

UKW-Berichte 2/1988

Willi Rass, DF 4 NW

EME – Ein Einstieg!

EME (Erde-Mond-Erde) ist eine Übertragungsart, welche weltweite Funkverbindungen vorzugsweise auf den VHF-Amateurfunkbändern von 144 MHz aufwärts ermöglicht. Die für VHF/UHF-Verhältnisse sehr großen Reichweiten, die mit hohem technischen Aufwand zu erzielen sind, stellen eine Herausforderung dar und faszinieren eine wachsende Zahl von Funkamateuren.

Das Prinzip ist recht einfach. Es müssen dazu die Sende- und Empfangsantennen auf den Mond ausgerichtet, und die abgestrahlten und von der Mondoberfläche reflektierten Signale abgewartet werden. Bei entsprechender Position des Mondes (gemeinsames Fenster) ist auf diese Weise zwischen zwei Stationen Funkverkehr möglich, die bis zu 20 000 km (halber Erdumfang) voneinander entfernt sind.

1. GESCHICHTLICHE ENTWICKLUNG

Die erste von Funkamateuren getätigte EME-Verbindung gelang bereits im Juli 1960 zwischen den beiden US-Stationen W6HB und W1BU auf 1296 MHz. Eine erste interkontinentale EME-Verbindung kam im April 1964 zwischen Finnland (OH 1 NL) und den USA (W 6 DNG) zustande.

In den folgenden Jahren wurden für EME-Ver-

suche meistens die Einrichtungen von radioastronomischen Instituten mit deren hochverstärkenden Parabolantennen mitbenutzt. Hierbei wurden die Universität Stanford (WA 6 LET) und Arecibo in Puerto Rico (KP 4 BPZ) besonders bekannt. Insbesondere die EME-Versuchsreihe amerikanischer Funkamateure im Juni 1964 vom Radioteleskop in Arecibo (KP 4 BPZ), mit einem Spiegel von 300 Meter Durchmesser, fand weltweit große Beachtung. Aufgrund des enorm hohen Antennengewinns dieser gigantischen Antennenanlage war es seinerzeit vielen OMs auch mit einfachen Yagi-Antennen möglich, die SSB- und CW-Signale von KP 4 BPZ auf den Bändern 144 MHz und 432 MHz zu hören.

In den Anfangsjahren dieser neuen Betriebsart war es mit amateurmäßigen Mitteln nur in Arbeitsgemeinschaften mit erheblichem persönlichen und finanziellen Aufwand möglich, eine EME-fähige Sende- und Empfangsanlage zu erstellen. Die notwendigen technischen Geräte – parametrische Empfangsverstärker, Hochleistungs-Sendeverstärker, frequenzstabile Oszillatoren, große Antennen und AZ/EL-Antennensteuerung – mußten selbst angefertigt werden.

Die ersten EME-Verbindungen mit reiner Amateur-Ausrüstung auf beiden Seiten und im klassischen Einmannbetrieb kamen in den 70er Jahren zustande. Mit fortschreitender Entwicklung auf dem Gebiet der HF- und Halbleitertechnik wurde es möglich, preiswerte und zuverlässige VHF/UHF-Verstärker mit der notwendigen sehr niedrigen Rauschzahl, sowie

leistungsfähige Sendeverstärker zu realisieren. Die bisher benutzte schwierige Technik der parametrischen Verstärker wurde dadurch bedeutungslos. Inzwischen sind sogar die meisten Geräte und das Zubehör zum Aufbau einer EME-Station im Fachhandel erhältlich.

Dieser Aufsatz soll nun analysieren, welche Mindestanforderungen zur Abwicklung von EME-Funkverbindungen an die technische Ausrüstung und Betriebstechnik, sowie an das für diese Übertragungsart spezielle Wissen des Funkamateurs gestellt werden.

2. GRUNDLEGENDE TECHNIK

Der ernsthafte Interessent muß sich darüber klar sein, daß EME-Verbindungen aufgrund der großen Streckendämpfung mit zumeist sehr schwachen Signalen abgewickelt werden. Der Aufbau einer EME-Station ist deshalb mit äußerster Sorgfalt durchzuführen. Dies betrifft insbesondere die Verluste beim Bau der Antennen-, Empfangs- und Sende-Anlage, die auf ein Minimum zu reduzieren sind. Um eine EME-Station optimal auslegen zu können, müssen zunächst folgende Begriffe und Zusammenhänge diskutiert werden:

- Frequenzbereich
- Streckendämpfung
- Signal/Rausch-Verhältnis
- Sendeleistung
- Antennengewinn

$$\text{path_loss_dB} = 10 * \text{LOG}(\text{received_pwr_watt}/\text{erp_watt}) / \text{LOG}(10)$$

Formel 1 zur Berechnung der Gesamt-Streckendämpfung

$$\text{free_space_db} = 37 + 20 * \text{LOG}(\text{freq}) / \text{LOG}(10) + 20 * \text{LOG}(\text{dist}) / \text{LOG}(10)$$

Formel 2 zur Berechnung der Freiraumdämpfung

freq = Frequenz – MHz

dist = Entfernung in Meilen (km/1.609)

2.1. Frequenzbereich und Streckendämpfung

Die wohl wichtigste erste Überlegung für den Einsteiger ist die Frage nach dem geeigneten Band. Von der Antwort ist im Prinzip die ganze Auslegung einer EME-Sende- und Empfangsanlage abhängig. Zu diesem Zweck soll zunächst einmal die Streckendämpfung der in Frage kommenden Bänder für den Signalweg Erde-Mond-Erde betrachtet werden.

Die Berechnungsgrundlage hierfür ist:

Frequenz MHz	Perigäum dB	Apogäum dB
144	– 251.5	– 253.5
432	– 261.0	– 263.0
1296	– 270.5	– 272.5
2304	– 276.0	– 278.0

Tabelle 1: Die zu überwindende Dämpfung bei EME

Die aus **Tabelle 1** ersichtlichen enorm hohen Dämpfungswerte setzten sich aus Freiraumdämpfung und Reflexionsdämpfung zusammen.

Formeln (1) und (2).

Bedingt durch die felsig/sandige, völlig trockene Oberfläche, hat der Mond sehr schlechte Reflexionseigenschaften. Untersuchungen in den USA (2) haben ergeben, daß die Mondoberfläche nur etwa 7 % der einfallenden Energie reflektiert, den größten Teil (93 %) aber absorbiert. Dieses Verhältnis variiert mit der Frequenz und ist auf den niedrigeren Bändern etwas günstiger.

$$\text{erp} = \text{tx_pwr_watt} * \text{EXP}((\text{ant_gain_db} - \text{cable_loss_db}) / 10 * \text{LOG}(10))$$

Formel 3 zur Berechnung der Strahlungsleistung aus Sendeleistung, Antennengewinn und Kabeldämpfung. ERP = Effective Radiated Power

Zusätzliche Reflexionsverluste verursacht die gekrümmte Oberfläche des Mondes, die (Einfallswinkel = Ausfallswinkel!) einen weiteren erheblichen Teil der elektromagnetischen Energie in den Weltraum streut. Rechnerisch erhält man die Gesamt-Reflexionsdämpfung als Differenz aus der gemessenen Gesamt-Strecken-dämpfung und der gerechneten Freiraumdämpfung.

