

# Computereinsatz im Amateurfunk

## Jenseits der Rauschgrenze

Wissen | Hintergrund 29.09.2008 00:00 Uhr Urs Mansmann

Der Einsatz von PC und Soundkarte im Amateurfunk hat zu einer kleinen Revolution geführt. Per DSP lassen sich extrem leise Signale aus dem Rauschen des Funkgeräts herauskratzen, die für das menschliche Ohr nicht mehr wahrnehmbar sind. Das senkt den Aufwand für Sender und Antennen um Größenordnungen. Außerdem nutzen Funkamateure immer häufiger das Internet, etwa zum Datenaustausch in Echtzeit, um die Funkwellenausbreitung zu erforschen.

Auch in Zeiten des Internet hat das Hobby Amateurfunk seinen Reiz noch nicht verloren. Funkamateure können ohne jede Infrastruktur weltweite Verbindungen herstellen; bei Naturkatastrophen sind sie oft die Letzten, die noch Verbindung mit der Außenwelt halten, etwa beim Lawinenunglück im österreichischen Galtür 1999 oder beim Elbehochwasser 2002 in der Region Bitterfeld. Die meisten verwenden immer noch ganz klassisch Morsetaste und Mikrofon, eine wachsende Schar setzt aber neue Übertragungstechniken ein und nutzt dazu einen Computer.



Schon vor Jahrzehnten verwendeten Funkamateure außer der klassischen Morsetelegrafie und Sprechfunk mechanische Fernschreiber zum Austausch von Nachrichten. Zu Beginn setzten sie dazu ausgemusterte kommerzielle Telex-Geräte ein. Anfang der 70er Jahre bekamen die mechanischen Fernschreiber Konkurrenz von Mikroprozessor-Geräten, die zwar anfangs sehr teuer waren, aber aufwendige Wartungsarbeiten überflüssig machten.

Zur gleichen Zeit begannen in Hawaii erste Versuche zur drahtlosen Datenübertragung, die dann bald in die Betriebsart Packet Radio mündeten. Ende der 80er-Jahre gab es in Deutschland bereits ein nahezu flächendeckendes, eng vermaschtes Datenfunknetz und damit verbundene Mailboxen, die einen weltweiten Austausch von persönlichen Nachrichten und Postings in Bulletin Boards ermöglichen.

Bis in die 90er-Jahre setzten Funkamateure den PC meist lediglich als Terminal ein. Spezialisierte Modems mit eigenen Controllern und serieller Schnittstelle erledigten die Aufgabe, Nachrichten zu en- und dekodieren und per Funk zu übertragen. Immer leistungsfähigere PCs mit Soundkarten läuteten dann eine Wende ein: Das Signal wird nun in vielen Fällen vom Empfänger abgegriffen, direkt von der Soundkarte digitalisiert und dann per PC-Software dekodiert, das auszusendende Signal von der Soundkarte erzeugt und in den Mikrofoneingang des Senders eingespeist. Das eröffnete die Möglichkeit, das Uralt-Verfahren Funkfern schreiben, (Radio Teletype, RTTY) zu modernisieren. Traditionell kam dort der Baudot-Code mit 5 Bit, einem Startbit und 1,5 Stoppbits zum Einsatz. Auf der Funkseite werden die einzelnen Bits durch die Umtastung zwischen zwei Tönen mit einer Differenz von 170 Hertz (Frequency Shift Keying, FSK) signalisiert, was recht störanfällig ist.

## Störungsbehebung

Funkamateure entwickelten deshalb fehlerkorrigierende Verfahren, die eine zeitliche Synchronisierung von Sender und Empfänger erfordern. In den 80er-Jahren war das zunächst AMTOR, eine Adaption des von kommerziellen Funkdiensten verwendeten SITOR. Dieses arbeitet wie RTTY mit einer einfachen Frequenzumtastung, überträgt pro Durchgang aber maximal drei Zeichen, welche die Gegenstelle unverzüglich quittiert (Automatic Repeat Request, ARQ). Der Vorgang wird mit einem Zyklus von 450 Millisekunden automatisch wiederholt, bis die Quittung beim Sender korrekt empfangen wurde. Anschließend fährt der Sender mit dem nächsten Datenblock fort; falls keine Daten zur Übermittlung anliegen, wird ein Leer-Frame gesendet.

