen	11
6.2 QRM.....	12
7. Zusammenfassung und Ausblick.....	12

1. Vorwort

Um EME zu betreiben, kann man natürlich alles zusammenkaufen. Damit würde für mich diese Betriebsart wie alle anderen, bei denen man die Gerätschaften dafür zusammenkauft für mich austauschbar und uninteressant werden. Aus diesem Grund habe ich versucht, mit möglichst viel Eigenbau soweit zu kommen dass ich QSOs, die über den Mond laufen mitverfolgen kann.

2. Die Situation

Fasziniert hat mich der Gedanke den Mond anzapfen zu können seit ich die Funklizenz habe. Vor den Artikeln die drüber geschrieben wurden, was alles für EME erforderlich ist, blieb aber nur ehrfürchtiges Erstarren. Da war von fast fußballfeldgroßen Antennen und unglaublichen Sendeleistungen die Rede. Kurz – da einzusteigen war undenkbar.

Seit nicht allzulanger Zeit gab es aber einige Änderungen, die es Wert waren, das Ganze neu zu überdenken.

- im 23cm-Band ging die EME-Bake ON0EME in Betrieb. Diese Bake sendet CW-Botschaften zum Mond immer dann wenn er über 10 Grad über dem Horizont steht. Die Leistung der Bake ist 500kW ERP, die Frequenz 1296MHz, die Übertragungen beginnen exakt jede Minute. Zeit und Frequenz haben eine sehr hohe Genauigkeit. Außerdem gibt es im Internet eine Seite auf der man den aktuellen Betriebsmodus der Bake mitverfolgen kann. (Sendebetrieb Ja/Nein, Azimuth und Elevation des Mondes...)
- Von K1JT gibt es ein Übertragungsverfahren (JT65C), das mit der Dopplerverschiebung der vom Monde reflektierten Sendesignale gut zurechtkommt und das bei Signal/Rauschverhältnissen noch funktioniert, bei denen schon lange kein CW mehr möglich ist.

Das war letztendlich der Startschuss, es mit EME und Eigenbaumitteln zu versuchen.

3. Die Antenne

Die beliebteste Antenne ist in diesem Frequenzbereich offensichtlich die Parabolantenne. Vor längerer Zeit hatte ich für den Empfang von Meteosat Satelliten einen 2,2m Spiegel gebaut gehabt. Damals hat es genügt, diesen Spiegel fest auf den geostationären Satelliten auszurichten. Für kontinuierliches nachstellen war die Mechanik ungeeignet gewesen. Ein Versuch den Spiegel auf das Dach zu stellen und drehbar zu montieren scheiterte an der dafür erforderlichen Mechanik. Den Spiegel habe ich deshalb wieder zerlegt.

Seit dieser Zeit habe ich auch mit einem Antennendesign von DL6WU experimentiert. Die Besonderheit bei diesem Design ist, dass beim hinzufügen zusätzlicher Elemente keine Sättigung eintritt. Jede Verdopplung der Boomlänge bringt zusätzliche 2,5dB Antennengewinn. Mag sein, dass auf bestimmte Längen optimierte Hochgewinnantennen mit kleineren Abmessungen höhere Gewinne als die DL6WU-Antennen erzielen. Sie haben aber den Nachteil, dass sie stark auf ihre Umgebung reagieren und bei ungünstiger Aufhängung oder anderen Objekten in der Nähe ihre Überlegenheit nicht mehr ausspielen können. DL6WU-Antennen hatte ich schon für das 70cm Band

