

Aus der Entwicklung des Einseitenbandfunks

AUTOR



RUDOLF GRABAU
Much
Tel. 02245 3471

Gut 80 Jahre sind vergangen, seit erstmals erfolgreich eine Einseitenband-Sprechfunkverbindung zwischen Ame-

rika und Europa erprobt wurde. Dieses Ereignis erscheint uns noch heute auf den ersten Blick revolutionär und zukunftsweisend. Dieser Eindruck muss jedoch bei näherer Betrachtung wenigstens relativiert werden – wodurch allerdings Wagemut und technisches Können der Beteiligten beileibe nicht abgewertet werden sollen.

Neu war auch für den Verfasser dieses Beitrags, welche engen technischen und betrieblichen Verknüpfungen es zwischen der Entwicklung von Funk- und Weitverkehrstechnik gegeben hat – weswegen der Inhalt des nachfolgenden Beitrages ausführlicher geworden ist als ursprünglich gedacht.

Mehrfachausnutzung durch Trägerfrequenztechnik

Der Gedanke, gleichzeitig mehrere Frequenzbänder auf einer Leitung zu übertragen, entstand schon frühzeitig, zunächst allerdings für Telegrafiezwecke. So machte 1886 ELISHA GREY den Vorschlag, Wechselströme unterschiedlicher Frequenz zu tasten und gemeinsam auf eine Leitung zu geben, dem Empfang sollten mechanisch abgestimmte Empfänger dienen oder elektrische Resonanzkreise (nach einer Anregung von PUPIN in 1895). Die ersten Versuche, auch Sprache auf diesem Wege zu übertragen, unternahm der Berliner Physiker RUHMER in den Jahren 1908 bis 1911, und zwar durch Einsatz der inzwischen entwickelten Funktelefoniegeräte (mit Poulsen-Lampen und Kristalldetektoren) über Drahtleitungen. Gleichzeitig begann man auch in Amerika mit ähnlichen Arbeiten. Die Untersuchungen und Versuche wurden in beiden Ländern auch während des Ersten Weltkrieges fortgesetzt. Im Jahre 1919 ist dann die erste Dreifach-Telefonielinie zwischen Berlin und Hannover erprobt und einige Zeit später in Betrieb genommen

worden. Etwa zeitgleich, 1918 wurde in den USA das erste kommerzielle „wire carrier telephone system“ durch die Western Electric Company in Dienst gestellt.

Aus diesen ersten Versuchen entwickelte sich das Trägerfrequenzverfahren: Dabei werden zunächst die Sprachfrequenzen zwischen etwa 300 und 3000 Hz mit einer festen Trägerfrequenz gemischt. Von den dabei entstehenden Seitenbändern wird eines herausgefiltert, das zweite unterdrückt. Verwendet man Trägerfrequenzen unterschiedlicher Höhe (bei Sprachfrequenzen zumeist im Abstand von 4000 Hz), so lassen sich die ausgewählten Seitenbänder frequenzmäßig übereinander staffeln. Bei diesem sogenannten Frequenzmultiplexverfahren können also beispielsweise vier Sprachfrequenzbereiche (Kanäle) im Frequenzbereich 0 ... 16 kHz (4 x 4 kHz) gleichzeitig übertragen werden, ohne sich gegenseitig zu stören (Bild 1).

Die Reichweiten der zunächst betriebenen Kabelverbindungen steigerte man in den 20er Jahren durch Pupinisierung (Kompensation der Kabelkapazität durch zusätzliche Induktivität), wobei sich allerdings die Übertragungsbandbreite verringerte und bei Telefonie Echoerscheinungen auftraten. So musste man lange Zeit die trägerfrequente Mehrfachausnutzung in den deutschen Fernkabelnetzen auf Zweibeziehungsweise Vierbandssysteme begrenzen. Seitdem ist die Trägerfrequenztechnik allerdings ständig weiterentwickelt worden und erreichte in der Fernsprech- und Fernschreib-Weitverkehrstechnik weltweit eine überragende Bedeutung [23, 25].