Der Aufwand für diese Betriebsart war zunächst hoch, passende Controller leisteten sich nur wenige Funkamateure. In vielen Fällen musste obendrein der Sendeempfänger modifiziert werden, um die geforderte schnelle Umschaltzeit zwischen Sende- und Empfangsbetrieb von 35 Millisekunden zu bewerkstelligen, was bei Seriengeräten erst im Laufe der 80er-Jahre Stand der Technik wurde. Dafür konnten die Anwender aber ein Übertragungsverfahren nutzen, das mit Störungen und Signalschwund hervorragend zurechtkam.

Deutsche Funkamateure entwickelten später daraus PACTOR: Längere Datenpakete, Datenkompression und ein verbessertes Fehlerkorrektur- und -erkennungsverfahren sorgen für einen schnelleren und zuverlässigeren Datentransfer, der sogar die Übertragung von Binärdateien ermöglicht.

Die Technik blieb nicht lange konkurrenzlos: Die vom britischen Funkamateur Peter Martinez (Rufzeichen G3PLX) entwickelte Betriebsart PSK31 (Phase Shift Keying, 31,25 Baud) orientiert sich eher am klassischen RTTY. Statt des antiquierten 5-Bit-Codes, wie er bei RTTY zum Einsatz

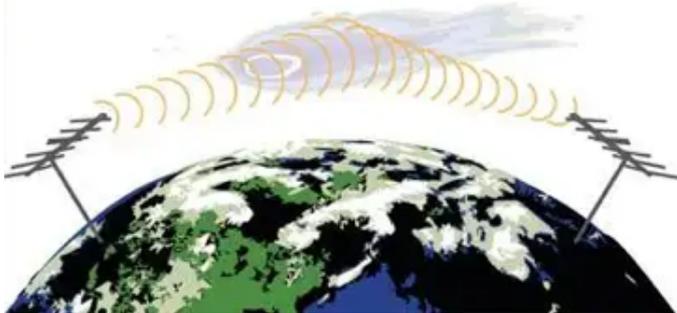


Ständig schlagen Mikrometeoriten in der Ionosphäre ein. Sie verdampfen beim Atmosphäreneintritt und hinterlassen in rund 80 Kilometern Höhe eine ionisierte Spur, die je nach Größe des Meteoriten für Bruchteile von Sekunden bis zu zwei Minuten UKW-Signale reflektiert. Dieser Effekt lässt sich am besten im Amateurfunkband 144 bis 146 MHz nutzen und erlaubt es, Entfernungen von 800 bis 2300 Kilometer zu überbrücken. Um die kurzen Phasen zu nutzen, in denen das Signal auf der Gegenseite ankommt, verwendeten Funkamateure bis 2001 vorzugsweise automatische Morsetelegrafiesender, die mit hoher Geschwindigkeit von üblicherweise 1000 bis 2000 Buchstaben pro Minute die zu übermittelnde Information zyklisch ausstrahlten. Auf der Empfängerseite wurde das Rauschen des Empfängers aufgezeichnet und, sobald das Signal der Gegenstelle zu hören war, stark verlangsamt abgespielt, um die Informationen, die in Sekundenbruchteilen einer Reflexion ankamen, akustisch dekodieren zu können. In der Anfangszeit verwendeten Funkamateure dafür Tonbandgeräte, später Digitalrecorder. Die Stationen sendeten und empfangen im verabredeten Wechsel von 2,5 Minuten.

Mit der neuen, vom US-amerikanischen Funkamateure und Physik-Nobelpreisträger Joseph Hooton Taylor jr. (Rufzeichen K1JT) entwickelten Betriebsart FSK441 verringert sich der Aufwand erheblich. Man benötigt dazu lediglich einen halbwegs modernen PC mit Soundkarte, der mit dem Sendeempfänger verbunden wird und die passende Software, die auch im Quelltext veröffentlicht ist. Die zu übertragende Information wird in einem deutlich schnelleren Zyklus ausgestrahlt, der ungefähr 9000 Zeichen pro Minute entspricht. Das empfangene Signal erscheint im Auswertungsprogramm fortlaufend in einem Wasserfall-Diagramm, das Dekodieren lässt sich per Mausklick auf eine Partie mit einem empfangenen Signal auslösen.

