

47 GHz EME - DL7YC's Reise zum Mond und zurück

Manfred Plötz, DL7YC, berichtet über den Aufbau seiner 47 GHz-EME-Station und erste Ergebnisse mit dem Betrieb der Anlage. Was auf Frequenzen im 13cm- oder 10 GHz-Band noch eine beherrschbare Übung ist, das ist auf 47 GHz im Hinblick auf Technik und Mechanik eine völlig andere Welt, in der sich die Mondfreaks bewegen.

Über die ersten EME-QSOs auf 47 GHz wurde bereits 2005 berichtet, als RW3BP EME-QSOs mit W5LUA, VE4MA und AD6FP (jetzt K6MG) meldete, und nachdem ich selbst die Mondenthusiasten auf 24 GHz fast nahezu gearbeitet hatte, stellte ich 2018 erstmals Überlegungen an, auf 47 GHz über den Mond qrv zu werden. Und schon tauchten die ersten kniffligen Fragen auf die man sich stellen muss, wenn man den ernsthaften Versuch wagen will, auf 47 GHz über den Mond zu arbeiten. Fängt man bei der Antenne an, dann sollte man überlegen, ob der 2.4m-Spiegel der auf 24 GHz benutzt wurde, auch für 6mm Wellenlänge geeignet ist (der geübte SHF-EME-ler bemerkt dazu die Ruze-Gleichung)? Dann muss ein Weg gefunden werden, die Rauschzahl (ca. 5 dB) des vorhandenen Vorverstärkers signifikant zu verringern. Das dritte Problem ist die Erzeugung von genügend Sendeleistung, damit das eigene Signal auch von anderen gehört/decodiert werden kann. Und schlussendlich gilt es Überlegungen anzustellen, wie eine ausreichende Nachführungsgenauigkeit der Antenne (Öffnungswinkel 0.18 Grad !) zu erreichen ist, um eine Station über den Mond zu "finden", die ebenfalls mit einem Öffnungswinkel von <0.2 Grad unterwegs ist.

Anfang 2018 versuchte ich zu aller erst Kontakt zu den 47 GHz-EME-ern der ersten Stunde aufzunehmen. Auf der niederländischen EME-Tagung sprach ich mit Gary, K6MG (ex AD6FP) und trat dann per E-Mail in Kontakt mit Barry (VE4MA), der mir dankenswerterweise die komplette Dokumentation über die Hochspannungserzeugung für den Power Amplifier mit Wanderfeldröhren (TWTA) zur Verfügung stellte. Zeitgleich wurde ein Gemeinschaftsprojekt "Vorverstärker" mit Yuki (JA8CMY, SK in 2021) und Mitsuo (JA1WQF) gestartet. Die von mir ausgesuchten und beigegebenen MMICs wurden von Yuki in einen LNA designed, der dann bei den gebauten Exemplaren Rauschzahlen von um 2...2.5 dB lieferte. Am Ende wurden von diesen rauscharmen Vorverstärkern neben den in Japan verbliebenen LNA's Exemplare für Al (W5LUA), Hans (PA0EHG), Zdenek (OK1DFC), Klaus (DC7KY) und mich selbst (DL7YC) gebaut und in die 47 GHz-Konzepte integriert.

Bevor COVID-19 jegliche Reiseaktivitäten abwürgte, besuchte ich zusammen mit Klaus (DC7KY) ein kleineres Mikrowellentreffen zum Thema "Microwave Netzwerktester" und 47/76 GHz-Technik in Spanien, welches bei Iban (EB3FRN) stattfand. Unter anderem waren dort auch Jose (EA3HMJ), Eddy (ON7UN) und diverse EA-EME-Aktivisten mit von der Partie. So hat es gemacht und diverse Test-Sessions mit DB6NT-76-GHz-Transvertern, Rauschzahlmessungen an 47 GHz-Baugruppen und auch sendeseitig gab es