Vortrag: EME Erfahrungen mit Eigenbau

und das 2m-Band nachgebaut. Mit 25W gelangen damit QSOs bis nach Italien und Slowenien – so schlecht konnten diese Antennen also nicht sein. Im 23cm Band trat bei der Dimensionierung allerdings ein Problem auf. Nach der Dimensionierungsvorschrift sollten die Elemente, die durch den Boom gesteckt werden und fest ihm elektrisch verbunden sind gegenüber der Berechnung um 60% des Boombdurchmessers verlängert werden. Bei einem Boom mit quadratischem Querschnitt stimmt diese Vorschrift nicht mehr. Solange der Boombdurchmesser verglichen mit den Elementlängen klein ist macht das nichts aus, im 23cm-Band entsteht dabei aber schon ein Verlust von einem 1dB/m. Stellt man die Elemente auf Stützer (Streifen aus Platinenmaterial 12cm x 1cm) tritt dieses Problem nicht mehr auf. Der mechanische Aufwand ist bei dieser Lösung allerdings weit höher. Mit zwei mal 2,5m Alurohr, mit quadratischem Querschnitt, 16mm Kantenlänge und 1mm Wandstärke sollte eine Antenne mit 5m Länge entstehen. Da Reflektor, Strahler und Direktor 1 aus mechanischen Gründen hinter dem Boom angebracht sind, gibt sich eine Gesamtlänge von 5,15m auf dem 59 Elemente Platz finden. Die Antenne sollte damit einen Gewinn von 19,7dB gegenüber einem Dipol erreichen.

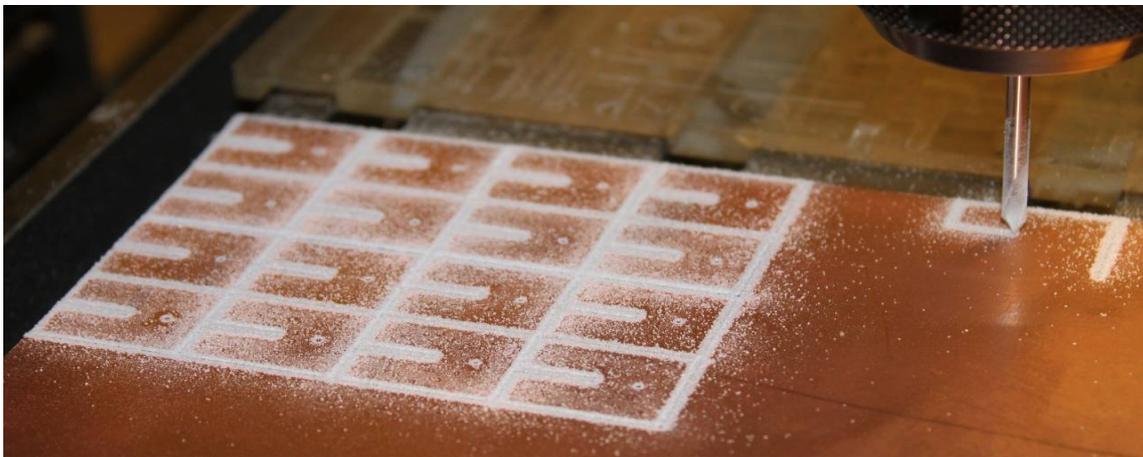


Bild 1:

Um den mechanischen Aufwand etwas zu verkleinern wurden die Umrissse der Basisplättchen für die Stützer mit Hilfe einer Fräsmaschine vorgezeichnet. Ausgesägt wurden sie mit einer Laubsäge.



Bild 2

Am Boom montierter Stützer mit einem Direktorelement

4. Der Vorverstärker

Zwischen Antenne und Empfänger ist ein Kabel von 30m Länge. Auch bei Aircom-Kabel sind die Kabelverluste auf dieser Strecke für EME zu hoch. Ohne Vorverstärker ist da sicher nichts zu empfangen. Der Vorverstärker – ein altes und erfolgreiches Bauprojekt – schafft es mit einigen Tricks eine Rauschtemperatur von gerade mal 50K zu erreichen. Erreicht wird das durch einen freitragenden Aufbau (nur Luftisolation) und einen Eingangsschwingkreis sehr hoher Güte der nur durch den ohmschen Anteil des Generatorwiderstandes (also der Antenne) bedämpft wird. Dieser Verstärker hat mir bei meinen ATV-Versuchen schon gute Dienste geleistet und sollte jetzt auch für die EME Empfangsversuche genutzt werden.



Bild 3: Rauscharmer L-Band Verstärker

5. Nachführen der Antenne

Die oben beschriebene Antenne hat einen Öffnungswinkel von etwa 10° . Ernsthafter EME-Betrieb ist damit nur möglich wenn die Antenne mit einer Genauigkeit von etwa $\pm 2^\circ$ auf den Mond ausgerichtet werden kann.