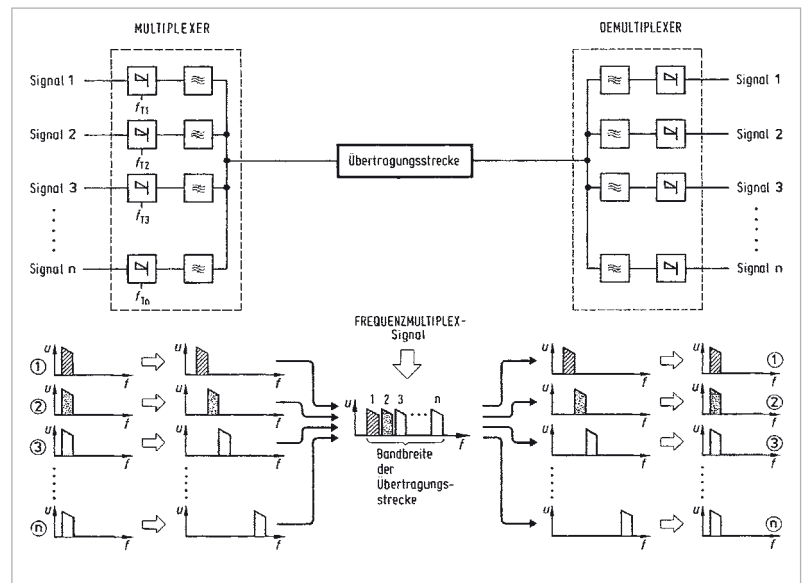
Einen erneuten Anstoß zur Weiterentwicklung erhielt die Frequenzmultiplextechnik in Deutschland etwa 1934 durch die Aufgabe, Fernsehsendungen über große Entfernungen per Kabel zu übertragen, und zwar mit einer Bandbreite von 4,4 MHz mit Unterlagerung von 200 Sprechkanälen im Bereich bis 960 kHz – anfangs war auch geplant, Fernsehsendungen per Drahtfunk zu verbreiten. Auf dieser Basis entwickelten sich die späteren Normen für den (analogen) drahtlosen Fernsehrundfunk, bei dem das Bild auch heute noch in Einseitenbandmodulation übertragen wird.

Bis Mitte der 70er Jahre lag der Schwerpunkt der Vielfachausnutzung von Draht- und Richtfunkverbindungen weltweit bei der Frequenzmultiplextechnik. Diese (analoge) Technik der frequenzparallelen Mehrfachausnutzung hatte sich also gegenüber technischen Vorschlägen und Lösungen durchgesetzt, die eine zeitliche Übertragungsfolge angestrebt hatten (Beispiele: 1853 FARMER – Zeitliche Staffelung von Morsesignalen; 1874 BAUDOT – Zeitsynchrone Aufschaltung von sechs Telegrafiesignalen; 1903 MINER, BAUDOT – Kommutator zur Aufschaltung mehrerer Telefonesignale). Bahnbrechend für die spätere Anwendung der konkurrierenden Zeitmultiplexverfahren war 1939 das Patent des Engländers REEVES, der eine neue digitale Sprachmodulation beschrieb, die Puls-Code-Modulation. Es sollte aber noch 30 Jahre dauern, bis nach Entwicklung der erforderlichen Halbleiter- und Datentechnik 1968 die PCM als zukünftige Norm von der CEPT eingeführt wurde. 1971 begann die Deutsche Bundespost mit der Umrüstung ihrer Weitverkehrsnetze, 1982 wurde hier das digitale Übertragungssystem als Regeltechnik eingeführt und damit endgültig das Ende der Frequenzmultiplexübertragung in öffentlichen Netzen eingeleitet.