Das 144-MHz-Band weist also die geringsten Dämpfungswerte der in Frage kommenden Bänder, und somit die besten Voraussetzungen für ein ausreichendes S/N auf. Auf diesem Band findet gegenwärtig auch die größte weltweite EME-Aktivität statt. Auf Grund dieser Gegebenheiten ist 144 MHz zu bevorzugen. Die folgenden Abschnitte konzentrieren sich auf dieses Band.

2.2. Signal/Rausch-Verhältnis

Zur Überbrückung der rund 790 000 km langen Strecke und der Reflexionsdämpfung wird eine gewisse Strahlungsleistung (ERP) benötigt. Diese Leistung ist als das Produkt aus Sender-Ausgangsleistung und Antennengewinn minus Kabelverluste definiert: Formel (3)

Um die Signale wieder hörbar zu machen, ist am Empfängereingang eine Signalstärke erforderlich, die über der System-Rauschzahl liegt. Dies ist unter dem Begriff Signal/Rausch-Verhältnis (S/N) zusammengefaßt.

Das S/N wird in erster Linie aus den Werten für Sendeleistung, Streckendämpfung, Empfänger-Rauschzahl, Bandbreite, Antennengewinn, Antennentemperatur und Koaxkabelverluste

$k = 1.38E-23$ (Boltzmann-Konstante $1,38 \times 10^{-23}$ Joule/Kelvin)
Eingabe-Routine - Systemparameter
path_loss_db = Gesamte Streckendämpfung - dB rx_width_hz = ZF/NF-Empfängerbandbreite - Hz rx_noise_fig_db = Empfänger-Rauschzahl - dB rx_ant_gain_dBi = Empfangseitiger Antennengewinn - dBi rx_cable_loss_db = Kabeldämpfung - Ant./Vorverstärk. - dB ant_noise_temp = Antennen-Rauschtemperatur - K tx_pwr_watt = Sender-Ausgangsleistung - Watt tx_ant_gain_dbi = Sendeseitiger Antennengewinn - dBi tx_cable_loss_db = Kabeldämpfung zwischen Ant. u. PA - dB
Berechnungs-Routine
tx_pwr_dbw = $10 * \text{LOG}(\text{tx_pwr_watt}) / \text{LOG}(10)$ total_rx_noise_db = rx_noise_fig_db + rx_cable_loss_db rx_noise_temp = $290 * (\text{EXP}(\text{total_rx_noise_db} * \text{LOG}(10) / 10) - 1)$ sys_noise_temp = rx_noise_temp + ant_noise_temp rx_noise_pwr = $10 * \text{LOG}(k * \text{rx_width_hz} * \text{sys_noise_temp}) / \text{LOG}(10)$ s_n = tx_pwr_dbw - tx_cable_loss_db + tx_ant_gain_dbi s_n_ratio = s_n - path_loss_db + rx_ant_gain_dbi - rx_noise_pwr
Print-Routine
PRINT "Sender-Ausgangsleistung "; tx_pwr_dbw; "dBW" PRINT "System-Rauschtemperatur "; sys_noise_temp; "K" PRINT "Empfänger-Rauschleistung "; rx_noise_pwr; "dBW" PRINT "Signal/Rausch-Verhältnis "; s_n_ratio; "dB"

Bild 1:
Programm-Vorschlag zur
Berechnung des S/N

Systemgegebene Werte	
Gesamt-Streckendämpfung	251.5 dB
Empfänger ZF-Bandbreite	200 Hz
Vorverstärker - Rauschzahl	1.5 dB
Empfangsantenne - Verstärkung	22.1 dBi
Empfangsseitige Kabeldämpfung	0.2 dB
Antennen-Rauschtemperatur	170 K
Sender-Ausgangsleistung	750 W
Sendeantenne - Verstärkung	22.1 dBi
Sendeseitige Kabeldämpfung	0.5 dB
Errechnete Werte	
Sender-Ausgangsleistung	28.75 dBW
System-Rauschtemperatur	308.94 K
Empfänger-Rauschleistung	-180.69 dBW
Signal/Rausch-Verhältnis	+1.64 dB

Bild 2:
Rechenbeispiel mit dem Programm
in Bild 1

gebildet. Die Formeln (**Bild 1**) sind bereits für eine direkte Eingabe in einen Computer ausgelegt und errechnen das S/N aus diesen Faktoren.

Durch Verändern der Parameter im Eingangsteil des Programms in Bild 1 lassen sich verschiedene Übertragungs-Situationen simulieren.

Bild 2 zeigt ein Beispiel. Hierbei wird offensichtlich, daß empfangene EME-Signale meistens an der Hörbarkeitsgrenze liegen. Dieser Erkenntnis ist beim Aufbau einer EME-Station stets Rechnung zu tragen.

In der Folge wird auf diese Erkenntnisse, aber auch auf praktische Überlegungen für den Aufbau einer EME-Station eingegangen.

2.3. Sende-Anlage

Für die Sende-Anlage ist die derzeit postalisch zulässige Sendeleistung der Lizenzklasse "B" von 750 Watt anzustreben. Diese Leistungsklasse stellt in Verbindung des mit Amateurmitteln realisierbaren Antennengewinns einen brauchbaren Kompromiß zum Erzielen der notwendigen Strahlungsleistung dar. Endstufen dieser Leistungsklasse sind bereits im Fachhandel erhältlich. Vor deren Erwerb ist darauf zu achten, daß sie nicht an der absoluten Leistungs- und Linearitätsgrenze der Endröhre(n) betrieben werden müssen. Durch eine derartige Betriebsweise werden in starkem Maß unzulässige Nebenausstrahlungen produziert, die

andere Funkdienste (TV, Rundfunk etc.) stören können. Ferner dürfte dadurch auch die Lebensdauer der Endröhre(n) stark reduziert sein. Da für EME fast ausschließlich Telegraphie (CW) in Frage kommt, ist auch auf ausreichende Dimensionierung und Kühlung der Sender-Endstufe und Stromversorgung zu achten.

Der Selbstbau ist meist die technisch bessere und preisgünstigere Lösung. Die notwendigen Bauteile sind ebenfalls im Fachhandel erhältlich. Oft stehen geeignete Teile in der Bastelkiste oder bei befreundeten OMs zur Verfügung. Allerdings werden an den Selbstbauer gewisse Anforderungen bezüglich des mechanischen Aufbaus, insbesondere der Herstellung der Koaxialkreise, gestellt. Entsprechende Bauanleitungen sind beispielsweise in (1, 4, 5) zu finden. Als Steuersender eignet sich jeder moderne 2-m- oder KW-Transceiver mit nachgeschaltetem Transverter. Diese Geräte kann man inzwischen zur Standardausrüstung einer Amateurfunkstation rechnen, so daß sich die Frage des Selbstbaus erübrigt.

2.4. Empfangsanlage

Der Empfangseinrichtung einer EME-Station ist in den folgenden Punkten besondere Aufmerksamkeit zu widmen:

1. Rauschzahl des Empfangssystems (NF = Noise Figure)

$\text{noise_temp} = 290 * (\text{EXP}(\text{noise_fig} * \text{LOG}(10)/10) - 1)$
$\text{noise_fig} = 10 * \text{LOG}(1 + (\text{noise_temp}/290)) / \text{LOG}(10)$
$\text{noise_factor} = 1 + (\text{noise_temp}/290)$

Bild 3:
Computergerechte Formeln
zum Umrechnen von Rausch-
temperatur, Rauschzahl und
Rauschfaktor. Der Wert 290
stellt die Referenztemperatur
290 K = 17 Grad C dar

- 2. Selektivität des Empfangsnachsetzers
- 3. Frequenzstabilität und -Genauigkeit

Von entscheidender Bedeutung für ein Gelingen von EME-Versuchen ist die optimale Auslegung des Empfangssystems bezüglich Rauschzahl und Antennengewinn, woraus sich der Rauschabstand der empfangenen Signale (S/N) ergibt.