5.1 Die Hardware

Für die Montage hatte ich die Antenne auf ein schweres Fotostativ montiert das sich bis auf 1,5m ausfahren ließ (siehe Bild 2). Wegen der Länge von über 5m ließ sich die Antenne für den EME-Betrieb nicht genügend kippen. Bei etwa 30° Neigungswinkel berührt der Reflektor schon den Boden. Zusätzlich ergab sich das Problem, dass der Mond vom eigenen Garten aus erst zu sehen ist, wenn er über 25° über dem Horizont steht. Die 5° übrigbleibender Beobachtungswinkel waren für meine EME-Versuche eindeutig zu wenig. Außerdem müsste die Antenne immer von Hand nachgestellt werden war außerdem vorausgesetzt, dass der Mond tatsächlich zu sehen ist.



Bild 4:
Montage der EME-Antenne auf einem Fotostativ.

Abhilfe brachte da ein in früheren Zeiten für den Satellitenbetrieb genutzter Azimuth/Elevationsrotorsatz auf einem 2m Holzmast. Dort wurde die Antenne so montiert, dass sie vertikal um 180° und horizontal um 370° gedreht werden kann.

5.2 Die Software

Der Rotorsatz lässt sich nur vom Shack aus bedienen – ein Ausrichten nach Sicht ist damit also nicht mehr möglich. Einzige Möglichkeit – ausrichten per Software. Es gibt zwar Programme, die Azimuth und Elevation des Mondes berechnen und als Zahlen am Bildschirm ausgeben (z.B. WSJT oder die Angaben von ON0EME) – solange sich diese Werte aber nicht so auskoppeln lassen dass man sie softwaremäßig weiterverarbeiten kann sind sie fürs Ausrichten der Antenne wertlos.

Der erste Versuch an dieser Stelle mit eigener Software weiterzukommen war die Nutzung der für die Satellitenverfolgung benutzte Software. Die Bewegung von Satelliten lässt sich verhältnismäßig einfach beschreiben weil sie im Prinzip den Keplerschen Gesetzen folgt. Für die Lösung des Zweikörperproblems (wobei einer verglichen mit dem anderen eine sehr große Masse hat) gibt es iterative Verfahren (Newton-Raphson Methode) mit denen man verhältnismäßig einfach zu den gewünschten Ergebnissen kommt. Bei den realen Satelliten gibt es nun aber eine Reihe von teilweise nicht vorhersagbaren Störgrößen die dazu führen, dass die vorhergesagten Satellitenposition umso fehlerhafter werden je weiter die berechneten Werte in der Zukunft liegen. Um zu brauchbaren Vorhersagen zu kommen werden für die verschiedenen Satelliten deshalb in regelmäßigen Zeitabständen sogenannte Keplerdatensätze veröffentlicht die aus Radarvermessungen ermittelt werden. Diese Datensätze enthalten Informationen wie

- der Zeitpunkt der Messung
- die Umlaufzeit des Satellitenbetrieb
- die Bahnneigung (Inklination)
- die Sinkrate
- ...

Beispiel: Ein Keplerdatensatzes für den Satelliten FO-29

FO-29

1 24278U 96046B 12221.83684200 .00000105 00000-0 14614-3 0 09206

2 24278 098.5859 315.6083 0349638 252.9973 103.2581 13.52986659789070

Mit jedem dieser Datensätze kann man man mit der Bahnberechnung neu aufsetzen und hat damit für die nächsten Tage oder Wochen hinreichend genaue Positionen.

Meine Hoffnung war nun, auch für den Mond solche Datensätze zu finden um meine Eigenbau-Satellitenverfolgungssoftware damit füttern zu können. Trotz intensiver Suche waren aber keine zu finden. Erste eigene Bahnberechnungsversuche führen zu dem Ergebnis, dass die Kraft mit der die Sonne am Mond „zieht“ etwa doppelt so groß ist wie die mit der die Erde am Mond zieht. Die Mondbahn kann also nicht mit den Gleichungen eines Zweikörperproblems beschrieben werden.