Sender und Empfänger wechseln die Rollen nun alle 30 Sekunden, was eine präzise Synchronisierung der Systemzeit per Funkuhr erfordert. Statt in einer halben Stunde ist eine solche Verbindung daher mit ein wenig Glück in wenigen Minuten abgewickelt. Obendrein lassen sich durch die extrem hohe Übermittlungsgeschwindigkeit auch sogenannte Pings, also kurze Reflexionen von einer oder wenigen Zehntelsekunden, ausnutzen, die zuvor für eine komplette Übertragung von Rufzeichen und Empfangsbericht oft nicht ausreichten. FSK441 verdrängte aufgrund der zügigeren und bequemerer Abwicklung und des geringeren Hardware-Aufwands die Morsetelegraphie innerhalb nur eines Jahres fast vollständig und sorgte für weiteren Zulauf von Interessierten.

Der PC revolutionierte auch die Kommunikation mit extrem schwachen Signalen. Einige Funkamateure nutzen etwa den Mond als Reflektor für UKW-Signale und können damit weltweit Verbindungen aufbauen, der Ausbreitungsweg wird als EME (Erde-Mond-Erde) bezeichnet. Die lange Funkstrecke – immerhin müssen die Signale mindestens 730 000 Kilometer zurücklegen,



Auf UKW lassen sich Funkverbindungen mit Hilfe von Mikrometeoriten herstellen. Die Funkwellen werden an deren ionisierter Spur gebeugt und zur Erdoberfläche zurückgeworfen.

obendrein ist der Mond kein idealer Reflektor – macht allerdings den Einsatz hoher Sendeleistungen, extrem empfindlicher Empfänger und sehr großer Antennenanlagen erforderlich.

Bis Ende der 90er Jahre wickelten Funkamateure solche Verbindungen in Telegrafie ab. Typischerweise benötigten sie dazu auf 144 MHz eine Anordnung von mindestens vier auf den Mond gerichteten Antennen mit jeweils acht bis zehn Metern Länge und einen Sender, der das in Deutschland geltende Limit von 750 Watt vollständig ausreizt, um bei einer ähnlich aufwendig ausgerüsteten Gegenstelle gerade eben noch empfangen werden zu können.

Der nötige Aufwand für die Sende- und Empfangsanlage ist enorm gesunken: Das ebenfalls von Taylor jr. entwickelte Verfahren JT65 kratzt per DSP Signale aus dem Rauschen, die für das menschliche Ohr nicht mehr wahrnehmbar sind. Gegenüber der Telegrafie verbessert sich der Störabstand des Signals um rund 10 bis 15 dB; bei ansonsten gleichen Parametern ist also nur noch ungefähr ein Zehntel bis Dreißigstel der Sendeleistung erforderlich, sodass Sender und Antennenanlage deutlich kleiner ausfallen dürfen. Der verringerte Aufwand führte zu einem kleinen Boom: Auch Besitzer von Reihenhäusern, die auf ihrem kleinen Grundstück keinen Platz für Riesenantennen haben, können nun EME-Verbindungen abwickeln.

Funkamateure in den USA berichten über EME-Verbindungen auf 50 MHz, was zuvor wegen der dafür benötigten riesigen Antennenanlage, die rund dreimal so groß ausfallen muss wie für 144 MHz, für die meisten Funkamateure außerhalb der technischen und finanziellen Möglichkeiten lag. Nun genüge eine einzelne, 15 Meter lange Richtantenne und eine Ausgangsleistung von 400 Watt für problemlose EME-Verbindungen, berichtet Lance Collister (Rufzeichen W7GJ) aus dem US-Bundesstaat Montana enthusiastisch auf seiner Webseite. Deutsche Funkamateure sind in diesem Spiel gesperrt: Hierzulande sind auf 50 MHz nur 25 Watt Ausgangsleistung zulässig.

## Schwache Signale auf Kurzwelle

Die Schwachsignalkommunikation schwappt nun auch auf die Kurzwelle über. Dort gelingen interkontinentale Verbindungen ohnehin mit geringem Aufwand. Unter günstigsten Umständen

reicht eine Sendeleistung von nur wenigen hundert Milliwatt, um eine Entfernung von mehreren tausend Kilometern zu überbrücken.