Transatlantische Nachrichtenübertragung über Seekabel

Schon lange gab es neben Freileitungen auch Kabelverbindungen, die zunächst mit Morsetelegrafie betrieben wurden, später auch über nicht allzu große Entfernungen mit Schreibtelegrafen unterschiedlicher Bauart. WERNER SIEMENS hatte 1848 Drahtleitungen mit Guttapercha isoliert und zunächst als Minenzündleitungen im Kieler Hafen verlegt. Als dies erfolgreich verlaufen war, strebte er die Verlegung eines Seekabels zwischen Dover und Calais an, erhielt aber dafür zunächst keine Genehmigung britischer Regierungsstellen, die bereits durch eine britische Firma im Mittelmeerraum Seekabel verlegen ließen. So ist das erste Siemens-Seekabel 1853 im Auftrag der russischen Regierung zwischen Oranienbaum, der Vorstadtresidenz am Finnischen Meerbusen, und Kronstadt (St. Petersburg) verlegt worden. 1865/66 wurde von einer britischen Gesellschaft das erste Transatlantikkabel verlegt.

Eines der Hauptprobleme damaliger (und sehr langer) Seekabel war deren schmale Übertragungsbandbreite. Das erste transatlantische Seekabel gestattete nur die Übertragung einer



Frequenz von 1,8 Hz, in den folgenden Jahren konnte eine Verbesserung auf 8-12 Hz erreicht werden, aber auch dies erlaubte nur langsame (Morse-)Telegrafie. Durch Verbesserung der Kabelqualität und Kompensation der kabelinternen Kapazität ist zwar bis 1924 die Bandbreite so gesteigert worden, dass transatlantisch 60-70 Hz übertragen werden konnten, aber auch das ließ eine Sprachübertragung nicht zu – geschweige eine Telefonie-Mehrfachausnutzung mittels Trägerfrequenztechnik. Immerhin konnte 1928 der unmittelbare Mehrfach-Druckbetrieb Emden-New York aufgenommen werden. So war es Anfang der 20er Jahre nicht allein die inzwischen erkannte Reichweite und Flexibilität der Funkverbindung, sondern auch die nunmehr technisch beherrschte Funkentelefonie, die eine transatlantische Fernsprechverbindung erreichbar erscheinen ließ. Denn erst sehr viel später, nämlich 1956(!), waren Kabel und Verstärker so weit entwickelt, dass in diesem Jahr das erste Transatlantik-Fernsprechkabel zwischen Schottland und Neufundland verlegt und in Betrieb genommen werden konnte [10].

Erste transatlantische drahtlose Einseitenbandübertragung

So war es zu Beginn der 20er Jahre durchaus nicht so visionär, wie es heute zunächst erscheint, die interkontinentale Übertragung niederfrequenter Signale auch drahtlos über Funkverbindungen zu erproben, allerdings bedurfte es dazu unter damaligen Verhältnissen eines nicht unbeträchtlichen technischen Aufwands. Die ETZ berichtet darüber

Bild 1:
Trägerfrequenz-Übertragung.

PCM (Puls-Code-Modulation): PCM ist eine Modulationsform, bei der ein analoges Signal codiert wird. Das analoge Signal wird mit einer bestimmten Frequenz in zeitgleichen Abständen abgetastet.

wikipedia.org

CEPT (Conférence Européenne des Administrations des Postes et des Télécommunications): Die CEPT (Europäische Konferenz der Verwaltung für Post und Telekommunikation) ist eine Dachorganisation zur Zusammenarbeit der Regulierungsbehörden aus 46 europäischen Staaten.