Vortrag: EME Erfahrungen mit Eigenbau

Die Suche nach brauchbarer Software zur Bestimmung von Elevation und Azimuth des Mondes an einem bestimmten Standort auf der Erde war ebenso erfolglos. Schließlich bin ich im Internet in einem Astronomieforum auf die Aussage gestoßen, dass es ein Buch gäbe „Astronomie mit dem Personal Computer“ in dem beschrieben sei wie so eine Berechnung funktioniert. Daraufhin habe ich mir das Buch besorgt. Zu dem Buch gab es noch Software (C++ Sourcecode) mit denen einige der Berechnungen auch ohne Eigenentwicklungen möglich sein sollten. Leider hat mein Compiler die Übersetzung des Codes mit Fehlermeldungen abgebrochen. Alle Versuche die Programme so umzuschreiben dass der Compiler sie schluckt waren erfolglos gewesen. Daraufhin habe ich beschlossen, den C++-Code in ANSI-C umzuschreiben und wollte mit dem Kapitel „Die Mondbahn“ in der Buchmitte beginnen. Der Text in diesem Kapitel hat sich für mich aber als absolut unverständlich erwiesen – da von von Dingen wie der „mittleren Anomalie des Mondes“, oder vom „mittleren Abstand des Mondes vom aufsteigenden Knoten“ die Rede. Um da weiterzukommen blieb nur die Möglichkeit die 150 Seiten vor dem Kapitel „Die Mondbahn“ durcharbeiten. Nach etwa 2 Wochen war es schließlich möglich, die Ausführungen so weit zu verstehen um die vorhandene Software in ANSI-C umzuschreiben und die resultierenden Positionswerte auf das Horizontsystem mit der eigenen Position als Nullpunkt umrechnen zu können. Die Positionsgenauigkeit sollte bei etwa einer Bogensekunde liegen, also weit genauer als das was die Antenne erfordern würde.

Nachdem das Problem der Nachführung gelöst war, ergab sich noch das, dass die Antenne bei laufender Nachführsoftware einmal genau auf den Mond ausgerichtet werden muss um danach weiter genau auf den Mond zu zeigen. Leider war der Himmel in diesem Winter fast immer bedeckt, der Mond war so gut wie nie zu sehen. Um die Antenne trotzdem richtig ausrichten zu können wurde eine Bahnrechnungssoftware für die Sonne geschrieben. Richtet man die Antenne während des laufenden Sonnenverfolgungsprogramms aus, so sollte sich die Antenne nach dem Umschalten auf das Mondverfolgungsprogramm auf den Mond einstellen.