etwas zu bestaunen. Knapp 3 Watt HF auf 47 GHz, die dort mit zwei Kuhne 47 GHz-SSPA's erreicht wurden; die EA3HMJ mit selbst konstruierten Hohlleiter-Combinern zusammengebaut hatte. Das gab uns allen irgendwie Hoffnung sendeseitig ein adäquates Level an Output realisieren zu können. Andererseits kannten alle die Probleme und den immensen Aufwand, den JA1WQF (mit Unterstützung von JA8CMY) getrieben hatte, um mit zahlreichen Hohlleiter-Combinern SSPA-Module mit TGA4046 MMIC's zusammenzuschalten. Diese Endstufe lieferte zwischen 11 und 12 Watt, und das ist die Leistungsklasse die man MINDESTENS braucht, um mit beherrschbarem Antennenaufwand über den Mond arbeiten zu können, denn bei einem hohen Spread der 47 GHz Mondechos (bis zu 1000 Hz) und der Mond bis 2024 meist im Apogäum, könnten kleinere Leistungen nicht mehr ausreichen. Und erst 2025 wird sich die Situation wohl verbessern, bei kleinerem Spread im Perigäum bei hoher nördlicher Deklination (Mond hoch am Himmel).

Nun gut, ich bin ein fauler Mensch, und demzufolge stand mir nicht der Sinn nach aufwändiger Handwerksleistung, um mich mit der oben beschriebenen Combiner-Mechanik zu beschäftigen. Deshalb entschied ich mich für den 2019 neu auf den Markt gekommenen Chip von Northrop Grumman, den APN 318. Das vorläufige Datenblatt listete eine zu erwartende Ausgangsleistung von knapp 10 Watt für einen einzelnen Chip, aber um diese zu erreichen galt es einige Probleme zu lösen hinsichtlich Kühlung, Montage, verschiedene Wärmenausdehnungskoeffizienten der verwendeten Materialien und das Bonden der Bauteile. Letztlich erschien ein neues, aktualisiertes Datenblatt von Northrop Grumman, und da stellte sich heraus, das mit dem APN318 die Leistung von 10 Watt nun doch nicht erreichbar war, und ich verwarf zunächst das auf diesem Chip basierende Konzept.

Den Durchbruch brachte eine Information von Hans, PA0EHG, der mir berichtete, dass in Kanada eine Firma existierte, die einen kompletten 19" Sendeeinschub (basierend auf der Hughes Wanderfeldröhren 8901) mit Netzteil für den Frequenzbereich 42-46 GHz anbot. Da die Firma selbst keine verlässliche Leistungsmessung in diesem Frequenzbereich durchführen konnte, verständigte ich mich dahingehend, dass ich vor einem Kauf zunächst selbst Leistungsmessungen durchführen durfte. Und nachdem das gute Stück bei mir auf dem Messplatz stand, ergaben erste Messungen etwas mehr als 30 Watt Output auf 47 GHz ! Das sah schon erstaunlich gut aus.....!!!! Aber zu diesem Zeitpunkt ahnte ich noch nicht, wie viel Arbeit mich noch erwartete. Der TWTA-Baustein den ich getestet hatte war eine 110 Volt-Version, die ich mit einem von Klaus, DC7KY, geborgten 110V Trenntransformator betrieben hatte. Das Hinweisschild auf der Rückseite beschrieb für den Eingangsspannungswechsel nur einen Sicherungswechsel, um das Gerät am europäischen 230 Volt-Netz betreiben zu können. Gesagt/gelesen getan, Einschalttest, und das Ergebnis war ein grosser Knall ! Ausgiebige Studien von Barrys (VE4MA) Doku zur Spannungsversorgung des TWTA-Einschubs ergaben, dass die dazugehörigen internen Netzteile gar nicht am 230 Volt - Netz zu betreiben sind, ohne einige gravierende Modifikationen im Inneren dieser Netzteile zu machen! Der Schaden in meinem Netzteil war übrigens überschaubar.