wikipedia.org

im März 1924 (Auszug, vgl. Bild 2): „Im Jahre 1923 wurde unter Beteiligung von Ingenieuren der American Telephone and Telegraph Company, der Western Electric Company und der Radio Corporation of America Versuche mit der drahtlosen Telephonie von den Vereinigten Staaten nach England vorgenommen. Der Sender befand sich auf der Station Rocky Point, L.J., der Empfänger im Gebäude der Western Electric Company in New Southgate. Bei diesen Versuchen wurde ein neues Verfahren, Die

te wurde ein Rahmen (quadratisch, 1829 mm Seitenlänge, 46 Windungen) benutzt. Die Empfangsapparatur ist ebenfalls mit zwei Hilfssendern und Sperrkreis ausgerüstet. Das vom Sender kommende Frequenzband von 55.800 bis 58.500 Per wird zuerst mit einem Hilfsstrom von 99.000 Per überlagert. Das eine sich hieraus bildende Frequenzband von 31.500 bis 34.200 Per wird mittels des Sperrkreises ausgesiebt, verstärkt und dann mit einem Hilfsstrom von 34.500 Per nochmals überlagert. Man erhält nun die ursprüngliche Sprachfrequenz von 300 bis 3000 Per, die über einen Verstärker dem Telefon zugeführt wird.“ [1]

Es wurde also bereits eine Methode verwendet, die man später als „Filtermethode“ bezeichnete und die sich einmal zum Standard für Einseitenbandsendungen entwickeln sollte – allerdings musste wegen der Sperrkreis-Filter geringer Flankensteilheit zweimal überlagert und gefiltert werden, außerdem fehlt wegen Festfrequenzbetrieb eine Vorrichtung zur Veränderung der Sendefrequenz.

Der Versuch basierte auf dem Patent von JOHN R. CAR-

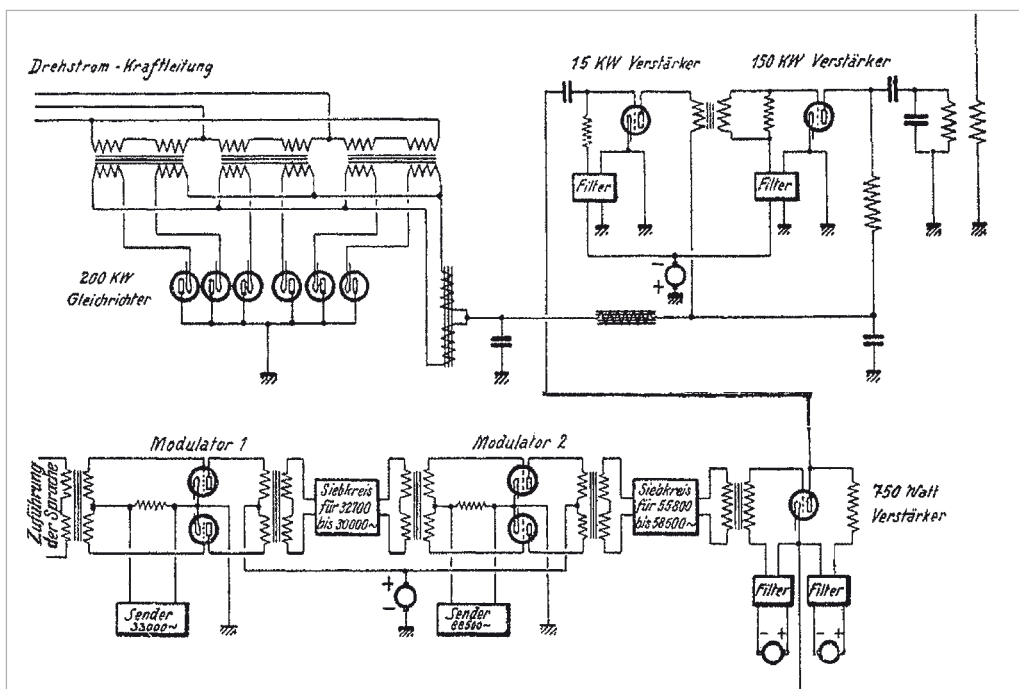
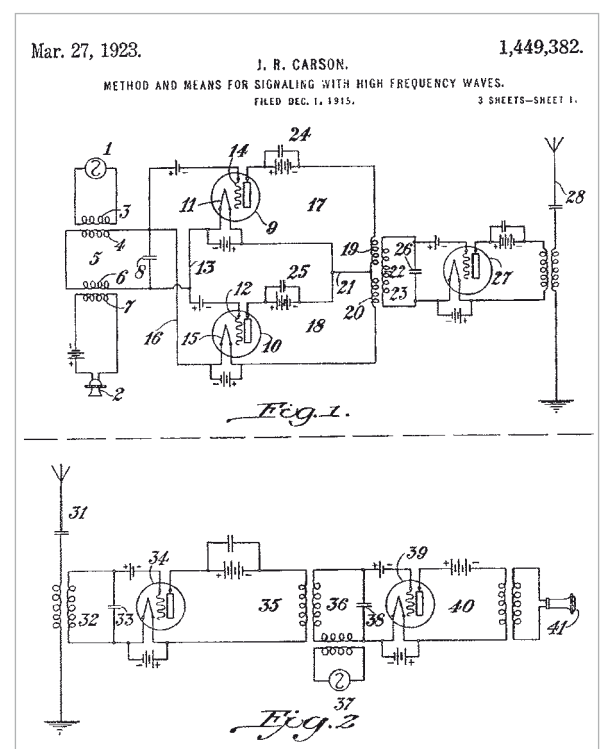