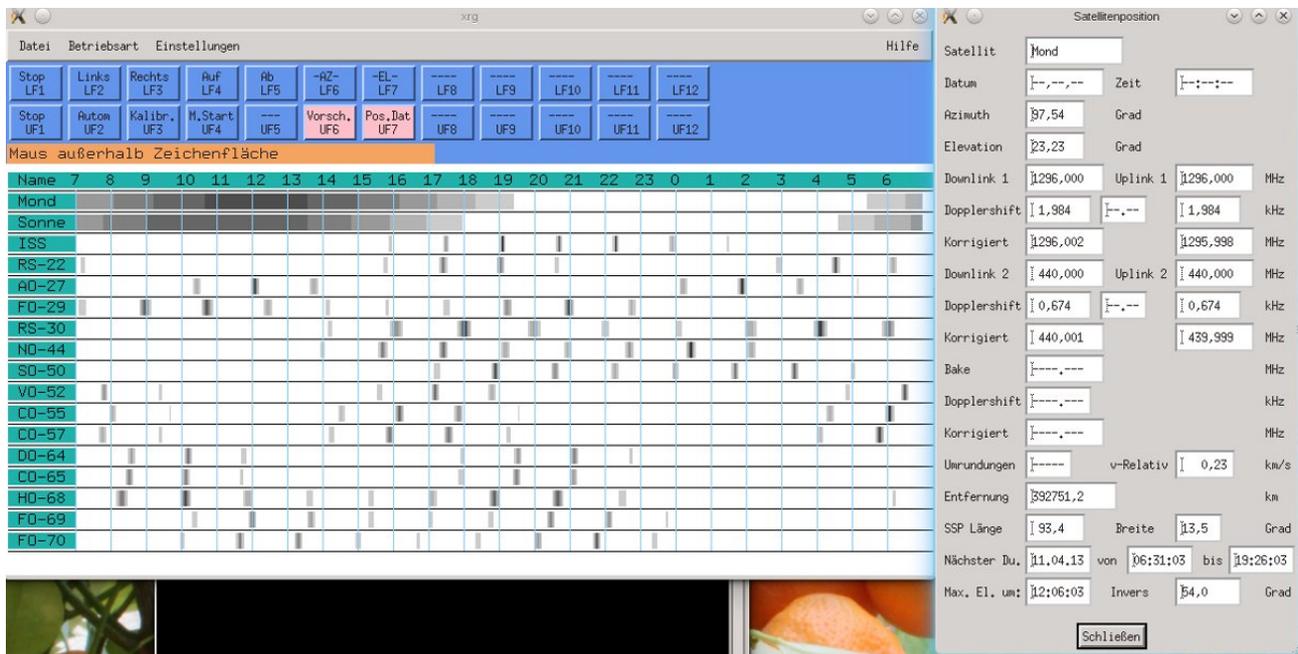


Bild 5:

Integration der Software für die Verfolgung von Mond und Sonne in das Satellitenverfolgungsprogramm

5.3 Test der Antennennachführung

Die Antennennachführung sollte vorerst ohne den gesamten Antennenaufbau getestet werden. Dafür wurde der Rotorsatz im Zimmer aufgestellt und anstatt der Antenne ein etwa 1m langes Kunststoffrohr mit 1cm Innendurchmesser montiert. Der Rotor wurde früh bei Sonnenaufgang so ausgerichtet dass die Sonne durch das Rohr zu sehen war. Während des Tages wurde geprüft ob die Sonne im Lauf der Zeit aus dem Zentrum des Rohres auswandert.

Tatsächlich zeigten sich nach einigen Stunden Positionierungsfehler von etwa maximal 2° . Als Ursache wurde die Positionsrückmeldung der Rotoren identifiziert: Diese Rückmeldung geschieht durch Potentiometer. Die damit abgegriffene Spannung ist ein Maß für die aktuelle Richtung. Am Eingang des AD-Wandlers zur Umsetzung der analog gemessenen Richtung in einen Zahlenwert werden die möglichen 370° Azimuth auf 0 bis 2.56V abgebildet. Ein Grad entspricht damit einer Spannungsdifferenz von 6,92mV (!). Damit ist gut nachvollziehbar, dass sich über den gesamten Drehwinkel ein solcher Positionierungsfehler aufbauen kann. Durch die Erweiterung der Software um eine Kalibrierfunktion konnte der Fehler letztendlich auf etwa $\pm 1^\circ$ reduziert werden. Nach der Ausrichtung auf die Sonne war nachts auch der Mond genau durch das Rohr zu sehen.



Bild 6: Aufbau für den Test der Positioniergenauigkeit

6. Erste Empfangsversuche

Nachdem nun alle Probleme gelöst schienen wurden Rotorsatz und Antenne im Garten montiert. Dabei hat sich als schwierig erwiesen, eine Stelle zu finden an der die Antenne aufgestellt werden konnte ohne beim Drehen irgendwo anzustoßen. Als Empfänger diente ein FT736R, die NF wurde mit dem Wasserfalldiagramm von WSJT beobachtet. Um die 1296MHz genau zu finden wurde auf dieser Frequenz mit einem genauen ($5 \cdot 10^{-8}$) Signalgenerator ein Träger eingespeist. Dabei zeigte sich, dass der FT736R im „warmen“ Zustand etwa 2,4kHz neben der Frequenz liegt. (Abweichung also etwa $2 \cdot 10^{-6}$). Korrigiert um die Dopplerverschiebung konnte das Signal von ON0EME schon in der ersten Minute ca. 50Hz neben er erwarteten Stelle empfangen werden. So deutlich das Signal im Wasserfalldiagramm auch zu sehen war, zu hören war nichts.



