

EME auf 24 GHz – ein steiniger Weg ?

von Manfred Plötz, DL7YC

Einleitung

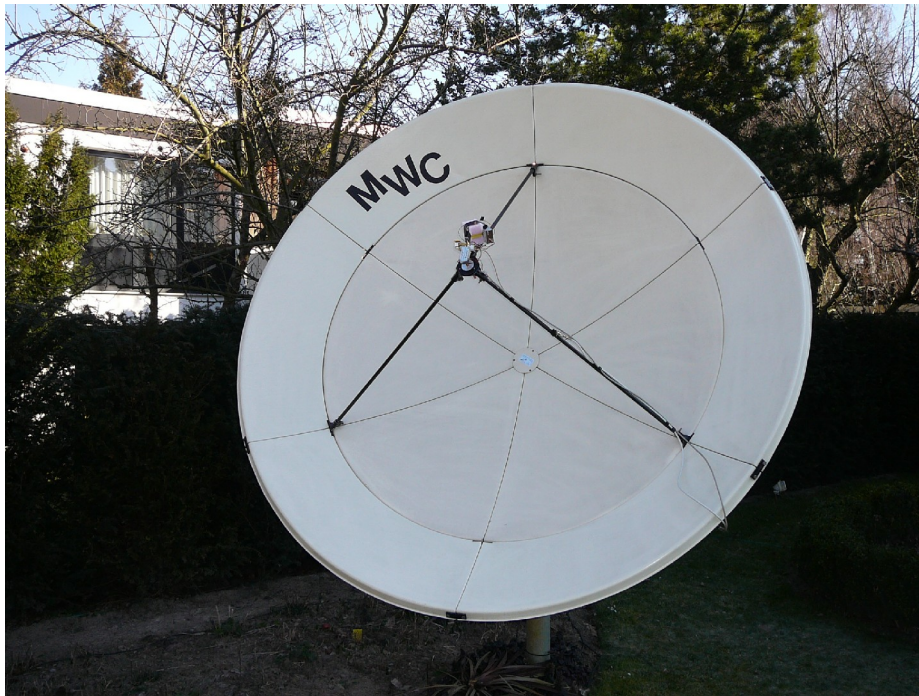
Warum macht man so etwas, wo der „Erfolg“ doch so begrenzt ist? Es ist eine Mischung aus Großfeld-„Sammelwut“, technischem Anspruch und der Faszination die eigenen Echos mit 1.2cm Wellenlänge vom Mond zurück zu hören, die die vielen Stunden Frust vergessen machen. In meinem Fall war es der Versuch auf 24 GHz eine EME-tüchtige Station zu konstruieren und der eigentliche Vorversuch für alle darunter liegenden Mikrowellen-Bänder. Wenn man auf 24 GHz die entstehenden Probleme gelöst hat, findet man auf 10 GHz, 6cm, 9cm und 12 cm überhaupt keine Hindernisse mehr vor !

Wo liegen denn die eigentlichen Probleme ?

- 1.) Hohe Sendeleistung (10-50 Watt) muss auf 24 GHz bereitgestellt werden, wobei 10 Watt am Strahler die wohl eher die (frustrierende) untere Grenze markiert.
- 2.) Ein Parabolspiegel mit mindestens 2.4m wird benötigt – die Genauigkeit der Form und die „Oberflächenrauigkeit“ darf für gute Ergebnisse an keinem Punkt des Reflektors mehr als 0.6mm von der Idealform abweichen.
- 3.) Die Antennen-Montierung muss eine Nachführung der Antenne mit 0.1 Grad oder besser ermöglichen; d.h. die Rotoren (oder der Rotor) benötigen eine absolute Positionsbestimmung in dieser Größenordnung.
- 4.) Nachführung von Hand ist möglich (Kontrolle Mondrauschen und Echos) – treibt den 24 GHz-Operator aber nahezu in den Wahnsinn. Das Fliegen eines Airbus ist dagegen ein Kinderspiel :-). Johannes, DF1OI, macht das so, ist sehr erfolgreich, findet diese Art der Antennenpositionierung aber auch nicht so toll.
- 5.) Besser ist eine rechnergesteuerte Nachführung. Dazu muss das Rotorsteuergerät eine Schnittstelle zum Steuerrechner (z.B. RS-232) haben und entsprechende Programme müssen „realtime“ die Positionsdaten des Mondes bereit stellen.
- 6.) Die Empfängerrauschzahl sollte bei 1.0 dB (@10 Grad C) liegen, was für 24 GHz schon ein sehr anspruchsvoller Wert ist. Weitere Besonderheiten des Empfängers sind ähnlich wie auf allen anderen Mikrowellen-Bändern.
- 7.) Das Feedhorn (auf 24 GHz wird für EME in EUROPA vertikale Polarisation verwendet) sollte für das f/D des Spiegels optimiert sein. Das sog. VE4MA-Superfeed ist ein gutes Beispiel für eine bessere, mehr rechteckige, Belegung des Spiegels und für den damit zu erreichenden höheren Wirkungsgrad von über 65% (siehe W1GHZ Antenna-Handbook)
- 8.) Berechnung der SEHR unterschiedlichen Bedingungen: Apogäum/Perigäum, „Spread“ der Echos, Temperatur und Luftfeuchte,

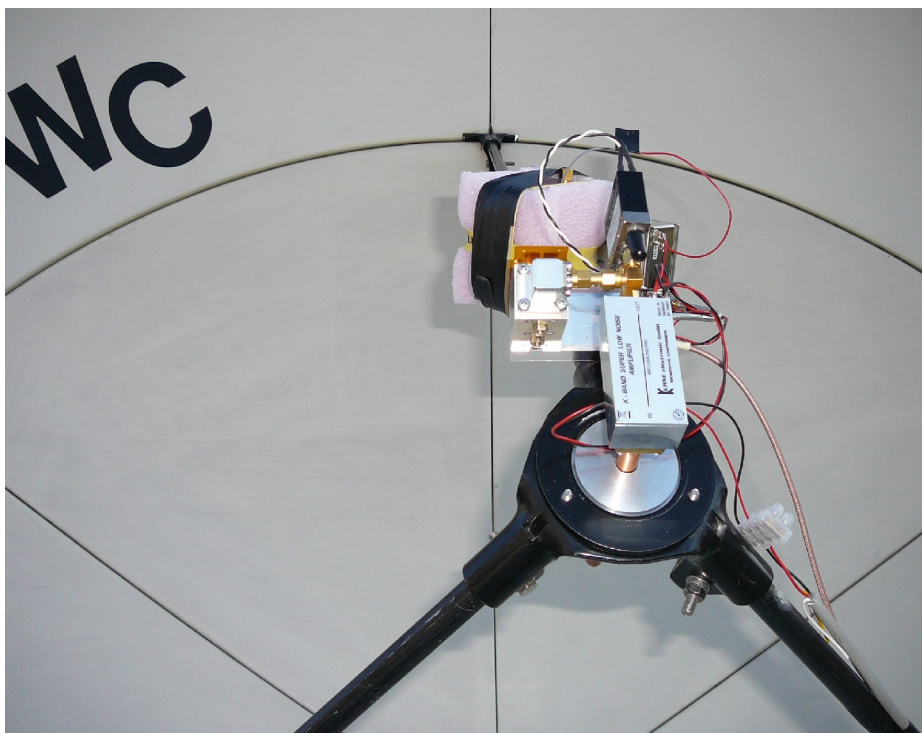
Antenne und Tracking

Ein Jahr vergeblicher Arbeit ist damit sinnlos verbracht worden, herauszufinden, welchen Einfluß die Spiegelgenauigkeit auf Sonnenrauschen, Mondrauschen und Echos hat. Zu viele Parameter beeinflussen sich gegenseitig, sodass eine genaue Bestimmung dieses Einflusses nur über längere Messreihen möglich ist.