In Abhängigkeit von Qualität und Länge der Koaxspeiseleitung zwischen Antenne und Empfänger erfolgt eine mehr oder minder starke Dämpfung des Nutzsignals vor der ersten Verstärkerstufe. Diese Dämpfung addiert sich unmittelbar zur Verstärker-Rauschzahl. Um diese Verluste auf ein Minimum zu reduzieren, wäre es zweckmäßig, den Empfänger direkt an der Antenne zu betreiben. Dies ist jedoch meistens nicht praktikabel. Da für die Systemrauschzahl

in erster Linie der Vorverstärker verantwortlich ist, ergibt sich die logische Folgerung, diesen abgesetzt vom Empfänger im Bereich der Antenne zu installieren.

Aus dieser Erkenntnis hat sich in den letzten Jahren die Technik sogenannter Mastvorverstärker mit integrierter Sende/Empfangsumschaltung entwickelt. Dieses Konzept ermöglicht ein optimales S/N-Verhältnis und bietet gleichzeitig die Bequemlichkeit, den Empfangsnachsetzer im Funkraum bedienen zu können.

Für eine erfolgreiche EME-Arbeit reicht eine Rauschzahl von 1,5 dB aus. Dieser „hohe“ Wert mag etwas überraschen, da es mit modernsten Halbleitern derzeit ohne weiteres möglich ist, Werte unter 1 dB zu erreichen. Berücksichtigt man jedoch die Tatsache, daß im 144-MHz-Band

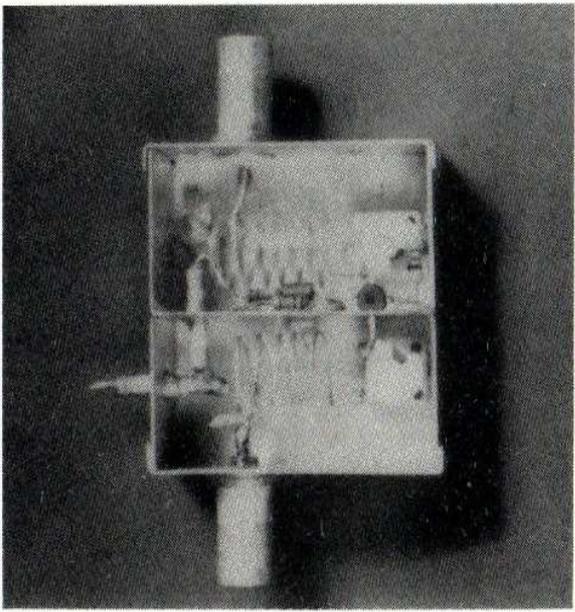


Bild 4: 144-MHz-Vorverstärker mit einem BF 981

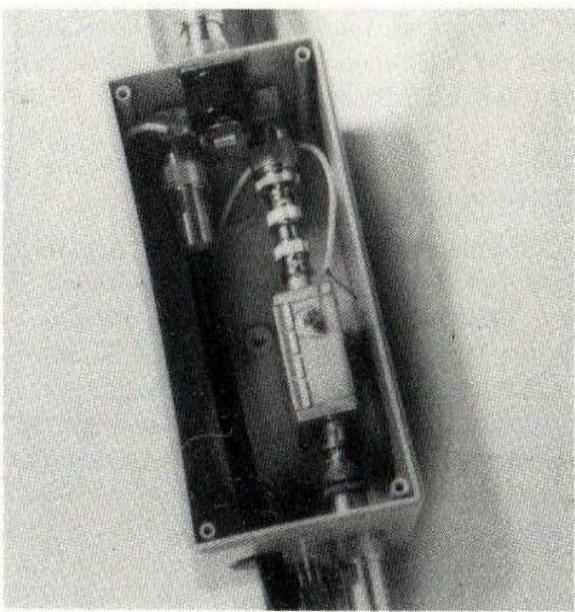


Bild 5: Der Vorverstärker mit einem Koaxrelais im Gehäuse

die minimale kosmische Rauschtemperatur bereits 150 K, entsprechend einer Rauschzahl von 1,8 dB (**Bild 3**) beträgt, so erscheint es sinnlos, die Rauschzahl des Vorverstärkers wesentlich unter diesen Wert zu drücken. Die Empfängerrauschzahl gewinnt gegenüber dem kosmischen Rauschen erst ab etwa 1 GHz an Bedeutung (6, 7).

Entsprechende Vorverstärker für 144 MHz lassen sich recht preiswert mit dem MOSFET BF 981 aufbauen (**Bild 4**). Eine Baubeschreibung findet man beispielsweise in (6a).

Handelsübliche Vorverstärker besitzen in der Regel eine hervorragende Rauschzahl. Sie sind jedoch meistens mit Antennenrelais für die Sendempfangsumschaltung ausgestattet, welche eine zu geringe Übersprechdämpfung und Kontaktbelastbarkeit aufweisen. Durch diesen Mangel kam es beim Verfasser sehr häufig zum Ausfall des Vorverstärkers. Abhilfe brachte eine zusätzliche Antennenumschaltung mit einem hochwertigen Relais (**Bild 5**).

Als Schutzmaßnahme ist bei der Verkabelung und der Verdrahtung dieser Relais der Sendempfangsumschaltung