Der interne Überspannungsschutz am Line-Filter war explodiert, die 4A-Sicherung war durchgebrannt. Das war alles ! Also machte ich mich nach der Reparatur an die diversen Modifikationen des Netzteils, wie z.B. Einbau eines neuen 230V-Lüfters, wechseln an andere Spannungsabgriffe am Heiztrafo, interne Spannungsverdoppler rücksetzen usw. und letztlich der Abgleich der diversen Versorgungsspannungen der TWT, um dadurch die Ausgangsleistung auf 47 GHz zu optimieren.

Da das ganze 19"-Gerät (HF-Block und Netzteil) um die 20 Kg auf die Waage bringt, kam eine Montage im Feedpunkt des Spiegels nicht in Frage. Schweren Herzens musste also die Entscheidung getroffen werden, Netzteil und HF-Teil mechanisch voneinander zu trennen (Säge !!) und evtl. in zwei separaten "Gehäusen" unterzubringen. Eines enthält nun das Netzteil, und das andere nur die HF-Komponenten, die S/E-Umschaltung mit den Wellenleitern, Richtkoppler usw. Bei dem Umbau stellte sich heraus, dass der verbaute Kühlkörper doch ziemlich überdimensioniert war, und am Ende reichte einer mit nur 20% der Masse des ursprünglich verbauten plus einem temperaturgesteuerten Lüfter. Nachdem die HF-Einheit derart in eine "Feedbox" modifiziert war (leichter Alu-Rahmen mit allen HF Komponenten incl. Feedhorn), ergab eine neue Leistungsmessung ein "weiteres dB" an Output auf nun 42 Watt HF auf 47 GHz !

Parallel fand sich ein kompetenter Partner, um das zwischenzeitlich auf Eis gelegte Projekt mit den APN318-Chips weiterzuverfolgen. Eine Untersuchung zeigte, dass mit diesen Winzlingen durch Kombination von zwei Chips ein Output von 8.9 Watt erreichbar ist. Das Wärmeproblem wurde mittels einer Wasserkühlung gelöst. Auf diese Weise lassen sich die Chips in einem Temperaturbereich betreiben, in dem die Bauteile sicher geschützt sind; auch bei voller Ausgangsleistung. Derzeit sind einige dieser SSPA-Endstufen im Bau mit vier dieser Chips, womit sich Leistungen erreichen lassen, die eine sichere WSJT-Kommunikation über den Mond auf 47 GHz zulassen sollten. Nun werden die CM-Puristen unter den EME-Fans lächeln, aber es ist nun mal so, dass bei 47 GHz EME-Betrieb ausschließlich unter Verwendung digitaler Betriebsarten möglich ist. Bei -19 dB unter dem Rauschen ist das menschliche Ohr halt (noch) nicht in der Lage, CW-Zeichen zu decodieren.

Wie ist nun heute (Mitte 2022) die Situation in Sachen 47 GHz-EME ? Verglichen mit 2019 (als JA1WQF, DC7KY und DL7YC erfolgreich die Signale von W5LUA über den Mond aufnehmen konnten) sind die Bedingungen deutlich schlechter. Der Mond ist zumeist um 400.000 Kilometer entfernt und wir sehen derzeit den höchsten Frequenz-Spread. Nun sinkt der Spread zwar mit niedriger Elevation (besonders in der Nähe vom Mondauf- und Untergang), dafür kommen aber einige dB zusätzlicher atmosphärischer Dämpfung dazu, und das jeweils im Up- und im Downlink; einfach weil die hochfrequenten Wellen einen längeren Weg durch die Atmosphäre zurücklegen müssen ! Die Physik lässt sich nicht betrogen..... hohe Elevation bedeutet weniger Dämpfung, aber höheren Spread. Eine meist verwendete mittlerer Elevation von 30 - 40 Grad addiert ca. 4 dB Dämpfung in den Funkpfad. Aber trotzdem brachten erste Tests im Juni und Juli 2022 bemerkenswerte Ergebnisse. Mein Signal (42 Watt am