Bild 7:

Antennenaufbau beim ersten Empfang

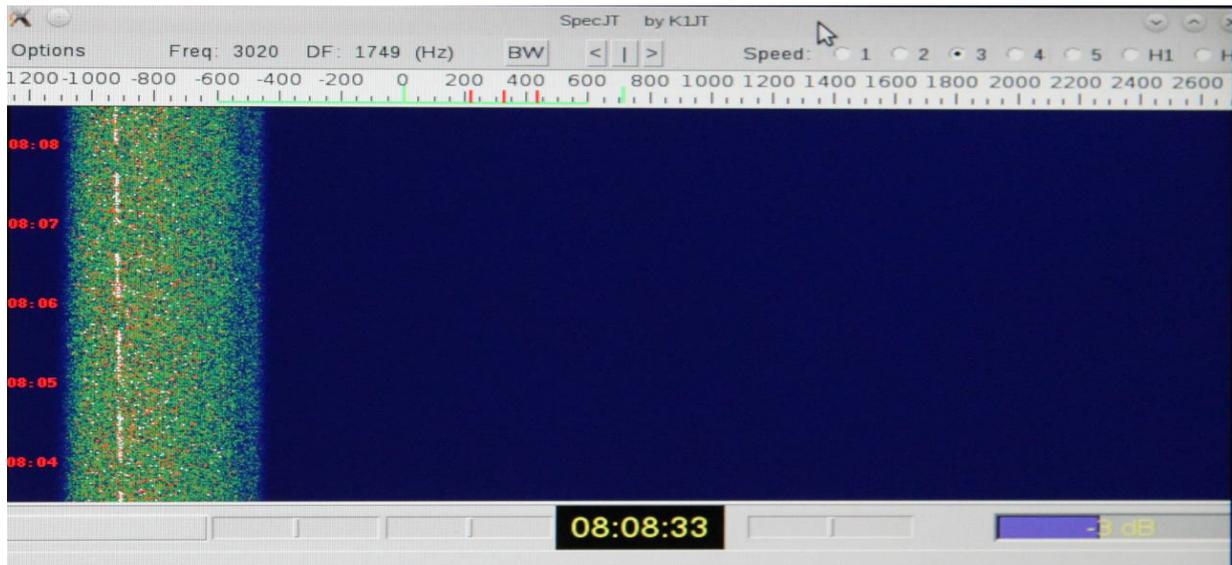


Bild 8:

Signal der Bake ON0EME

6.1 Die Suche nach anderen Stationen

Nachdem ON0EME durchgehend mit fast unveränderter Signalstärke zu hören war sollte es eigentlich kein Problem sein, auch andere Stationen zu empfangen. Die Suche im Bereich von 1296,000 MHz bis 1296,100 MHz war vorerst erfolglos. Bei einer Suche im Internet kam ich auf ein Forum in dem „Moonbouncer“ sich vor und nach EME-QSOs absprechen der Art: „Sende CQ auf...“. Dort war zwar eine Reihe von Stationen zu sehen, alle aber im 6m, 2m und 70cm-Band. Am zweiten Tag stellte ich die Frage ob jemand im 23cm-Band QRV sei – keine Antwort. Am Folgetag dekodierte JT65C plötzlich einen Anruf einer SM-Station der an mich ging obwohl ich sendemäßig nicht qrv war. Nach dem ersten „Schreck“ war schnell klar, dass es sich um eine fehlerhafte Dekodierung des Rauschens durch den „agressive search mode“ des JT65C handelte. Auf eine weitere Frage nach Stationen im 23cm-Band im N0UK-Forum bekam ich dann die Antwort dass die 23cm-Leute in einem Forum von HB9Q zu finden seien. In diesem Forum waren dann tatsächlich eine Reihe von Stationen aktiv. Mit den Information von dort ist es schließlich dann doch noch gelungen eine Reihe von verschiedenen Stationen in JT65C zu dekodieren. Einige Stationen waren sogar in CW zu hören, leider aber nicht laut genug um das CW mitschreiben zu können.