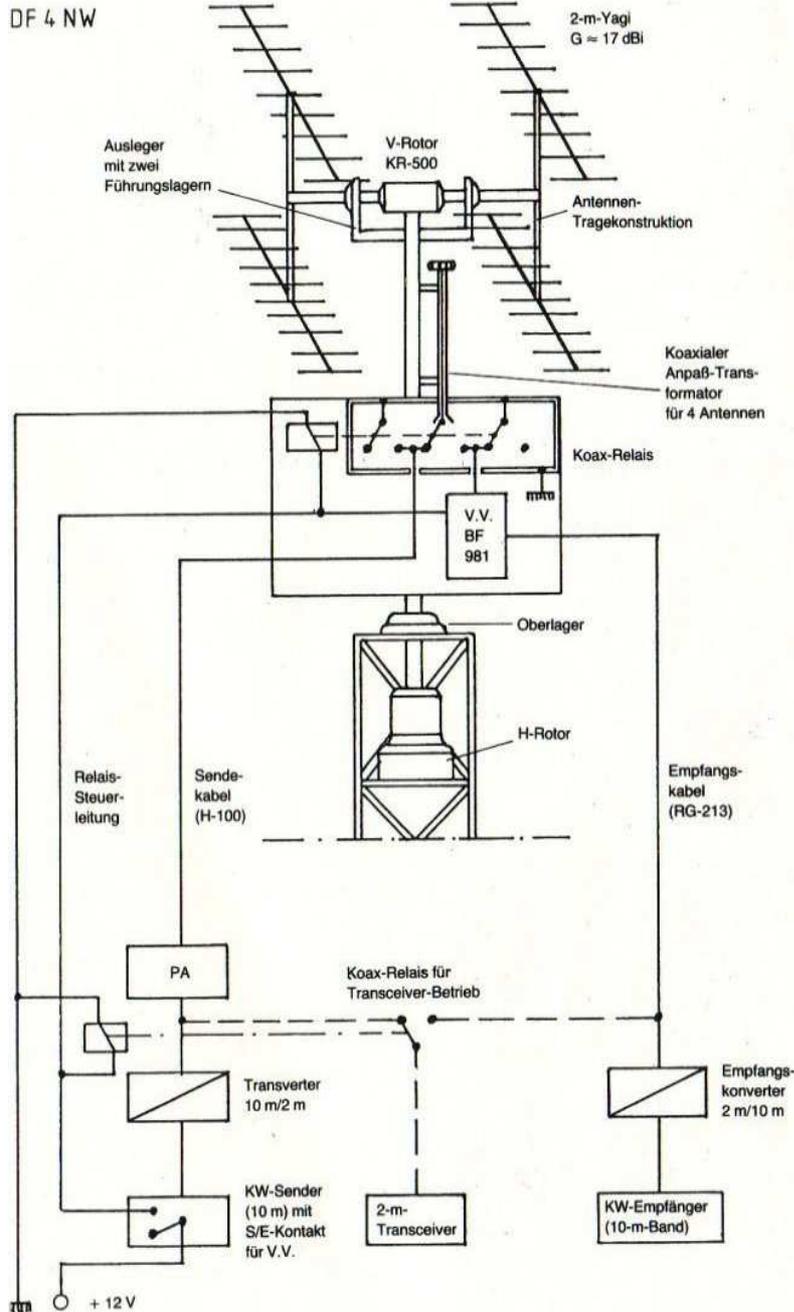


Bild 6:
Beispiel für eine 144-MHz-EME-Anlage, wahlweise mit KW-Geräten und 10m/2m-Transverttern oder mit 2-m-Transceiver

zweig über den Ruhekontakt zu führen. Durch diese Maßnahme wird bei Ausfall der Relaissteuerspannung die Endstufe immer zur Antenne und der Eingang des Vorverstärkers nach Masse geschaltet. Eine weitere wirksame Maßnahme, um die hohe HF-Spannung vom Vorverstärker fernzuhalten, ist ein separates Sendekabel vom Sende-Endverstärker zum Antennenrelais. Bei Transceiver-Betrieb wird zum Zusammenschalten der Sende- und Empfangskabel dann ein zweites Koaxrelais notwendig, das man nach dem Sende-Endverstärker anordnet (**Bild 6**).

Aus Kostengründen und des recht niedrigen Arbeitsaufwandes wegen, ist ein Selbstbau des Vorverstärkers zu empfehlen.

Als Empfangsnachsetzer eignet sich jeder moderne 2-Meter-Transceiver mit Zweit-VFO oder geeichter Empfänger-Feinverstimmung. Eine Anordnung wie in Bild 6 aus KW-Transceiver oder -Empfänger in Verbindung mit einem entsprechenden Empfangsumsetzer ist ebenfalls

gut geeignet. Besonders gefordert sind gute Selektivität und Frequenzstabilität. Da das S/N auf der Empfängerseite in erster Linie durch den erzielbaren Antennengewinn bestimmt wird, sind zusätzliche Maßnahmen notwendig, um das Nutzsignal gegenüber dem Rauschen anzuheben. Dies kann durch Selektionsmaßnahmen im Empfänger geschehen. Um den erforderlichen Rauschabstand für die Betriebsart CW zu erzielen, ist eine Bandbreite von unter 300 Hz nötig. Dies kann durch Zwischen- oder Niederfrequenz-Filter bewerkstelligt werden.

2.5. Antennenanlage

Da die einsetzbare Sendeleistung in erster Linie durch gesetzliche Bestimmungen, und die Empfängerrauschzahl durch natürliche Grenzen bestimmt sind, bleibt die wichtigste Komponente einer EME-Station die Antenne. Hier gilt ganz besonders die altbekannte Regel, daß die Antenne der beste HF-Verstärker ist. Beim Aufbau

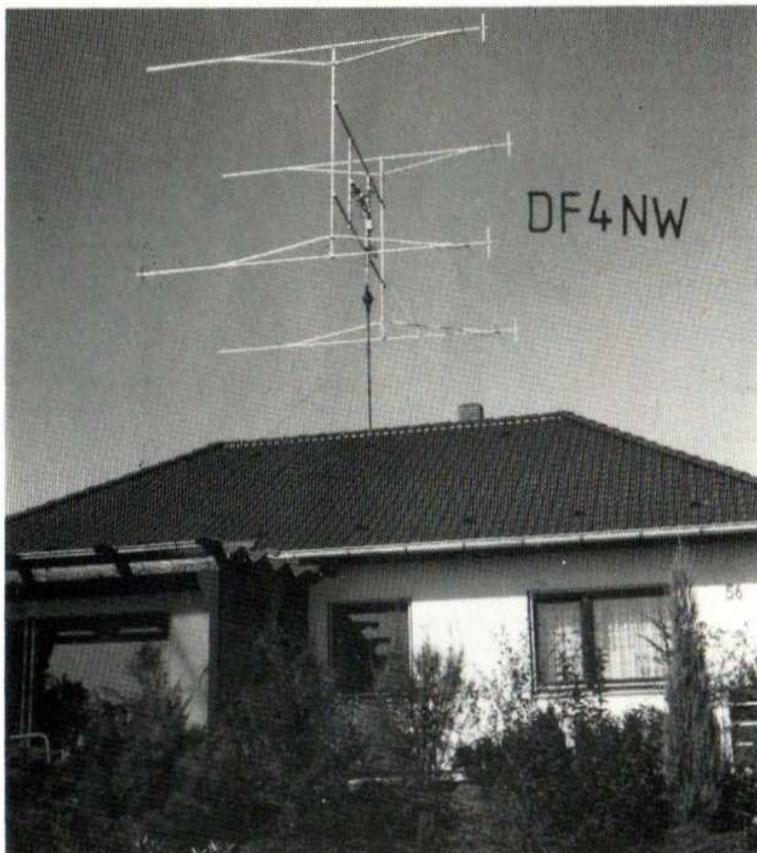


Bild 7:
Die EME-Antennenanlage des
Verfassers mit 4 x 17-El.-Yagi

einer Hochleistungs-Antennenanlage sollten die zur Verfügung stehenden räumlichen Möglichkeiten weitgehend ausgeschöpft werden. Am besten geeignet wäre hierfür natürlich ein freistehender Antennenmast. Es ist aber durchaus möglich, mit geringerem konstruktiven Aufwand eine EME-fähige Antenne auf das Haus- oder Garagendach zu bauen (Bild 7). Die Höhe über Grund ist dabei nicht entscheidend. Wichtig ist jedoch, eine Abschirmung der Antenne durch umliegende Gebäude, Bäume etc., bis möglichst nahe an 0°-Elevation (Horizont) zu vermeiden. Dadurch wird die Hochleistungsantenne auch für terrestrischen Funkverkehr äußerst interessant.

Die Erfahrung hat gezeigt, daß für das 144-MHz-Band 20 dB_d Antennengewinn als Minimalforderung anzusehen sind. Auf den höheren Bändern ist ein höherer Antennengewinn, entsprechend der zusätzlichen Streckendämpfung (Tabelle 1) nötig.

Dieser Antennengewinn ist mit einer einzelnen Yagi-Antenne nicht zu realisieren. Ideal wäre eine Parabolantenne mit entsprechendem Spiegeldurchmesser. Dieses Konzept scheidet jedoch aus Platz- und Kostengründen normalerweise aus.