2,40m großer 12-Segmentspiegel bei DL7YC im Jahr 2008

Zuerst wurde ein 1.8m großer Primefocus-Segmentspiegel (6 Segmente) mit 6 Extender-Panelen benutzt. Dieser dann aus 12 Einzelteilen bestehende 2.4m große Spiegel wurde mit „allen Tricks“ vermessen und justiert. Die Problematik der Genauigkeitsanforderungen für 24 GHz waren mir sehr wohl bewusst, die eigenen Möglichkeiten der Beeinflussung wurden aber erheblich überschätzt ! Veröffentlichungen von Barry, VE4MA und Al, W5LUA und viele persönliche Gespräche mit Johannes, DF1OI ließen mich glauben, durch geeignete mechanische Maßnahmen könne man den Spiegel schon in die richtige Form „zupfen“. Das mag von Fall zu Fall vielleicht gelingen, bei mir war es weniger erfolgreich.



Erste Empfangsversuche bei DL7YC mit Feed, LNA, Filter, Relais und Transverter (RX only)

Als Indikator dienten stets Sonne und Mond mit ihren Rauschbeiträgen. Das Sonnenrauschen sollte gemäß VK3UM's wundervollem **EMEc** Programm bei einem Spiegel dieser Größe und einem SFU-Wert (Flux) von **70** (in 2009) bei 14 dB liegen, gemessen wurden aber immer nur Werte zwischen 10 und 11 dB.

Auch das Mondrauschen war mit **0,7 dB** viel zu klein. Wo war der Fehler ? Die tägliche Luftfeuchte spielt bei den Messungen eine nicht unerhebliche Rolle, auch steigt die eigene Unsicherheit über die am Rauschmessplatz gemessenen NF-Werte mit jeder neuen Messung an.

Letztendlich wurde nach mehr als einem Jahr erfolgloser Fehlersuche beschlossen, den Segmentspiegel abzubauen und durch einen Präzisionspiegel der finnischen Firma **Aerial Oy** zu ersetzen. Der neue Primefocus-Spiegel besteht aus **einem** Stück Aluminium und ist in einen massiven Ring aus 60x60mm Alu-Rohrprofil eingelegt. Gehalten wird der gesamte Reflektor in einer Art „Gabel“ an nur 2 Punkten. Verzug ist damit nahezu ausgeschlossen. Obwohl der Spiegel nur für 12 GHz konstruiert wurde, ist die Präzision so hoch, dass auch bei 24 GHz herausragende Ergebnisse zu erzielen sind !

Als einer der wenigen Hersteller von großen Parabolantennen für den semiprofessionellen Gebrauch veröffentlicht AERIAL OY aus Järvenpää/Finnland den „Surface RMS Error“ (hier mit $< 0.5\text{mm}$) – was selbst noch für 24 GHz eine hinreichende Genauigkeit garantiert.

Damit „ging dann das Licht an“ ! Das Sonnenrauschen stieg mit der gleichen Empfangselektronik auf Anhieb über **13.5 dB** und hat jetzt in der Regel Werte über 14 dB – abhängig von Wolken, Luftfeuchte und Sonnenaktivität.



**Der Vollspiegel ist in einen stabilen Ring aus 60x60mm Alu-Rohrprofil eingelegt,
das nur an 2 Punkten gehalten wird**

Die gesamte Antennenkonstruktion wird von einem 180Grad/40 Grad **EGIS** Rotor (mit EPS-103 Steuergerät) getragen. Eine zusätzliche Elevationsverstellung über >10 Grad erlaubt die Anpassung an unterschiedliche Deklinationen der verfolgten Himmelskörper. Die kleinste Elevation ist hier 10 Grad und erlaubt eine Elevation bis 50 Grad, bzw. 20 bis 60 Grad.

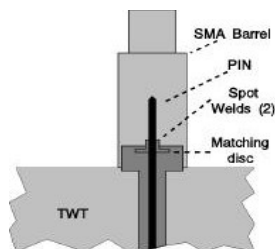
Um das Zahnflankenspiel des Rotors zu unterdrücken, wird eine Seite des Spiegels mittels „Gummi Gepäckbändern“ gegen den Gartenzaun gespannt. Das garantiert ein sehr ruhiges „Tracking“ ohne Winkelfehler durch Spiel.

Sendetechnik

Leistungen der genannten Größenordnung (10-50 Watt) bei 24 GHz zu erzeugen, stellt schon eine gewisse Herausforderung dar. Man kann ganz modern mit Power-GaAs-FET's Sendeendstufen aufbauen oder auf die althergebrachte Röhrentechnik zurückgreifen.

Mit Transistoren ist wohl bei 10Watt HF eine Grenze des Machbaren und vor allen Dingen Bezahlbaren erreicht. Es müssen demnach mehrere Stufen mit entsprechenden Low-Loss Kopplern phasenstabil kombiniert werden, was auch nicht einfach ist.

Angeregt durch Gespräche mit Uli, DK3UC wurde der Umbau einer für 12 GHz Richtfunkstecken vorgesehenen TWTA, der RW 1127, in Erwägung gezogen. Uli hatte schon vorher Röhren dieser