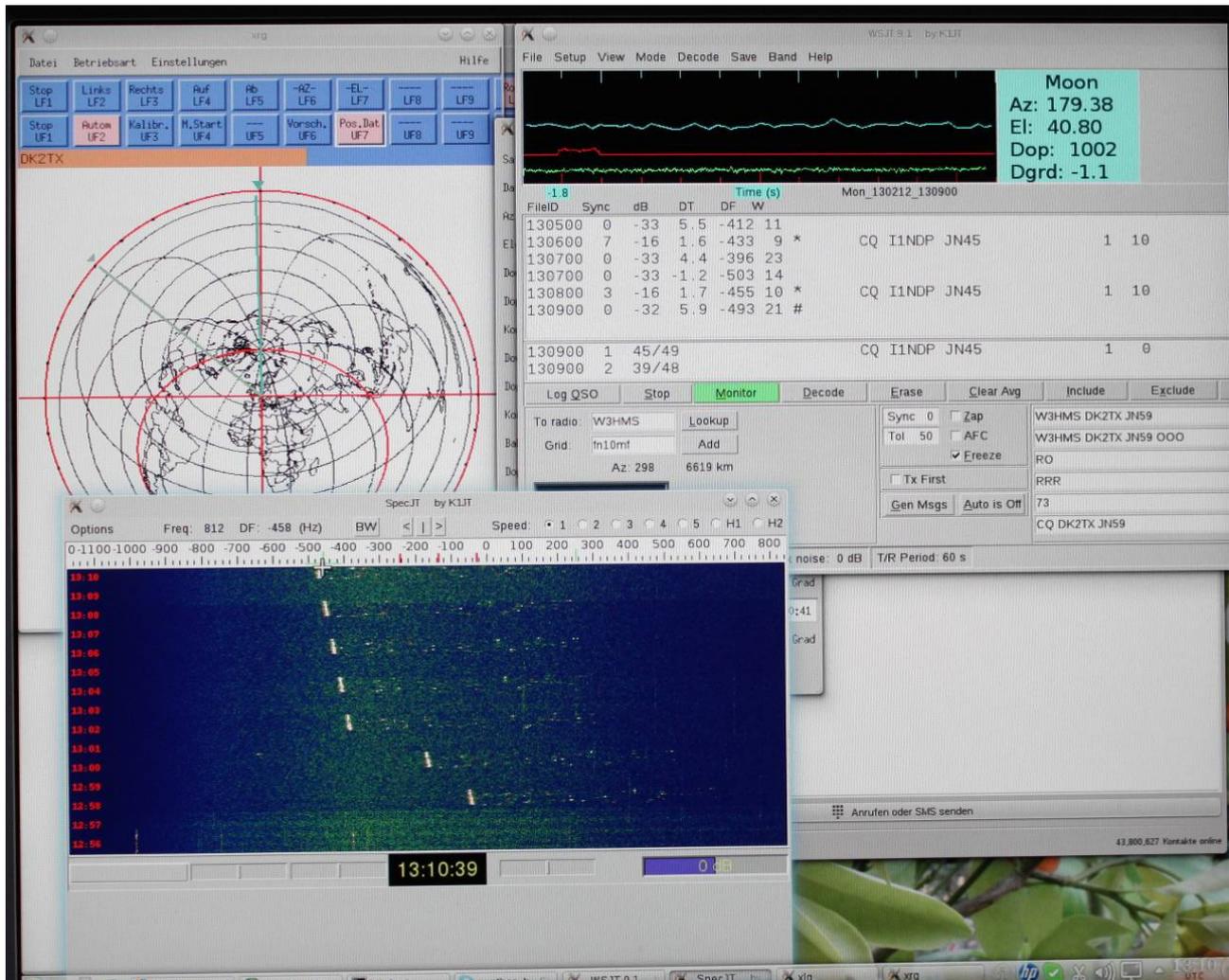


Bild 9: CQ-Ruf von I1NDP in der Betriebsart JT65C

6.2 QRM

In etwa 150m nördlich vom eigenen QTH steht ein Mobilfunkmast. Richtet man die Antenne auf diesen Mast, so lassen sich am Antennenausgang etwa 60mW messen obwohl Sendefrequenz und Antennenfrequenz weit auseinanderliegen. Das sind viele Größenordnungen über den Signalen, die vom Mond kommen. Obwohl die Antenne im normalen EME-Betrieb größtenteils durch ein Gebäude abgeschirmt wird, gibt es einen Winkelbereich von ca. 50° in dem das Rauschen um bis zu 10dB zunimmt und etwa 100 stärkere und schwächere Träger zu sehen sind. Diese Signale werden möglicherweise dadurch erzeugt dass der Vorverstärker in einen nichtlinearen Bereich angesteuert wird und dadurch Mischprodukte erzeugt, die im Empfangsband liegen.