Einen preisgünstigen Kompromiß stellen Gruppenantennen dar. Eine Gruppe kann aus handelsüblichen Yagi-Antennen und entsprechenden Anpaßgliedern aufgebaut werden. Um die Forderung nach 20 dB_d zu erfüllen, sind vier Yagi-Antennen mit je ca. 15 dB_d, entsprechend einer Tragrohlänge von mindestens 5 λ, also rund 10 Meter, erforderlich. Eine 4er Gruppe hat theoretisch 6 dB, praktisch 5 dB mehr Gewinn als die Einzel-Yagi, so daß hier mit etwa 20 dB_d Gesamtgewinn zu rechnen ist.

Mechanisch sind die vier Antennen im Quadrat, an einer sogenannten H-Konstruktion, aufzubauen. Diese Anordnung gewährleistet eine weitgehend symmetrische Strahlungskeule und somit eine optimale Ausleuchtung der Reflexionszone auf dem Mond. Als Richtwert für den seitlichen Abstand sind 5/7 bzw. für den senkrechten Abstand 5/7 - 10 % der Antennen-Tragrohlänge anzusetzen (8).

Diese Konstruktion läßt eine recht unkomplizierte Montage des Elevationsrotors am horizon-



Bild 8:
Die Vorverstärker/
Relais-Baugruppe
aus Bild 5 an einem
koaxialen Anpaß-
transformator be-
festigt

talen Teil der H-Konstruktion zu. Man schaltet die Antennen mit hochwertigem Koaxkabel (H-100), Kabelverbindern in N-Norm und einem koaxialen Transformationsglied (Bild 8) zusammen.

Bei der Planung einer Antennenanlage sind zunächst die persönlichen Erwartungen in bezug auf wünschenswerte Häufigkeit von EME-Verbindungen zu prüfen. Die antennenmäßigen Voraussetzungen für sichere Verkehrsmög-

Station A	« EME »	Station B
Anzahl Antennen	Verkehr zwischen	Anzahl Antennen
4er Gruppe	↔	16er Gruppe
8er Gruppe	↔	8er Gruppe
16er Gruppe	↔	4er Gruppe

Tabelle 2: EME-Verkehrsmöglichkeiten

lichkeiten zwischen unterschiedlich ausgestatteten Stationen sind, einer Faustregel entsprechend, der **Tabelle 2** zu entnehmen.

Grundsätzlich kann gesagt werden, daß jeder Mehraufwand an der Antennenanlage das empfangsseitige S/N-Verhältnis und die sendeseitige Strahlungsleistung verbessert und somit auch die Anzahl der zu arbeitenden Stationen erhöht. Es ist jedoch nicht ausgeschlossen, daß unter besonders günstigen Voraussetzungen – in erster Linie bei bestimmten Positionen des Mondes – auch Verbindungen zwischen Stationen mit jeweils nur einer 4er-Gruppe möglich sind.

3. ANTENNENSTEUERUNG

Für EME-Funkkontakte ist es zwingend notwendig, die Antennen genauestens auf den Mond auszurichten und ständig dessen Bahn nachzuführen. Für die mechanische Konstruktion der Antennensteuerung bestehen die folgenden zwei Prinzipien:

- Polar-Montage
- AZ/EL-Montage

Bei der Polar-Montage wird die Vertikalachse (Horizontal-Rotor) nach der Erd- bzw. Polar-Achse, und der Vertikalrotor nach der Deklinationssachse ausgerichtet. Dieses System wird vor allem für die Positionierung von astronomischen Instrumenten angewandt. Mit dieser Anordnung lassen sich die Antennen direkt mit Angaben für Deklination und GHA (Greenwich Hour Angle), unter Berücksichtigung des eigenen Längen- und Breitengrades, einstellen. Diese Angaben können astronomischen oder nautischen Jahrbüchern (9) entnommen werden. Dieses System hat jedoch den entscheidenden Nachteil, daß die Antennenanlage für terrestrischen Funkverkehr nur eingeschränkt nutzbar ist.

Die weitaus bessere, weil universell einsetzbare Lösung ist eine AZ/EL-Anordnung. Die hori-

zontale Drehachse der Antennen wird hierbei vertikal zum Erdmittelpunkt ausgerichtet. Dies entspricht der allgemein üblichen Methode der Antennenmontage an Gittermasten oder Standrohren. Als Drehvorrichtung für die AZ- und EL-Nachführung können handelsübliche Antennenrotoren, in entsprechend mechanisch stabiler Ausführung, verwendet werden.

Für die Vertikaldrehung (EL) eignet sich der Typ KR-500 (A, B) besonders gut. Zu empfehlen ist es jedoch, Ausleger mit zusätzlicher Lagerung anzubringen, damit die Rotormechanik und das Spritzgußgehäuse entlastet werden. Bei größeren Antennengebilden können – zur Bewältigung des größeren Drehmomentes – mehrere dieser Rotoren auf einer Achse angeordnet werden.

Als Horizontalrotor stehen im Fachhandel diverse Fabrikate zur Auswahl. Um jedoch auch hier eine mechanische Überlastung (Biegemoment) der Mechanik und des Gehäuses zu vermeiden, sind – der Länge des sich drehenden Standrohres angepaßt – Führungslager einzusetzen.

Zur Reduzierung des Anlaufmomentes bei größeren Antennengebilden und zur bequemeren Einstellung der AZ- und EL-Winkel, wäre es wünschenswert, die Drehzahl der Rotoren zu verringern. Dies könnte durch Umbau der Getriebe-Übersetzung oder durch eine elektronische Regelung geschehen. Die elektronische Regelung ist natürlich zu bevorzugen, da ein Umbau des Getriebes doch einige technische Probleme mit sich bringen dürfte. Um ein günstiges Anlaufmoment des E-Motors zu erhalten, ist eine sogenannte Pulssteuerung einer Spannungsregelung vorzuziehen. Das Prinzip ist, einen Triac in der Spannungszuleitung zum Rotormotor mit einem in der Frequenz veränderlichen Pulsgenerator zu takten. Durch Verändern der Impulsdauer wird eine kontinuierliche Drehzahlregelung erreicht.

Diese recht stark bündelnden Antennen erfordern ein genaues Einstellen und Ablesen der AZ- und EL-Winkel. Die Skalenteilung von meist 5° der herkömmlichen Analog-Instrumente reicht hierfür nicht aus. Um die Auflösung der

Anzeige zu verbessern, bietet sich als recht preisgünstige Lösung das Anschließen billiger Digitalvoltmeter-Module an. Sie ermöglichen eine Anzeige-Auflösung von 1°. Durch entsprechendes Beschalten mit Trimmwiderständen läßt sich der Anzeigebereich leicht auf 0 bis 360° (AZ) bzw. 0 bis 90° (EL) eichen.

3.1. Bahnverfolgung von Mond und Sonne

Die meisten Funkamateure auf der Welt sind fast ständig durch Wolken in der Sicht zu Mond und Sonne behindert, so daß optische Methoden

zum Ausrichten der Antenne ausscheiden. Die zur Einstellung der Antennen notwendigen AZ- und EL-Winkel sind deshalb mathematisch zu ermitteln. Sie werden unter Einbeziehung des Längen- und Breitengrades der EME-Station aus dem GHA und der Deklination errechnet.