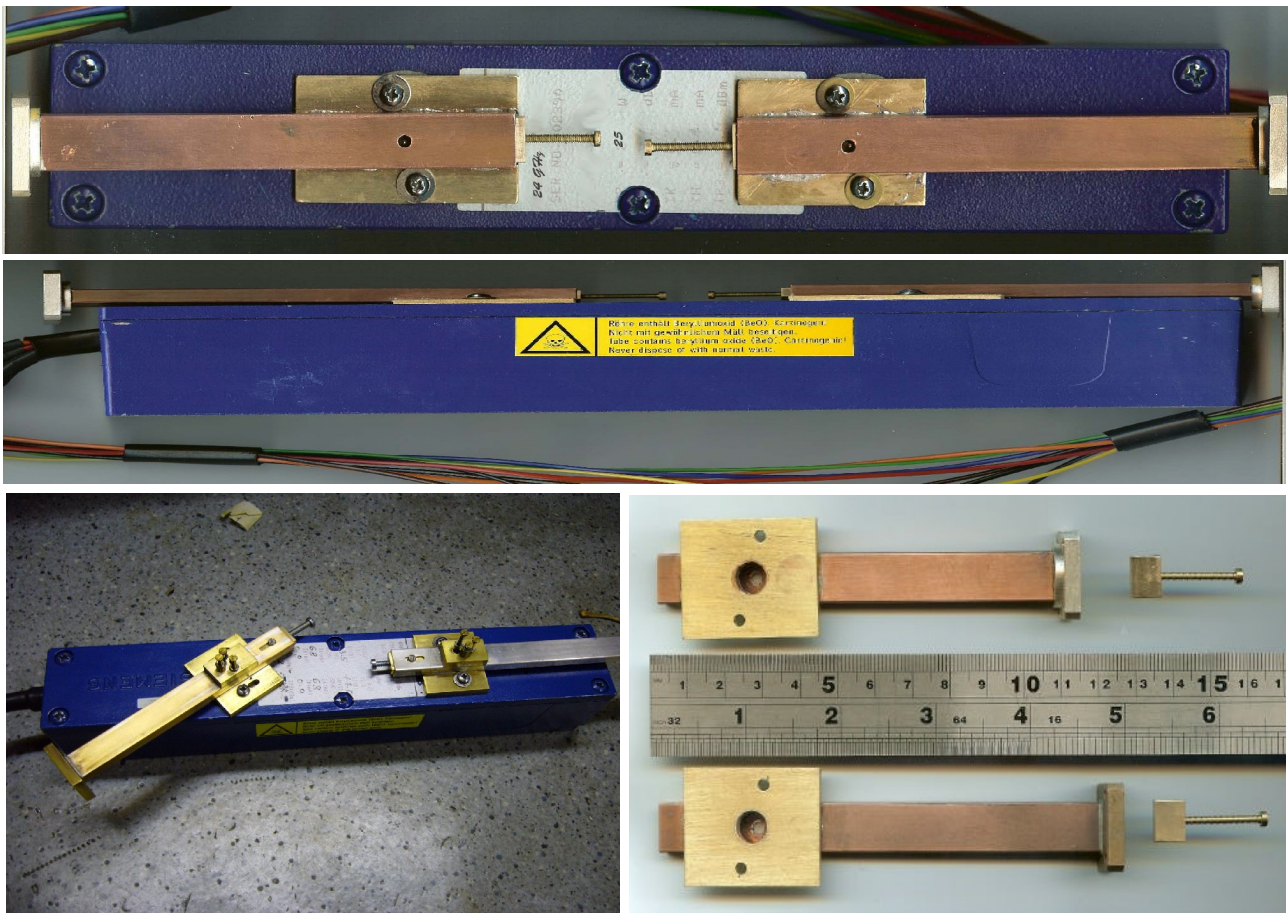


Art mit Erfolg umgebaut und war mir bei den Vorbereitungen sehr behilflich. Bei der RW 1127 ist der Ein- und Ausgang mit SMA Buchsen ausgeführt, die als integralen Bestandteil zur Anpassung bandbegrenzende Tiefpaßfilter enthalten. Diese Filter müssen entfernt werden. Dazu werden zuerst die äußeren Buchsenteile entfernt/abgeschraubt und der dann freistehende Mittelstift bearbeitet. Dieser Stift besteht aus Edelstahl und ist in den Glaskörper der Röhre eingeschmolzen! Auf dem Mittelstift befinden sich eine oder mehrere angeschweißte Stahlscheiben, die das Filter bilden und die Anpassung herstellen. Diese Schweißstellen müssen vorsichtig mit einem elektr. Schleifwerkzeug (z.Bsp. Dremel) entfernt werden, damit man die Stahlscheibe(n) nach oben abziehen kann. Danach ist die Röhre breitbandig – sofern man sie nicht bei der Prozedur zerstört hat.

Diese heikle Arbeit hat Uli, DK3UC, freundlicherweise vor vielen Jahren für mich auf der GHz-Tagung durchgeführt. Dank seiner großen Erfahrung war der Umbau natürlich erfolgreich ! Auch die weiteren Tipps aus Uli's Trickkiste waren außerordentlich hilfreich.

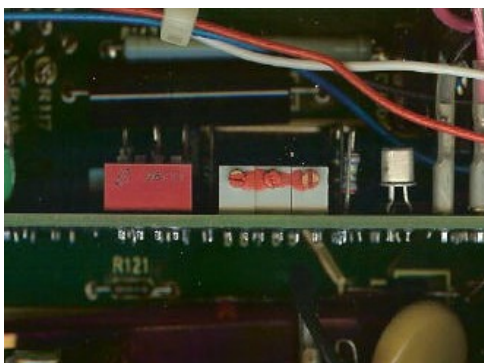


Uli, DK3UC, bei der „Arbeit“ - Entfernen der Filterscheiben von den Koppelstiften

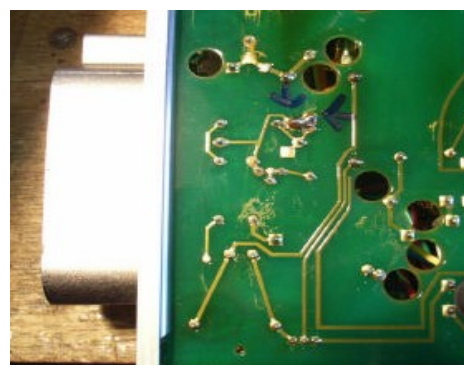


Verschiedene Ausführungen des koaxialen Übergangs der Röhre auf den Hohlleiter

Danach kann man die „freien“ Stifte als Einkoppelsonden in kurze WR-42 Hohlleiter mit Flansch auf der einen und Kurschlussschieber auf der anderen Seite verwenden und erhält so 24 GHz HL-Anschlüsse mit der Möglichkeit der Anpassung. Dabei ist darauf zu achten, dass der in den Glaskörper eingeschmolzene Massering guten Kontakt zum Hohlleiter hat. Der Koppelpin „durchläuft“ komplett die flache Seite des Hohlleiters und steht auf der Oberseite wenige Zehntel mm aus diesem raus. Genauer kann man den Bildern entnehmen. Auf der Webseite von G4NNS wird auch Einiges darüber gesagt.