Allerdings klappt das nur selten; die Funkbedingungen auf Kurzwelle sind wechselhaft, sie ändern sich im Verlauf der Tages- und Jahreszeiten stark und sind abhängig von der auf der Sonne herrschenden Aktivität. Derzeit sind die Bedingungen eher schlecht, denn die Sonne befindet sich im Minimum ihres 11-jährigen Aktivitätszyklus. Mit JT65 lassen sich mit kleinen Leistungen und Behelfsantennen trotzdem täglich weltweit Verbindungen herstellen.

Funkamateure betreiben von jeher ein dichtes Bakennetz, um sich einen schnellen Überblick über die gegenwärtigen Ausbreitungsbedingungen verschaffen zu können. Funkbaken strahlen ihr Signal und eine Kennung rund um die Uhr aus, dafür sind auf den Amateurfunkbändern eigene Bereiche reserviert, in denen der normale Sendebetrieb unerwünscht ist. Auf diese Weise lassen sich beispielsweise Überreichweiten auf UKW oder Bandöffnungen auf Kurzwelle schnell erkennen. Eine automatische Auswertung ist allerdings schwierig.

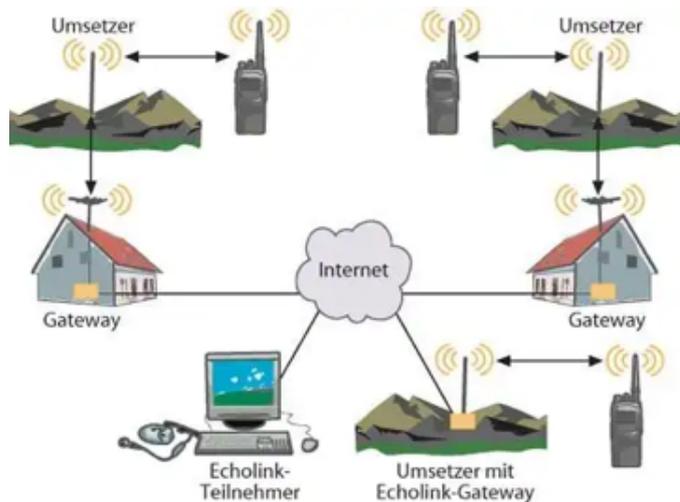
Die eigentlich für EME-Verbindungen konzipierte Betriebsart JT65 ergänzt dieses Netz in einer speziellen Adaption um eine neue Variante: Funkamateure haben im Internet das Report-System „WSPR“ (Weak Signal Propagation Reporter, gesprochen Whisper, zu deutsch Flüstern) geschaffen, das mit zahlreichen Teilnehmern arbeitet. Diese benötigen lediglich die WSPR-Software, eine Kombination aus PC und Funkgerät und einen Internetanschluss. WSPR ist primär als Bakensystem geschaffen worden, erlaubt aber in der neuesten Version auch direkte Verbindungen. Das ausgesendete Signal belegt lediglich 5,9 Hz Bandbreite und ermöglicht ein Dekodieren bis zu einem Signal-Rauschverhältnis von  $-32$  dB.

Die Teilnehmer am Bakensystem lassen ihren Empfänger auf einer zuvor verabredeten Frequenz laufen und melden jedes dort empfangene Rufzeichen an eine Datenbank im Internet. Ein Zufallsgenerator sorgt dafür, dass jeder Teilnehmer, der auch über einen Sender verfügt, ab und an selbst ein Bakensignal produziert. Die Ergebnisse dieses Monitorings lassen sich ständig aktualisiert in Listenform und auf einer Weltkarte abrufen. Das Mitmach-Bakennetz bietet einen schnellen Überblick über sogenannte Bandöffnungen, also interkontinentale Funkstrecken, die sich aktuell nutzen lassen. Das wird aber auch auf lange Frist die Bakensender nicht ersetzen, die zwar weniger Information bieten, dafür aber eine Referenz darstellen, denn sie sind rund um die Uhr zuverlässig in Betrieb.