Durch die kontinuierliche Weiterbewegung des Mondes werden jedoch ständige Neuberechnungen erforderlich. Diese Aufgabe läßt sich mit einem Taschenrechner nur unter erheblichem zeitlichen Aufwand lösen. Doch durch die stürmische Entwicklung der Datenverarbeitung sind Home- und Personal-Computer erschwing-

TUE, 16.FEB.1988		TIME-UTC 07:31:30	
1ST. LOC. LAT.	49.71	LONG.	-10.82 DEG
EL-MOON	8.33	AZ-MOON	140.99 DEG
EL-SUN	8.69	AZ-SUN	121.38 DEG
SPACING BETWEEN MOON & SUN		19.61 DEG	
2ND. LOC. LAT.	50.00	LONG.	100.00 DEG
EL-MOON	-55.25	AZ-MOON	47.14 DEG
EL-SUN	-51.79	AZ-SUN	14.84 DEG
SPACING BETWEEN MOON & SUN		32.49 DEG	
GHA-MOON	307.17	DEC-MOON	-21.84 DEG
GHA-SUN	289.34	DEC-SUN	-12.57 DEG
SD-MOON	16.675	DIS-MOON	358332 KM

Bild 9: Bildschirmausdruck aus dem Programm *EME für PCs*. In den 12 Zeilen werden folgende Werte dargestellt:

- 1) Datum und Uhrzeit
- 2) Breiten- und Längengrad des 1. Standortes
- 3) Elevation und Azimut des Mondes für den ersten Standort
- 4) Elevation und Azimut der Sonne für den ersten Standort
- 5) Winkel zwischen Mond und Sonne für den ersten Standort
- 6)...9) Werte wie unter 2)...5), für den zweiten Standort
- 10) GHA (Stundenwinkel) und Deklination des Mondes
- 11) GHA und Deklination der Sonne
- 12) Halbdurchmesser (SD) und Entfernung (DIS) des Mondes (Elevationswinkel des Mondes über dem Horizont: *invers*)

	LAT 49.70 LNG -10.82			LAT 50 LNG 100			DEG		
TIME UTC	EL- MOON	AZ- MOON	SPACING MOON/SUN	EL- MOON	AZ- MOON	SPACING MOON/SUN	DIST. KM	S.D. MOON	DECL. MOON
07:30	8.174	140.6	19.61	-55.4	46.64	32.58	358333	16.675	-21.84
07:45	9.651	143.7	19.59	-53.6	51.44	31.52	358315	16.676	-21.79
08:00	11.02	146.8	19.59	-51.7	55.91	30.34	358297	16.676	-21.74
08:15	12.29	150.0	19.60	-49.7	60.09	29.12	358279	16.677	-21.69
08:30	13.45	153.2	19.61	-47.7	64.01	27.90	358261	16.678	-21.64
08:45	14.49	156.5	19.62	-45.6	67.70	26.71	358244	16.679	-21.59
09:00	15.41	159.8	19.62	-43.4	71.19	25.57	358227	16.680	-21.54
09:15	16.20	163.2	19.61	-41.2	74.51	24.50	358210	16.680	-21.48
09:30	16.86	166.7	19.59	-38.9	77.67	23.50	358193	16.681	-21.43
09:45	17.38	170.2	19.55	-36.6	80.71	22.58	358176	16.682	-21.38
10:00	17.76	173.7	19.48	-34.3	83.65	21.74	358159	16.683	-21.33
10:15	17.99	177.2	19.40	-32.0	86.49	20.97	358143	16.684	-21.28
10:30	18.08	180.8	19.28	-29.7	89.25	20.27	358127	16.684	-21.22
10:45	18.03	184.3	19.15	-27.3	91.96	19.64	358111	16.685	-21.17
11:00	17.83	187.9	18.99	-25.0	94.61	19.07	358095	16.686	-21.12
11:15	17.49	191.4	18.81	-22.7	97.23	18.55	358080	16.686	-21.06
11:30	17.01	194.9	18.61	-20.4	99.82	18.08	358064	16.687	-21.01
11:45	16.39	198.4	18.40	-18.1	102.4	17.67	358049	16.688	-20.96
12:00	15.64	201.8	18.18	-15.8	104.9	17.29	358034	16.689	-20.90
12:15	14.75	205.2	17.96	-13.5	107.5	16.96	358019	16.689	-20.85
12:30	13.75	208.5	17.74	-11.3	110.1	16.66	358004	16.690	-20.80
12:45	12.62	211.8	17.53	-9.17	112.6	16.40	357990	16.691	-20.74
13:00	11.38	215.0	17.32	-7.02	115.2	16.17	357975	16.691	-20.69
13:15	10.04	218.2	17.12	-4.91	117.9	15.97	357961	16.692	-20.63
13:30	8.599	221.3	16.93	-2.85	120.6	15.79	357947	16.693	-20.58

Bild 10: Papiaerausdruck aus dem Programm EME für PCs

In diesem Programm-Modus werden die gleichen Werte wie im Bildschirm-Modus errechnet. Nach Eingabe eines frei wählbaren Zeitschrittes kann eine Vorausberechnung der Mond- und Sonnenbewegung (für die Planung von Skeds) erfolgen.

lich geworden und zählen inzwischen fast durchweg zur Standardausrüstung einer Amateurfunkstation. Diese Rechner eignen sich hervorragend, um derartige Rechenaufgaben zu übernehmen. Inzwischen existieren Computer-Programme (DF 4 NW – "EME" für PCs – **Bilder 9 und 10**), die alle zum EME-Betrieb notwendigen Daten mit großer Präzision errechnen. Das Programm nach DF 4 NW rechnet echtzeitgesteuert, nach Eingabe des Datums und der Uhrzeit (UTC), für zwei frei wählbare Orte, folgende Daten:

- AZ und EL für Mond und Sonne
Winkelabstand zwischen Mond und Sonne vom Beobachter
- GHA und Deklination für Mond und Sonne
- Halbdurchmesser und Entfernung zum Mond

4. VORBEREITUNG ERSTER EME-TESTS

An diesem Punkt wird es nun hochinteressant, da es sich nun ja zeigen muß, ob das ganze System auch EME-tauglich ist. Die folgenden Tests, die ohne besondere Meßmittel möglich sind, geben darüber recht gut Aufschluß:

1. Messen des Sonnenrauschens
2. Echo-Versuche

Die einfachste, aber auch aufschlußreichste Methode die Empfindlichkeit des Empfangsystems zu analysieren, ist die Messung des Sonnenrauschens (11). Für diese Messung ist

die Antenne auf die Sonne auszurichten. Ein hoher Elevationswinkel (Mittagszeit) ist zum besseren Ausblenden terrestrischer Störungen anzustreben. Das Empfängerrauschen wird dabei deutlich zunehmen. Ein System mit einer 4er-Gruppe für 144 MHz müßte einen Rauschzuwachs von mindestens 5 dB (geeichtes S-Meter) erbringen. Der Wert hängt jedoch auch von der Sonnen-Aktivität (Sonnenflecken!) ab, wie in (11) ausführlich dargestellt wird.