**Drei Spindeltrimmer f.d. Helixspannung
(das rechte Poti zuerst benutzen)**



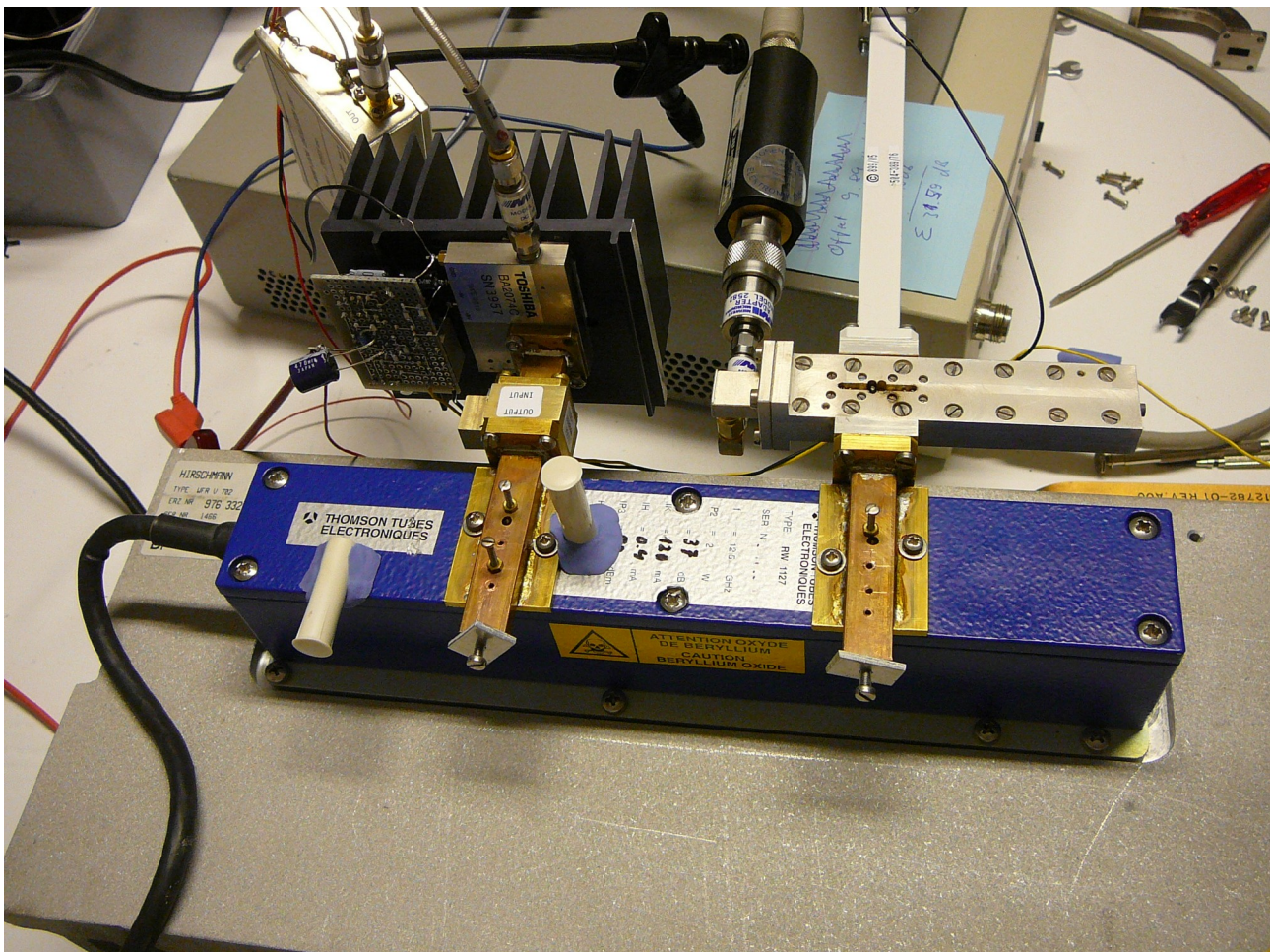
Außerbetriebnahme des Collector 1 -Stromsensors

Benutzt man ein Original-Netzteil, z.B. das RWN320P, ist es eine gute Idee, SÄMTLICHE Tantal-Kondensatoren vorsorglich gegen „Wickel-C“s auszuwechseln. Geht einer der Tantal-C's später im Betrieb kaputt, ist der Folgeschaden meist groß. Zur Variation der Helixspannung versieht man die Seitenwand an der entsprechenden Position der Spindeltrimmer mit 3mm Bohrungen.

Das erleichtert später den Abgleich auf maximale Ausgangsleistung ungemein. Die elektrischen Daten der RW1127 sind bei 24 GHz erheblich abweichend vom 12 GHz Betrieb. So muss vor allen Dingen die Helixspannung stark verändert werden um die richtigen Laufzeitbedingungen für den Elektronen-Beam (Wanderwelle) herzustellen. Es ist unabdingbar gemäß den Anschlussbildern des Netzteils den Kathodenstrom und den Wendelstrom permanent zu überwachen. Der Kathodenstrom-Bereich liegt im Original bei 100 -130 mA; nach einer kleinen Änderung evtl. 110-140 mA. Der Helixstrom-Bereich überstreicht 0-3 mA.

Das erste Einschalten der komplett verdrahteten TWT ist naturgemäß immer spannend. Da die Röhre keine Kenntnis von ihrer neuen Verwendung bei 24 GHz hat, werden sich bei vorerst unveränderten Reglerstellungen im Netzteil (wenn man alles richtig gemacht hat), die Ströme der 12 GHz-Verwendung einstellen. Ist der TWTA-Verstärker mit einer Last und dem Treiber verbunden kann man mit wenigen mW Ansteuerung erste Ausgangspegel am Leistungsmessgerät erwarten. Die Kenntnis der Probleme der Powermessung bei Mikrowellen über weite Leistungsbereiche wird hier vorausgesetzt. In einem iterativen Prozess nähert man sich dann dem Endergebnis an.

Zuerst variiert man dazu die Ausgangs-Anpassglieder, verändert dann die Helixspannung für maximale Anzeige, trimmt den Ausgang erneut nach (weil sich der komplexe Innenwiderstand der Röhre bei höherer Leistung ändert), dann wird die Eingangs-Anpassung verändert, die Treiberleistung erhöht und so weiter.... Eine sehr gute externe Kühlung der Röhre bei diesem Prozess ist sehr wichtig. Da der innere Wärmeübergang zum Gehäuse relativ schlecht ist, muss man trotz guter äußerer Kühlung, immer wieder Pausen einlegen !!



Setup für den Abgleich der Röhre. Deutlich zu erkennen sind die Tuning-Elemente und Magnete

Die Abgleichprozedur ist kompliziert und langwierig; man wird aber durch erstaunliche Ergebnisse belohnt. Aus einer Röhre für 12 GHz mit einer Datenblatt-Ausgangsleistung für den Bildträger von 3.5Watt kann man durch geschicktes Tuning und Anpassung der Spannungen und Ströme im Amateur-„Krawallbetrieb“ kurzzeitig 45-50 Watt bei 24 GHz gewinnen !!

Dazu ist es aber nötig die Überwachungsschaltung des Collector 1-Stroms „tot zu legen“, den Kathodenstrom auf 135-140 mA hochzudrehen, den Helixstrom immer schön unter 2mA zu halten, Ein-und Ausgang perfekt (unter Volllast) anzupassen und mit zusätzlichen **kleinen** Magneten von Außen den Kathodenstrahl zu beeinflussen. Die benötigte Steuerleistung für 45Watt Ausgangsleistung bewegt sich zwischen 1.0 und 1.5Watt HF.

Empfängertechnik

Ein moderner Empfänger für 24 GHz besteht üblicherweise aus einem rauscharmen Vorverstärker, wobei Stand der Technik 1.2dB NF bei 18 Grad Celsius ist, einem Spiegelfrequenz-Filter und dem Mischer- (Transverter) Baustein.

Als VV wurde ein super rauscharmer LNA 243 RX2 von DB6NT eingesetzt. Das beiliegende Datenblatt notierte [1.21dB@18degC](#) und 27 dB gain. Eigene Rauschzahlmessungen konnten diese Daten bestätigen, unabhängig von der Glaubwürdigkeit derartiger Absolut-Werte; dazu noch bei 24 GHz! Im heißen Berliner Sommer 2009 wurde unter Sonnenbestrahlung eine erhebliche Verschlechterung der Systemrauschzahl festgestellt, was zu weiteren Messungen Anlass gab.

Dazu wurde ein EATON 2075 Noise/Gain Analyzer und eine HP Rauschquelle 346B mit vorgeschaltetem 26.5 GHz +/-10dB Dämpfungsglied eingesetzt. Bei 24 GHz gibt es für 346B Quelle keine Kalibrierdaten, gleichwohl rauscht die HB346B dort noch erheblich. Für genaue Messungen wurde die Quelle in einem befreundeten Labor für 24-25 GHz kalibriert.