## Funk per Internet

Auch die Kommunikation der Funkamateure untereinander läuft inzwischen bisweilen übers Internet. Echolink ermöglicht durch ein VoIP-Netzwerk weltweite Verbindungen. „Funk“-

Gespräche von PC zu PC sind dabei aber eher die Ausnahme; auch Funkamateure greifen dafür lieber auf Standardverfahren wie Instant Messaging zurück. Echolink wird in Deutschland meist dazu eingesetzt, lokale UKW-Umsetzer miteinander zu verbinden (siehe Grafik). Die Nutzer können das Echolink-Gateway, das die Verbindung zwischen Internet und Funknetz darstellt, per DTMF-Tönen über ihr Funkgerät steuern und auf diese Weise zwei Umsetzer zusammenschalten. So lassen sich mit einem zigaretenschachtelgroßen Handfunkgerät weltweite Funkverbindungen herstellen, denn auch beispielsweise in den USA und Australien sind Umsetzer an das Echolink-Netzwerk angeschlossen.



Amateurfunk-Umsetzer auf der ganzen Welt lassen sich per Echolink zusammenschalten und ermöglichen so weltweite Verbindungen mit einer Minimalausrüstung.

(FM). Seit kurzem nutzen Funkamateure aber auch den neuen, digitalen Übertragungsstandard D-Star. Der geriet in die Kritik, weil er einen patentierten und proprietären Codec einsetzt. Nachdem zunächst nur kommerzielle Geräte verfügbar waren, vertreibt seit kurzem die Fachzeitschrift „Funkamateure“ einen Bausatz, mit dem sich gängige FM-Geräte nachrüsten lassen. Der ist allerdings mit 235 Euro so teuer, dass D-Star für die meisten Funkamateure unattraktiv bleibt.

Das digitale Signal übermittelt nicht nur Sprache, sondern auch optional zusätzliche Informationen, etwa den aktuellen Standort im Mobilbetrieb oder Routing-Informationen für die Weiterleitung des Signals an einen anderen Umsetzer. Daneben verfügt D-Star noch über einen Datenmodus, über den sich auch beispielsweise Bilder übertragen lassen. Wie bei Echolink lassen sich D-Star-Umsetzer miteinander über das Internet verbinden.

Auf Kurzwelle gibt es zwar schon seit Jahren zahlreiche Versuche mit digitaler Sprachübertragung, etwa mit einer schmalbandigen Adaption des Übertragungsverfahrens

Echolink ist ein geschlossenes System, das nur Funkamateuren mit gültiger Zulassung offensteht. Zur Teilnahme verlangen die Organisatoren eine Kopie der Genehmigungsurkunde, um Missbrauch auszuschließen. Das ist notwendig, da die Teilnehmer ja Zugriff auf Amateurfunkgeräte erhalten – ohne gültige Amateurfunkzulassung ist das explizit verboten.

## Digitale Sprache

Für lokale Verbindungen auf UKW setzen Funkamateure bislang auf die seit Jahrzehnten unveränderte analoge Frequenzmodulation

Digital Radio Mondiale (DRM). Es ist aber noch kein Verfahren in Sicht, das die seit Jahrzehnten etablierte Einseitenbandmodulation (SSB) tatsächlich ablösen könnte. Digitale Modi versprechen zwar eine bessere Tonqualität – das aber ist für Funkamateure weniger interessant. Erst wenn ein digitales Signal einen besseren Störabstand als ein analoges bietet und dabei idealerweise obendrein weniger Bandbreite belegt, wird es für Funkamateure spannend.

Auch das Drumherum des Amateurfunks nutzt zunehmend das Internet. Die Verbindungs-Logbücher für Funkwettbewerbe etwa müssen inzwischen durchweg per E-Mail eingereicht werden. Bis in die späten neunziger Jahre geschah das oft noch in Papierform. Die Prüfung, ob alle Verbindungsdaten richtig erfasst wurden, geschieht anhand eines Abgleichs der eingereichten Daten inzwischen automatisch.

Besonders rare und daher gesuchte Funkpartner, etwa aus Ländern mit wenig aktiven Funkamateuren, auf entlegenen Inseln oder auf Hochseeschiffen, werden in einem eigenen System publiziert, dem DX-Cluster. Das existierte früher nur im Packet-Radio-Netz, ist aber inzwischen auch ans Internet angeschlossen. Die vielen Teilnehmer im Cluster sorgen dafür, dass interessante Funkpartner förmlich überrannt werden, sobald der erste Eintrag mit deren Rufzeichen und Frequenz online steht.