Sogenannte Echo-Tests gestalten sich etwas schwieriger. Dazu ist die Antenne auf den Mond auszurichten und für kurze Zeit (etwa 2 Sekunden) eine Reihe von Telegraphie-Zeichen zu senden. Unter optimalen Bedingungen müßten diese nach einer Laufzeit von etwa 2 ½ Sekunden im Empfänger wieder zu hören sein. Daß die Echos meist nur äußerst schwach oder auch gar nicht hörbar werden, ist kein Grund zur Beunruhigung. Verantwortlich sind hierfür verschiedene Faktoren, die die äußeren Bedingungen nur selten wirklich optimal werden lassen, so daß Echo-Tests mit einer 4er-Gruppe nicht immer gelingen. Dies bedeutet jedoch nicht, daß EME-Verbindungen völlig ausgeschlossen sind. Die stärkeren Stationen (mit 16er-Gruppen) wird man wohl fast immer arbeiten können. Bevor man sich mit Echo-Tests oder EME-Verbindungen weiter befaßt, sollte man sich mit diesen äußeren Einflüssen doch etwas vertrauter machen. Folgende Faktoren sind besonders zu beachten:

4.1. Sonnenrauschen

Bei einem zu geringen Abstand zwischen Mond und Sonne (Neumond-Phase) wird der Empfang durch Sonnen-Rauschen derart beeinflusst, daß dadurch jegliche EME-Arbeit unmöglich wird. Der zulässige Abstand ist vom Öffnungswinkel der verwendeten Antenne abhängig. Praktische Erfahrungen zeigten, daß Winkelabstände unter 10° zu meiden sind. Außerdem sind Winter- und Nachtzeiten natürlich günstig.

4.2. Perigäum/Apogäum

Wie aus Tabelle 1 ersichtlich, ist die Streckendämpfung im Perigäum um etwa 2 dB geringer

als im Apogäum. Bei der zeitlichen Planung von EME-Tests ist dies unbedingt zu berücksichtigen. 2 dB mehr an Signalstärke können für ein Gelingen von entscheidender Bedeutung sein. Typische Werte für ein Perigäum sind ein S.D. von 16.5 oder eine Entfernung Erde/Mond von ca. 360.000 km (Bild 9).

4.3. Reflexionswinkel

Annähernd gleiche Ein- und Ausfallwinkel für das Sendesignal auf der Mondoberfläche, das heißt gleiche Elevationswinkel auf beiden Seiten, stellen optimale Verhältnisse dar.

4.4. Geringe Elevation

Zu meiden sind niedrige Elevationswinkel, da hierbei das Erdrauschen und sonstige terrestrische Störungen sich negativ auswirken können. Unter günstigen Bedingungen kann es jedoch andererseits zu einer Art Tropo-Effekt kommen, der extreme Weitverbindungen ermöglicht.

4.5. Deklination des Mondes

Nördliche Deklinationen des Mondes bringen für Stationen auf der nördlichen Hemisphäre aufgrund der geringeren Entfernung Beobachter/Mond bessere Ergebnisse. Das gleiche gilt analog für südliche Stationen.

4.6. Galaktisches Rauschen

Eine um bis zu 170 K erhöhte Rauschtemperatur ist zu erwarten, wenn der Mond – zweimal monatlich für etwa 4 Tage – die galaktische Ebene kreuzt. Weitere Zonen mit höherer Rauschtemperatur, die man meiden sollte, sind für nördliche Deklinationen der Bereich um Orion und Gemini bzw. für südliche Deklinationen Scorpius und Sagittarius (3, 7, 9, 10).

4.7. Verzerrungen durch Laufzeit-Unterschiede

Durch Reflexion der Radiowellen an der rauhen und gekrümmten Mond-Oberfläche entstehen Laufzeitverschiebungen innerhalb der reflek-

tierten Welle. Diese Phasenverschiebung verzerrt das Signal. CW-EME-Signale klingen deshalb sehr rau, SSB-Signale sind nur bei guten Signalstärken einigermaßen lesbar.

4.8. Faraday-Polarisationsdrehung

Außerdem tritt in der Erd-Atmosphäre eine Polarisationsdrehung auf. Dieser Effekt verursacht Schwund, der das Signal unter Umständen bis zur Unlesbarkeit beeinträchtigt. Diese Erscheinung könnte mit zirkular polarisierten Antennen (Parabolspiegel, Kreuzyagis) kompensiert werden. Der Antennenaufwand würde jedoch – insbesondere bei Yagigruppen – verhältnismäßig groß werden, so daß dieser Mangel hingenommen wird.

4.9. Doppler-Effekt

Der Mond bewegt sich auf einer elliptischen Bahn um die Erde. Dadurch erfolgt eine periodische Entfernungsänderung zwischen den beiden Himmelskörpern (s. Abschnitt 4.2.) mit maximal 1575 km/h. Dieser Vorgang bewirkt eine Dopplerverschiebung von max. ± 210 Hz im 144-MHz-Band.

5. BETRIEBSTECHNIK

Zur Abwicklung von EME-Verbindungen hat sich eine eigene, vom sonstigen Amateurfunk abweichende, Betriebstechnik entwickelt. Wie

bereits erwähnt, kommt bei EME in erster Linie die Betriebsart CW zur Anwendung. Wegen der empfangsseitig notwendigen sehr schmalbandigen CW-Filter und aufgrund der starken Signal-Verzerrungen müssen EME-Verbindungen mit niedrigen Geschwindigkeiten abgewickelt werden. Das Gebetempo soll bei 30 bis 50 BpM liegen. Zu niedrige Geschwindigkeiten können jedoch auch die Verständlichkeit beeinträchtigen, denn durch Signal-Verzerrungen und -Schwund können die Signale so sehr zerhackt werden, daß unter Umständen ein Strich als mehrere Punkte interpretiert wird.

EME-Funkverkehr wird in erster Linie auf Frequenzen an den Bandanfängen abgewickelt. Auf dem 2-Meter-Band ist das der Bereich von 144,000 bis 144,050 MHz. Die meiste Aktivität findet um 144,010 MHz statt. Für das 432-MHz-Band besteht ein ähnlicher Bandplan.

Da in den Anfangsjahren sehr wenige EME-Stationen aktiv waren, war es üblich EME-Versuche zu verabreden. Damals hat sich folgendes Zeitsystem eingebürgert:

Die östliche Station beginnt zur vollen Stunde – wenn nicht anders vereinbart – zuerst zu rufen. Dies geschieht in einem genau einzuhaltenden Zeittakt. Auf dem 144-MHz-Band wird für 2 Minuten die Gegenstation gezielt gerufen. Anschließend wird für 2 Minuten gehört. Nach Zustandekommen der Verbindung werden zunächst für 1 ½ Minuten die Rufzeichen und für weitere 30 Sekunden nur der Rapport (**Bild 11**) gesendet. Nach dem Austausch des Rapports senden beide Stationen nochmals zur abschließenden Bestätigung für 1 ½ Minuten wechselweise ein

TMO-Rapportsystem
T = Signal hörbar aber nicht lesbar M = Signale teilweise lesbar O = Alles lesbar
R = Rufzeichen und Rapport aufgenommen SK = Ende der Funkverbindung

Bild 11: Das EME-Rapport-System "TMO"

bestätigendes 'R' und den Rapport. Für die restlichen 30 Sekunden nur das eigene Rufzeichen und das abschließende 'K' oder 'SK'.

432-MHz-Verbindungen werden im 2 ½ minütigen Rhythmus, mit einer 2-Minuten-und-30-Sekunden-Zeitaufteilung durchgeführt. Die einzelnen Prozeduren werden solange wiederholt, bis eine gegenseitige Verständigung gegeben ist. Eine Verbindung gilt als vollständig abgeschlossen, wenn von beiden Stationen die Rufzeichen und der Rapport mit 'R' bestätigt wurden. Ein ausführlicher Nachrichtenaustausch ist nur bei guten Signalstärken üblich. Es ist nicht selten, daß sich der gesamte QSO-Prozeß aufgrund schwieriger Übertragungsbedingungen über Stunden hinzieht.