7. Zusammenfassung und Ausblick

Die Versuche haben gezeigt, dass es tatsächlich möglich ist mit einer Eigenbauyagi und einem Eigenbauvorverstärker EME Signale zu empfangen. Dabei sind 59 Elemente mit dem DL6WU-Design vermutlich die untere Grenze ab der sinnvoller EME-Betrieb mit JT65C überhaupt denkbar

Vortrag: EME Erfahrungen mit Eigenbau

ist. In nächster Zukunft soll versucht werden die Yagi-Antenne um eine weitere 59 Element Yagi zu einer Gruppe zu erweitern.

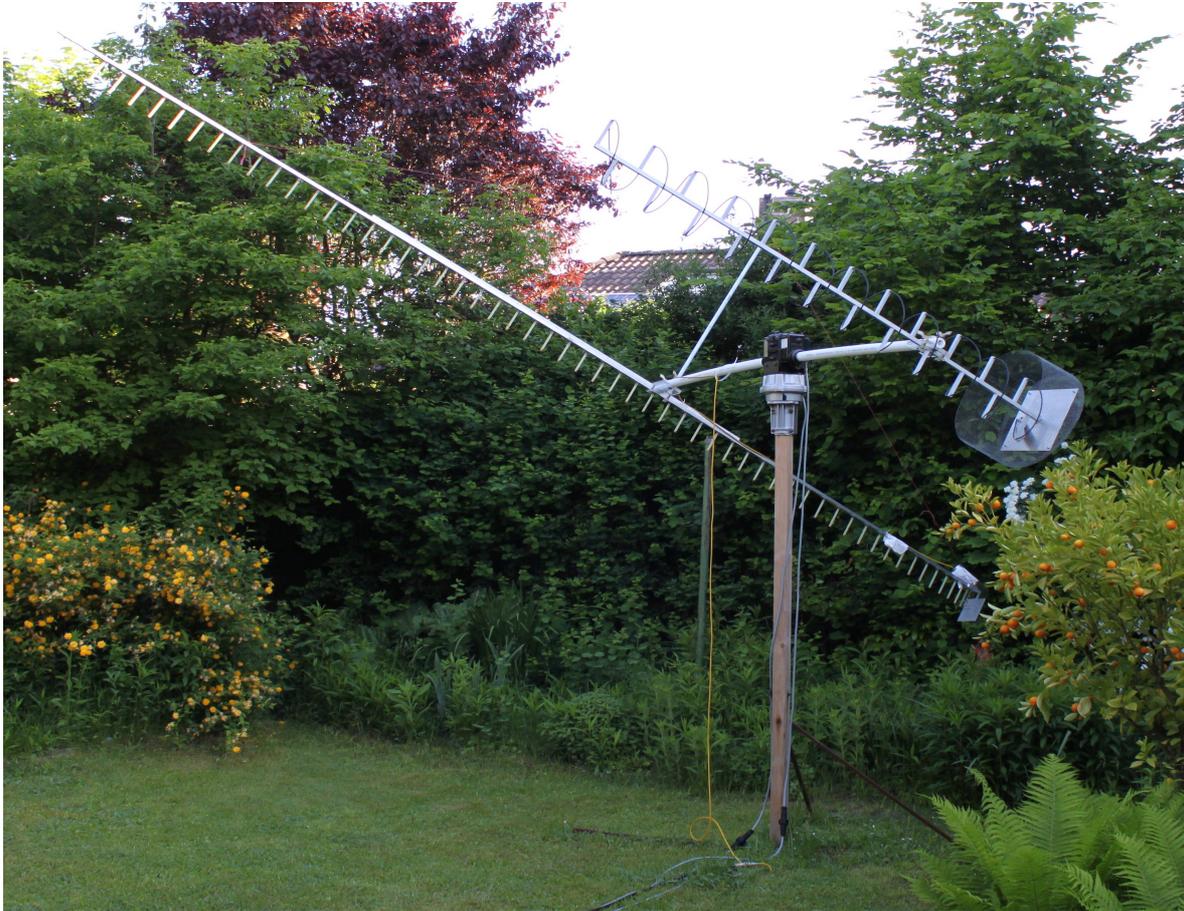


Bild 10:

Aktueller Antennenaufbau (6/2013). Die Helixantenne im Vordergrund dient nur zur mechanischen Stabilisierung des Aufbaus. Sie soll demnächst durch eine weitere 59el Yagi ersetzt werden.