Die Anpassung an das Messobjekt stellt kein Problem dar, weil der Quellen-Innenwiderstand maßgeblich vom Dämpfungsglied bestimmt wird !



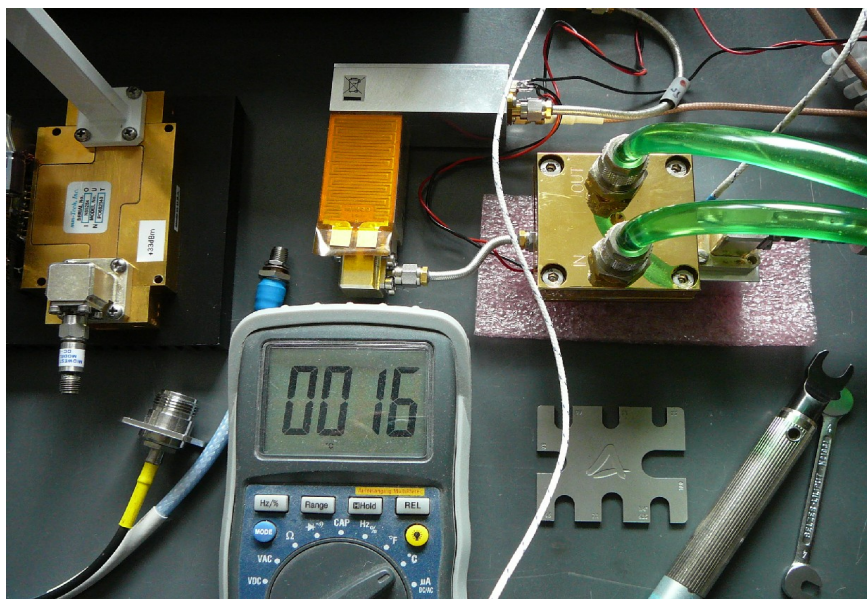
Rauschmessplatz unter Messung des Vorverstärkers und Transverters

Im praktischen Betrieb war das Mondrauschen mit **0,7 dB** aber viel zu klein. Wo lag der Fehler ? Die tägliche Luftfeuchte spielt bei den Messungen eine nicht unerhebliche Rolle, auch steigt die eigene Unsicherheit über die am Rauschmessplatz gemessenen Werte mit jeder neuen Messung an. Ein Versuch der Neukalibrierung, der absoluten Bestimmung des Quellen-Rauschwertes oder der genaueren Einbeziehung der Umgebungstemperaturen jagte den anderen. Etwas Gutes haben die „quälend“ langen Messprozeduren – man lernt eine Menge über die Messgeräte, die Prozeduren an sich und nicht zuletzt eine Menge über die verwendeten Komponenten. Z. B. wurde bei den verwendeten Vorverstärkern festgestellt, dass sie in sommerlicher Hitze nicht so gut gehen – was immer das auch heißen mag ? Nicht ohne Grund ist die NF im Datenblatt bei 18 Grad C definiert !!

Am Messplatz trat dann der Aha-Effekt ein. Kältespray konnte die gemessene Rauschzahl um bis zu 0.5dB verbessern. Schnell war im Feedgehäuse ein CPU-Wasserkühler installiert, der bei sommerlichen Temperaturen mit einem konstanten, kleinen Strom von 8 Grad kalten Brunnenwasser durchspült wird. Das hilft enorm !!! - auch dem Garten.

Achtung: Bei sehr sommerlichen Temperaturen auf evtl. Kondensation im VV achten !

Im „bitterkalten“ Winter rauschen die VV's viel weniger, dafür driftet dann der Durchlassbereich des nur aus mechanischen Präzisionskomponenten bestehenden Image-Filters. Dem konnte durch Anbringen einer selbstklebenden Heizfolie unter dem Doppelkammer-Filter abgeholfen werden. Durch diese Maßnahme bleibt die Filterdämpfung immer bei < -3dB.



Vorverstärker mit CPU-Wasserkühler bei 16 Grad C. Angezeigte NF bei dieser Temperatur = 1.19 dB

Nach dem Filter folgt dann ein SMA-Relais (mit all seinen Verlusten) und der Diodenmischer des Transverters mit seiner „nicht so beglückenden“ Rauschzahl von über 10dB. Dadurch bedingt, kann man am Messplatz sehr gut beobachten, wie nur kleinste Dämpfungserhöhungen zwischen dem Ausgang des VV's und dem Eingang des Transverters die Gesamtrauschzahl verschlechtern.

Das hat Michael, DB6NT, auch erkannt und „wunderbare“ Abhilfe geschaffen. Heutzutage sind diese Probleme mit dem Baustein MKU 24-G2, durch Integration von Transverter, Filter und Umschalter, gelöst. Die Systemrauschzahl wird damit dominant vom Vorverstärker bestimmt und moderate Kabeldämpfungen zwischen VV und RX-Eingang gehen nur noch sehr wenig ein.

Diese Erkenntnisse UND der neue Präzisions-Spiegel brachte dann den endgültigen Durchbruch mit Werten für das Mondrauschen (bezogen auf den kalten Himmel bei 60 Grad Elevation) von bis zu

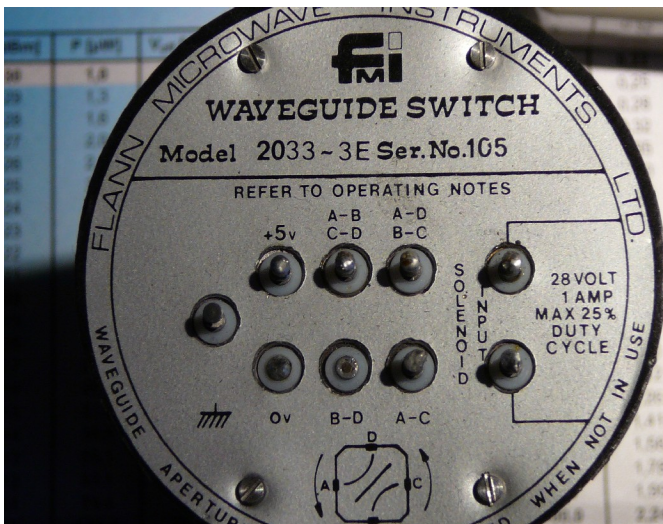
1,8 dB. Dieser Wert wird selbstverständlich von der Stellung des Mondes (Deklination, Perigäum oder Apogäum) und von der Luftfeuchtigkeit beeinflusst.



2.4m Prime-Focus Spiegel (f/D 0.38) mit Super-VE4MA-Feed (Gesamt-Wirkungsgrad > 65%)

RX / TX-Umschaltung

Leistungen dieser Größenordnung sind mit SMA-Relais wohl nicht mehr umschaltbar. Also kommen nur noch Hohlleiterschalter mit sehr guter Entkopplung des Empfangszweiges in Frage. Bei max. 50 Watt HF am Schalter muss die Entkopplung mindestens 50 dB betragen, damit der RX-Eingang nicht mehr als 500 uWatt „sieht“ !