Auf Grund der sehr schwachen Signale und der daraus resultierenden schwierigen Betriebsabwicklung wurde für EME ein einfaches Rapportsystem geschaffen. Statt des RST-Systems wird das TMO-System (Bild 11) verwendet.

Für die Suche nach Partnern besteht ein sogenanntes EME-Net auf 14,345 MHz. EME-Verabredungen sind zweckmäßigerweise auf die meist allgemein arbeitsfreien Wochenenden oder Feiertage zu legen. Falls ein Sked nicht eingehalten werden kann, ist es selbstverständlich, daß man seinen QSO-Partner rechtzeitig davon in Kenntnis setzt. Dies kann per Telefon, Telegramm oder über andere OMs erfolgen. Nichts ist ärgerlicher als stundenlang dem Rauschen des eigenen Empfängers zuzuhören, um später zu erfahren, daß der Partner gar nicht QRV war. Zuverlässigkeit ist oberstes Gebot.

Inzwischen sind Skeds auf den niederfrequenten Bändern (144 und 432 MHz) nur noch selten üblich. An vielen Wochenenden kann man – insbesondere wenn der Mond im Perigäum ist – auf 144 MHz eine recht rege EME-Aktivität beobachten. Viele dieser QSOs kommen per Zufall zustande. Inzwischen findet sogar alljährlich im Herbst ein EME-Kontest statt. Für den Einsteiger bieten diese EME-Wochenenden und -Konteste reichlich Gelegenheit sich mit den recht rauen CW-Signalen und der faszinierenden EME-Materie vertraut zu machen.

6. BESCHREIBUNG EINER EME-STATION

Bei den vom Verfasser durchgeführten EME-Tests wurde folgende Stationsausrüstung benutzt:

Empfangseinrichtung

1. Eigenbau-Mastvorverstärker mit BF 981
2. Empfangs-Konverter 2/10 m – Microwave Modules 144-MHz-Conv.
3. KW-Empfänger – ZF-Bandbreite 4 kHz bis 300 Hz – Drake R7
4. NF-Prozessor – Bandbreitenregelung 3 kHz bis 100 Hz; Fa. Signatrans Nachrichtentechnik – 7901 Bollingen
5. Kopfhörer – Fa. Sennheiser

Sende-Einrichtung

1. Steuersender – Transceiver SE 402 – Fa. Braun
2. Sende-Endverstärker – d200s – Fa. Dressler
3. Elektronische Speicher-Morsetaste – Accu Keyer
4. Squeeze-Gebemechanik – Fa. Bencher

Antennenanlage

1. Versuch: 4 x 13 Elemente, Tragrohrlänge 4,5 m – Fa. Tonna
2. Versuch: 4 x 17 Elemente, Tragrohrlänge 6,6 m – Fa. Tonna
3. Anpaßtopf für eine 4er-Gruppe – Fa. Andes
4. Horizontalrotor Model T²X – Fa. CDE
5. Vertikalrotor Typ KR 500 – Fa. Kenpro
6. Zwei Führungslager am Vertikalrotor – Fa. Kenpro
7. Ein Führungslager am Horizontalrotor – Fa. Kenpro

Wegen der behördlichen Verweigerung einer Baugenehmigung für einen Gittermast, mußte notgedrungen der Aufbau der Antennenanlage auf dem Dach des Eigenheimes erfolgen. Als Standrohr fungierte ein handelsüblicher Stahl-Schiebemast mit 48/60 mm Durchmesser und 2 x 3 m Länge. Die Antennenhalte-Konstruktion war aus hochfestem Alurohr (AlMgSi 0.5-Rohr F22 – 40 x 2 mm Ø) mit entsprechenden Kreuzschellen hergestellt. Eine 6-fache Abspannung

sorgte für eine sichere Verankerung auf dem Hausdach.

Die gesamte Verkabelung wurde mit Koaxkabel RG-213/U ausgeführt. Wegen des relativ langen Kabelweges von über 30 m von der Antenne bis zum Funkraum im Keller, wurde die Endstufe im Dachraum angeordnet und ferngesteuert bedient. Durch diese Maßnahme konnten die Kabelverluste reduziert werden. Empfangsseitig waren diese durch Anordnen des Vorverstärkers im Bereich der Antenne ohnehin sehr gering. Es gilt jedoch als sicher, daß durch Verwenden eines verlustärmeren Kabels (H-100) in der Antennenzusammenschaltung und im Sende-zweig noch ein paar zehntel dB an S/N zu gewinnen gewesen wären.

Wie aus der Auflistung der verwendeten Antennen ersichtlich, wurden die Versuche mit zwei verschiedenen Antennengruppen durchgeführt. Es gelangen mit der 4 x 13er Gruppe einige recht interessante transkontinentale Verbindungen. Nach Umbau der Antennenanlage auf eine 4 x 17er Gruppe wurde jedoch eine deutliche Zunahme der zu arbeitenden Stationen registriert.

Abschließend kann gesagt werden, daß EME durchaus auch mit geringerem Aufwand möglich ist und dem experimentierfreudigen Funkamateurl ein breites Betätigungsfeld bietet. Bezüglich Antennengewinn, Sendeleistung, Empfänger-Rauschzahl und -Selektivität hat man jedoch besonders anspruchsvoll zu sein und sollte stets das maximal Mögliche anstreben.

7. LITERATUR

- (1) Earth-Moon-Earth
VHF-Radio Equipment
The ARRL-Handbook
- (2) Everything you want to know about Moon Bounce
Eimac – Division of Varian
301 Industrial Way
San Carlos, California
- (3) Peter Gerber, HB 9 BNI:
Berechnen der Antennenstellung für Messungen kosmischer Radioquellen und EME-Verbindungen
UKW-BERICHTE 25 (1985) Heft 3,
S. 149 - 151
- (4) Carsten Vieland, DJ 4 GC:
Endstufen – wie man sie betreibt
UKW-BERICHTE 25 (1985) Heft 3,
S. 130 - 134
- (4a) UKW-Endstufe mit der Röhre 4 CX 1000 A
Wie (4), Seite 135 - 148
- (5) Dragoslav Dobričić, YU 1 AW:
Super-PA für 144-MHz-EME-Betrieb
UKW-BERICHTE 28 (1988) Heft 1,
S. 10 - 22
- (6) Dragoslav Dobričić, YU 1 AW:
Vorverstärker – Pro und Contra
UKW-BERICHTE 27 (1987) Heft 3,
S. 141 - 153
- (6a) Rauscharmer 144-MHz-Vorverstärker mit Helix-Kreisen
Wie (6), Seite 154 - 163
- (7) Radioastronomie für Amateur-Astronomen
– Seite 161 - 192
Handbuch für Sternenfreunde
Springer-Verlag,
Berlin – Heidelberg – New York
- (8) Günter Hoch, DL 6 WU:
Optimale Stockung von Richtantennen
UKW-BERICHTE 18 (1978) Heft 4,
S. 235 - 242
- (9) Nautisches Jahrbuch
Ephemeriden und Tafeln
Deutsches Hydrographisches Institut –
Hamburg
- (10) The Astronomical Almanach
Her Majesty's Stationary Office
London – England
- (11) Günter Hoch, DL 6 WU:
Bestimmung der Empfindlichkeit von Empfangsanlagen mittels Sonnenrauschen
UKW-BERICHTE 19 (1979) Heft 4,
S. 194 - 200