Und selbst die obligatorische Bestätigungskarte (QSL) kommt inzwischen aus dem Web: Eine israelische Firma bietet Karten im Vierfarbdruck an, die Vorlagen dazu kann jeder Kunde selber erstellen, hochladen und jederzeit ändern. Die per Internet übermittelten Verbindungsdaten druckt das Unternehmen in die Karte ein und versendet sie an die Amateurfunkclubs in aller Welt, die sie wiederum kostenlos an ihre Mitglieder verteilen. Dabei liegt der Preis pro Karte gleichauf mit dem der seit fast 90 Jahren üblichen Blanko-Vordrucke, die bisher immer noch oft mühsam und zeitraubend von Hand ausgefüllt werden. (**uma [1]**)

---

## Amateurfunk

Der Amateurfunk ist ein von der Internationalen Fernmeldeunion (ITU) anerkannter Funkdienst, dem weltweit zahlreiche Frequenzbänder von Langwelle bis in den Gigahertz-Bereich hinein für die Nutzung zugewiesen sind.

Funkamateure müssen zunächst eine Genehmigung erwerben, bevor sie ohne Aufsicht einen Sender in Betrieb nehmen dürfen. Die dafür notwendige Prüfung umfasst Kenntnisse in den Bereichen Technik, Betriebstechnik und Vorschriften. Nach deren Bestehen erhalten Funkamateure ein individuelles Rufzeichen aus Buchstaben und Zahlen zugewiesen, aus dem das Land hervorgeht. In vielen Ländern ermöglicht das Rufzeichen darüber hinaus eine regionale

Zuordnung. Oft enthält es zusätzliche Informationen über die Lizenzklasse des Inhabers.

Funkamateure dürfen Geräte selbst bauen und gekaufte Geräte modifizieren. Auf eine Zulassung oder Prüfung der Geräte wird verzichtet, da der Funkamateur ja in seiner Prüfung einen Sachkundenachweis erbracht hat. Funkamateure gibt es in fast jedem Land der Erde, lediglich in einigen Diktaturen wie Nordkorea oder Turkmenistan ist der Amateurfunk verboten.

Im Amateurfunk sind Diskussionen über Politik und Religion tabu. Kommerzielle Dienste und Werbung sind verboten, Zugangsbeschränkungen oder zwangsweise Kostenbeteiligungen für Umsetzer oder Gateways nicht zulässig. Solche Stationen werden meist über freiwillige Spenden, mitunter auch von einzelnen Enthusiasten finanziert. Eine effektive Selbstverwaltung stellt weltweit sicher, dass die zugewiesenen Frequenzbänder möglichst ökonomisch genutzt und gegenseitige Störungen minimiert werden. Ein großes Problem für den Amateurfunk sind aber kommerzielle, staatliche und militärische Funkstellen, die den Funkamateuren zugewiesene Frequenzen widerrechtlich nutzen und damit oft massive Störungen verursachen.

---

## Funkverbindungen

Für Funkamateure gilt eine Funkverbindung dann als erfolgreich, wenn in beide Richtungen mindestens die Rufzeichen der beteiligten Stationen sowie ein Empfangsbericht erfolgreich übermittelt und die Quittung darüber von der Gegenstelle empfangen wurde. Der Empfangsbericht besteht in der Regel aus einem oder mehreren Ziffern oder Buchstaben, die einem vereinbarten System folgen. Er enthält je nach Betriebsart unterschiedliche, spezifische Informationen über Lesbarkeit, Stärke und Qualität des empfangenen Signals. Häufig übermitteln Funkamateure noch weitere Informationen, etwa Namen und Standort, eine Beschreibung der verwendeten Geräte oder einen Wetterbericht. Diese Informationen sind aber unerheblich für eine erfolgreiche Verbindung, daher wird zu Beginn einer Verbindung meist als Erstes der Empfangsbericht ausgetauscht und notiert, bevor ein ausgedehnterer Plausch beginnt.

---

### URL dieses Artikels:

<https://www.heise.de/-291744>

### Links in diesem Artikel:

[1] <mailto:uma@ct.de>

*Copyright © 2008 Heise Medien*