FLANN Microwave HL-Schalter für WR-42 HL



Auch das ist ein „Coffee-Can“ Feed

Der WR-42 Schalter den ich auf dem Flohmarkt der HAM-Radio ergatteren konnte, war ohne jegliche technische Daten für die Ansteuerung. Durch Zerlegen des Schalters bin ich dann „scheibchenweise“ hinter die Funktion gekommen. Es handelte sich hierbei um einen Rotations-4 Wege-Schalter der mit 28V-Impulsen angesteuert werden musste. Jeder Impuls dreht die Hohlleiter-Kulisse um einen kleinem Winkel und ist die gewählte Position erreicht, wird eine Lichtschranke geschlossen. Versorgt man den Schalter mit einer -5V Spannung, liegen an den Anschlüssen A-B, A-D, usw..... die augenblicklichen Positionsdaten an.

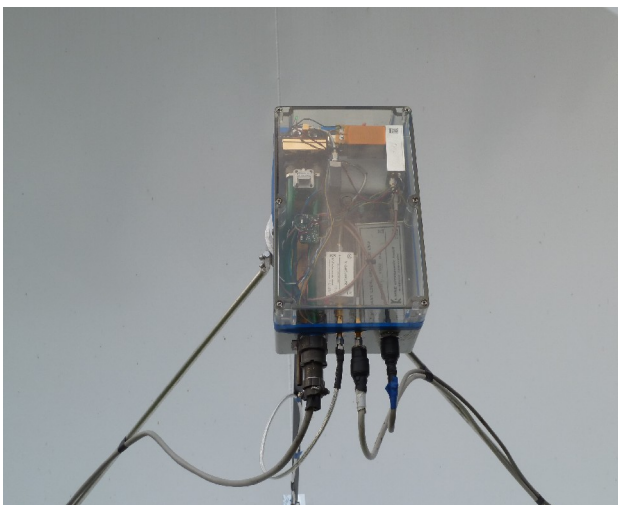
Für den 28V Magneten habe ich dann eine „permanent“-Ansteuerung mit einem 4 Hz Generator zur Ansteuerung des Schaltmagneten gewählt. Bei Erreichen der gewünschten Position blockiert die

Lichtschanke den Generator, gibt den TX bzw. den RX frei und schaltet die 28V-Pulse ab. Dieses System funktioniert sehr zuverlässig und ist auch ausreichend schnell. Der Sender wird nicht eingeschaltet bevor die Lichtschanke im Schalter die korrekte Hohlleiter-Position im TX Pfad signalisiert. Damit ist auch in der RX-Position der Empfänger vor „Sende“-HF geschützt !!

Der vierte Ausgang des HL-Schalters wird zu Meßzwecken benutzt und kann nur im Service-Betrieb angefahren werden. Dann kann man z. Bsp. eine Rauschquelle in den VV-Eingang einspeisen oder die Ausgangsleistung am 50 Ohm Dummy-Load messen. Allerdings muss der Operator in diesem Betrieb sehr wachsam sein – Fehler in der Bedienung zerstören recht schnell die TWT oder den VV.

Lange Zeit wurde über das Konzept der Komponentenanzahl diskutiert. Bei 24 GHz kann man natürlicherweise keine langen Übertragungswege zulassen. Jedes Stück Kabel, jedes Stück Hohlleiter vernichtet mühsam erzeugte oder empfangene Energie !

Also was tun ? Letztendlich „siegte“ das Konzept **ALLE** für den Empfang benötigten Komponenten hinter dem Focus-Punkt anzuordnen. Dabei ist darauf zu achten, möglichst wenig „Abschattung“ in der Hauptstrahlrichtung zu erzeugen. Platzbestimmend war der HL-Schalter der aus Hf-Gründen auch noch quer angeordnet werden musste. Alle Empfangskomponenten wurde mit kürzest möglichen Abständen um den Schalter angeordnet. Da es mit den verwendeten Komponenten aus Rauschzahl-Gründen nicht möglich war weitere Dämpfungen vor dem Mischer einzufügen, musste der Transverter, das Filter und der komplette Oszillator-Zug incl. 10MHz/GPS synchronisiertem OCXO mit in die Box eingebaut werden.



Feed-Box mit HL-Schalter, VV, Filter, Transverter und 12GHz-Oszillator (10MHz GPS controlled)

Im Sendebetrieb wird der Ausgangspegel des Transverters mittels eines Zwischenverstärkers auf 32mW angehoben und über eine Low-Loss Koaxleitung hinter den Spiegel in die TWTA-Box an den Treiber geführt. Der Verlust von 6dB ! = 24mW schmerzt schon :-)

Umgekehrt wird die Ausgangsleistung der TWT in einen WR-42 Hohlleiter eingekoppelt und über 1m Länge – mitten durch den Spiegel – an die Feed-Box und innerhalb an den HL-Schalter geführt.

Diese Konzept hat seine Funktion bewiesen und sich auch bewährt. Trotzdem könnte man mit den heute verfügbaren Komponenten alle Teile, bis auf den VV und den HL-Schalter, in die TWT-Box einbauen, ohne das System zu verschlechtern. Gewonnen würde eine erhebliche Gewichtseinsparung im Focus und eine erneute leichte Anhebung des Wirkungsgrades wegen geringer Abschattung durch eine kleinere Box.

Rein rechnerisch spart man im TX-Betrieb den Vortreiber ein und im RX-Betrieb addiert sich zur „modernen“ Transverter-Rauschzahl von 4,5dB die 6dB Kabeldämpfung zwischen VV und Transverter. Die Gesamtrauschzahl müsste damit besser sein als mit dem „alten“ System ?

Entsprechende Messungen werden im Sommer 2012 hoffentlich den Beweis erbringen.

Messung der Ausgangsleistung im Betrieb.

Wie vorher ausgeführt kann die Ausgangsleistung im Service-Betrieb am vierten Port des HL-Schalters gemessen werden. Allerdings ist diese Art der Messung nur bedingt aussagekräftig. Man kann die Tuning-Elemente hinter der TWT auf diesen Zustand abgleichen, sollte aber nicht erwarten, dass die in das Feed eingespeiste Ausgangsleistung mit der vorher gemessenen Leistung identisch ist. Schon kleinste Anpassungsveränderungen verändern die komplexe Belastung der TWT und damit die abgegebene HF-Leistung.

Besser ist das Verfahren mit einem sogenannten „HF-Sniffer“. Dabei wird ein sehr kurzes Stück Hohlleiter (<10mm) mit einem SMA-Zugang derartig modifiziert, dass man ca. -30 dB Hf-Leistung auskoppeln kann. Auch diese Methode hat natürlicherweise ihre Schwächen, weil der Betrag der ausgekoppelten Leistung durch die Anpassung und die (immer vorhandenen) stehenden Wellen im HL abhängig ist.