2.4m-Spiegel) konnte von CT1BYM, DC7KY, EA3HMJ und RW3BP decodiert werden. Miguel, CT1BYM, empfing mich sogar mit einem 90cm-Offsetspiegel und einem LNA mit 1.8 dB NF. Bei EA3HMJ wurde ein 120cm-Spiegel benutzt und ebenfalls ein rauscharmer LNA aus der Schmiede von EB3FRN. Sergej, RW3BP, decodierte DL7YC (MWCW / -19 dB) mit einem 240cm-Offsetspiegel und einer 4 dB-LNA-Vorstufe. Ebenfalls ein 240cm-Spiegel kam bei Klaus, DC7KY, zum Einsatz, der etwas bessere Feldstärken beobachtete, als z.B. die Stationen in Portugal oder Spanien. Dabei ist es mit größeren Spiegeln mit Öffnungswinkeln von < 0.2 Grad schon schwierig, sich auf 47 GHz auf dem Mond gegenseitig zu "treffen". Das Tracken der Antenne mit Hilfe des Mondrauschens ist eher eine schlechte Lösung, denn die von der Sonne auf die Mondoberfläche induzierte Strahlungsquelle verändert ihre Position mit den Mondphasen (beginnend bei Halbmond auf der rechten Mondseite und endend beim Halbmond auf der linken Mondhälfte) und ist wegen des "Aufheiz"-Delays nur 3-4 Tage nach sichtbarem Vollmond nur einmal in Mondmitte. Dieses Problem haben "kleinere" Antennen, die dank ihres größeren Öffnungswinkels immer die ganze Mondoberfläche "sehen", nicht. Ein anderes Problem ist die Dopplershift. Zwar sind alle EME-Stationen heute GPS-synchronisiert, und die gängigen Programme berechnen die Dopplershift in der Regel auf besser als 10 Hz. So weit so gut. Aber diese Berechnung basiert auf dem geometrischen Mittelpunkt des Mondes. Auf diese Weise ergibt sich eine zusätzliche Dopplershift, denn wie genau trifft man mit einem großen Spiegel überhaupt diesen Mittelpunkt? Kleine Abweichungen von wenigen Zehntel-Grad erzeugen sofort eine zusätzliche Frequenzabweichung! WSJT oder ähnliche Programme benutzen die niedrigste übertragene Audiofrequenz als Synchronisationsreferenz. Und wenn diese Referenzfrequenz durch eine zusätzliche Dopplershift (vielleicht 100-150 Hz) weit entfernt von der erwartbaren Frequenz liegt, dann leidet die Decodiertrate bis zu NIE decodierbar. Ein Phänomen welches es weiter zu untersuchen gilt.

Und zum Schluß noch ein Wort zu den RX-Voraussetzungen für erfolgreiche Versuche über den Mond. Ein Pegel von 10 dB Sonnenrauschen vs. "Cold Sky" und 1 dB Mondrauschen vs. "Cold Sky" sind minimal notwendig. Diese Werte werden erreicht mit der Minimalausstattung eines 2dB-RX an einem 90cm Spiegel, aber sie steigen mit größeren Spiegeln nicht mehr **viel** weiter an, weil es eben nur absolute Temperaturmessungen sind! Weitere Tests dieses zügig sind mit W5LUA und JA1WQF für die kühleren Herbsttage 2022 geplant. Und weitere Stationen (PA0EHG, OK1DFC, EB3FRN) sind kurz davor, auf 47 GHz empfangsseitig grv zu werden. Bislang sind außer den eingangs erwähnten QSOs im Jahr 2005 nur weitere QSOs zwischen DC7KY und DL7YC gelungen. Aber es ist zu erwarten, daß sobald MMIC's verfügbar sein werden, die ausreichend Sendeleistung bieten, auch mehr QSOs auf 47 GHz über unseren Erdtrabanten laufen werden.

Englische Fassung, Fotos und Quelltext: Manfred Plötz, DL7YC
 Übersetzung und redaktionelle Bearbeitung: Peter John, DL7YS