Rückseite des Spiegels mit HL-Flex-Übergang und HF-Sniffer (SMA-Buchse) – In der rückwärtigen Box befindet sich der Treiber, die TWT und die Netzteile

Ist es aber gelungen den Weg TWTA-Ausgang – Tuning-Section – Hohlleiter – HL-Schalter – Feedhorn bezüglich des VSWR zu optimieren, ist die Messung ein guter Kompromiss für den

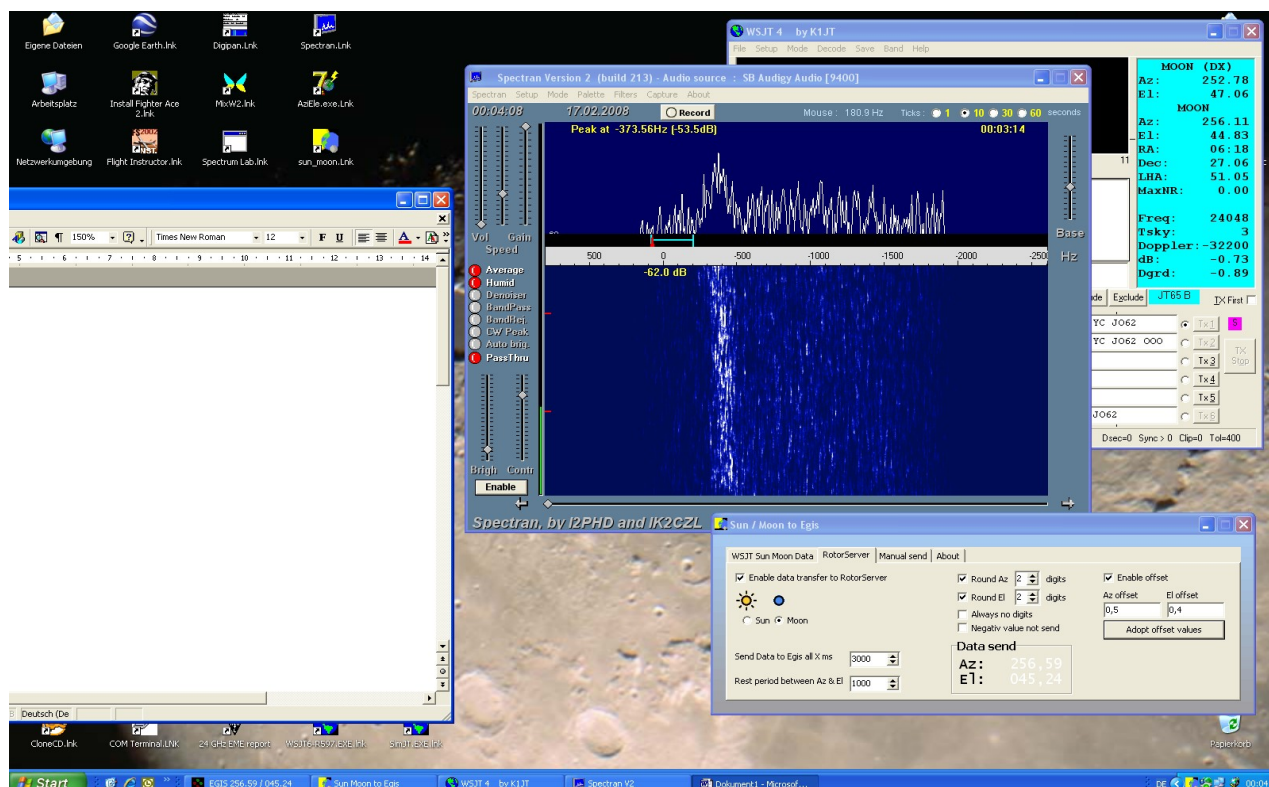
laufenden Betrieb. Man gleicht die Tuning-Section des Ausgangs einfach auf maximale Leistung ab und hofft, damit ähnliche Werte wie auf dem Labortisch zu erreichen. Eine andere Möglichkeit besteht sowieso nicht, weil jede mechanische Veränderung zu veränderten Ergebnissen führt.
Also – Feed abschrauben und einfach messen ?? Ist nicht !!!

Betriebstechnik

Bedingt durch die hohe Frequenz (24048.1 MHz) ergeben sich im Gegensatz zu „niederfrequenten“ Amateurbändern erhebliche Unterschiede im Betriebsablauf. Folgende Parameter müssen ständig kontrolliert werden:

- 1.) Die Antennenposition muss bei einem 2.40 m Spiegel alle 20 sec verändert werden. Der -3dB Öffnungswinkel beträgt nur 0.37 Grad. 0.1 Grad Abweichung von der korrekten Position ist bereits hörbar !
- 2.) Die Dopplershift muss automatisch (über TRX-Schnittstelle) oder im VK3UM-Programm abgelesen und von Hand alle Minute korrigiert werden
- 3.) Das Mondrauschen muss periodisch in den RX-Sequenzen gemessen werden um evtl. Antennentracking- Ungenauigkeiten sofort zu erkennen.
- 4.) Periodische Echo-Tests zur Kontrolle der QRG, Dopplershift, TX und RX

Die übrigen Verhaltensweisen sind wie üblich bei Mikrowellen EME-Verbindungen.



Dauerträger zu Testzwecken auf 24GHz von Johannes, DF1OI. Die Doppler-Shift ist selbst bei dieser kurzen Messzeit gut zu sehen

Das Programm **LibCalc** von VK3UM (Auswahl des optimalen Tages / Wochenendes, Temperatur, Wolken, Luftfeuchte) ist ein sehr nützliches Tool zu Bestimmung der optimalen Zeitpunkte für erfolgreiche EME-Verbindungen.

Es zeigt unter anderem die Libration (die relative Bewegungsänderung des Mondes im Bezug zur Erde) und den damit verknüpften „spread“ der Echos in Abhängigkeit zur Frequenz.

Ganz generell ist dieser Effekt der am meisten stört und aus einem Single-Tonsignal eher einen Rainscatter-Ton macht. Dabei wird die im Echo enthaltene Energie auf einen weiten Frequenzbereich „verschmiert“ und das Signal wird tendenziell leiser und schwerer lesbar !

Daher ist es von großem Nutzen die Zeiten mit der kleinsten Libration (Mondbahn abhängig) und der dichtesten Annäherung zu kennen. Fallen beide Werte zusammen, bestehen optimale Bedingungen für erfolgreiche 24 GHz EME-Verbindungen !

Das Programm **Atmosphere** von VK3UM ist ebenfalls sehr hilfreich anzuwenden, es ist aber komplex und bedarf einer gewissen Einarbeitungszeit. Eine Erklärung an diesem Ort würde den Rahmen des Vortrags sprengen.

Das Programm **EMRCalc** von VK3UM hilft die Grenzwerte der (nicht unerheblichen) Strahlung zu berechnen und bewahrt den Operator vor vielleicht unliebsamen Überraschungen.

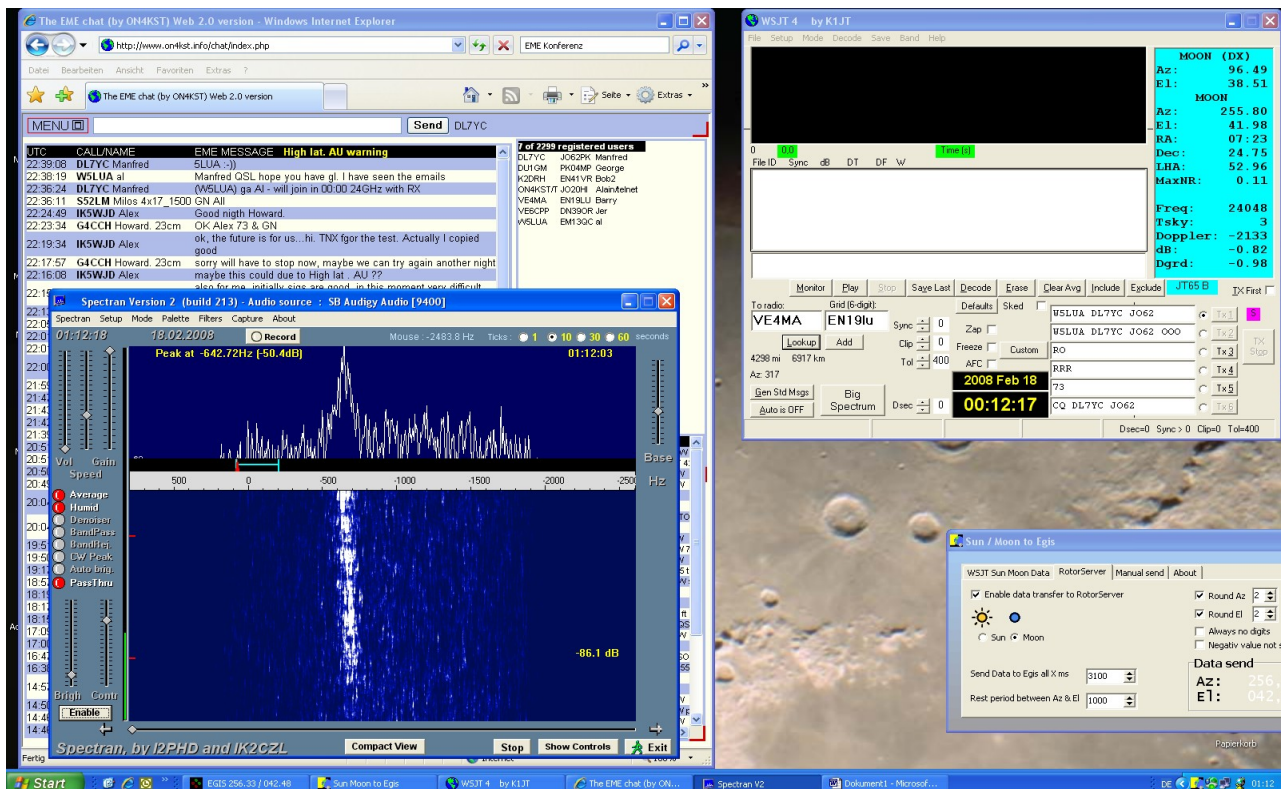
Überhaupt darf die Gefährlichkeit der 24 GHz Mikrowellenstrahlung zu keiner Zeit unterschätzt werden und es müssen immer die entsprechenden Vorsichtsmaßnahmen getroffen werden:

- 1.) Niemals Elevationen des Spiegels unter 10 Grad benutzen**
- 2.) Niemals in offene Hohlleiter an betriebsbereiten Anlagen sehen; das gilt auch für das Feedhorn.**
- 3.) Niemals dürfen sich bei Sendebetrieb Personen in Strahlrichtung in der Nähe des Spiegels befinden**
- 4.) Sendeleistungs-Messungen IMMER hinter dem Spiegel vornehmen !!!**

Um einen möglichst ungestörten Betriebsablauf zu gewährleisten, werden von mir **GLEICHZEITIG** folgende Programme auf einem schnellen 4 Core-Rechner unter Windows VISTA SP1 eingesetzt.

- 1.) **WSJT6** zur Gewinnung von Echtzeit-Sonnen-und Mondposition. Diese Programmversion schreibt jede Sekunde alle astronomischen Daten in ein File azel.dat, welches sich im gleichen Ordner befinden muß.
- 2.) Das Text Capture Programm **AziEle** (bei DL7YC erhältlich) welches die Daten der Datei azel.dat fortlaufend liest und dem Steuerprogramm für den EGIS-Rotor übergibt.
- 3.) Das Rotor-Steuerprogramm **sun_moon to egis** in der Version 1.03 welches nach absolut frei einstellbaren Zeitintervallen dem Rotor-Steuergerät neue Positionen mitteilt. Dabei können vom Operator erkannten Abweichungen vom absoluten „Moon peaking“ (Kontrolle des Mondrauschens) in Form von Winkelkorrekturdaten dem Programm mit einer Auflösung von 0.01 Grad zusätzlich mitgeteilt werden. Natürlich beherrscht der Rotor nicht diese Auflösung – aber wenn man vorher schon falsch rechnet, kann die Mechanik auch nicht besser sein !!
- 4.) **SPECTRAN** (Version 2.0 build 216) zur Darstellung der Wasserfalldiagramme, zur Aufzeichnung von Echos und QSO's und zur Messung von Pegeln
- 5.) **EME 2009** VK3UM's Planungsprogramm für EME Enthusiasten, Zeitablaufmaschine
- 6.) **HB9Q's** Mikrowellenlogger,above 2300 Mhz

Alles zusammen geht das natürlich nur auf einem 22 Zoll Bildschirm, erlaubt aber den totalen Überblick über alle wichtigen Parameter.



This is the 529 CW-signal (R OOO) from W5LUA in a QSO with VE4MA at 17.2.08.
Received with a 2.4m segment dish (f/D 0.33), feed system is a 8mm round wave guide, preamp
DB6NT LNA243 RX2 with 1.05dB NF @ -5deg. C. sun noise 10.42dB /moonnoise 1.05 dB

Einmal gestartet, 15min lang das Mondrauschen verfolgt und Korrekturwerte eingegeben (Temperatur und Wind ändern die Position immer mal wieder einige 1/10 Grad), verfolgt das System selbstständig den Mond und man kann nach Stunden die neue aktuelle Dopplershift im VK3UM Programm ablesen, RX darauf nachstimmen, auf die Taste drücken und hat sofort wieder Echos.

Um diesen, zugegeben sehr komfortablen, Zustand zu erreichen, habe ich 3 Jahre meines Amateurlebens gebraucht – aber es hat sich gelohnt !



Darauf aufbauend wurde eine 10 GHz EME Station gebaut, das hat **14 Tage** gedauert, die 6 cm EME Station etwa eben so lange (und ist bereits erfolgreich eingesetzt worden), 9cm mit zwei Stück Toshiba PA's ist im Dezember fertig geworden und läuft auch sehr zufriedenstellend, wie erste QSO's beweisen.

Die Teile für 2320 MHz sind schon alle hergestellt und müssen „nur“ noch zusammengeschüttet werden. Aber dafür ist der Spiegel wohl etwas zu klein. Wir werden mal sehen.....

Wer ist zur Zeit QRV auf 24 GHz EME ?

DF1OI	W5LUA	G4NNS	OK1KIR	LX1DB	VE4MA
PA0EHG	F2CT	DK7LJ	DL7YC		

....und weltweit bereiten sich mehrere Stationen vor.

Mein besondere Dank gilt :

Johannes, **DF1OI**, der mit vielen guten Ratschlägen immer „an vorderster Front“ war
Uli, **DK3UC**, der mit Praxis und Theorie sehr zum Gelingen des Projekts 24 GHz beigetragen hat
Brian, **G4NNS** for his script about the RW1127 modification
und **W1GHZ**, **VE4MA**, **W5LUA** und **VK3UM** für deren Programme und Veröffentlichungen

Referenzen:

- 1.) Modifying the RW1127 and similar TWTs for 24 GHz – *some notes by Brian G4NNS updated after the EME conference*
- 2.) W1GHZ Antenna Handbook (Feed calculation and measurements) Kapitel 6 – *Feeds for parabolic dish antennas*
- 3.) W1GHZ Understanding circular waveguide - *Experimentally*

Dorsten, Samstag - 11.2.2012