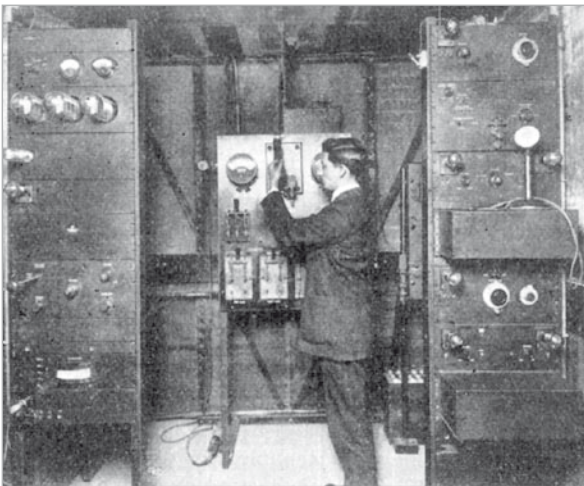
Bild 2:
Schaltbild
des Senders,
nach [1].

Einfach-Seitenband-Methode mit unterdrückter Trägerwelle' (Single side-band eliminated carrier method) benutzt. Das Schaltbild dieser Sendeanordnung zeigt die Abbildung (Bild 2): Der ankommenden Sprache werden durch zwei Hilfssender die Frequenzen 33.000 Per und 88.500 Per überlagert und unter Zuhilfenahme von Sperrkreisen jeweils nur ein Seitenband der entstehenden Frequenzen weitergeleitet. Das letzte Frequenzband von 55.800 bis 58.500 Per wird dann verstärkt der Antenne zugeführt. Da eine Rückkopplung am Sender nicht vorhanden ist, wird also nur während der Sprechperioden Energie ausgestrahlt und zwar mit einer mittleren Frequenz von 57.000 Per (Wellenlänge 5260 m). Der Verstärker besteht aus drei Stufen zu 0,75, 15 und 150 kW, die beiden letztgenannten haben Metallröhren (zwei beziehungsweise 20 Stück) mit Wasserkühlung für 10.000 V Anodenspannung, die von einem mit ähnlichen Röhren (sechs Stück) versehenen Gleichrichter (200 kW), der am Drehstromnetz liegt, geliefert wird. Auf der Empfangssei-

Per: Steht für
Periode(n) und
wurde in der
Elektrotechnik
vor der
verbindlichen
Festlegung von
Hz verwendet.

Bild 3:
Patent von
JOHN R. CAR-
SON, nach [8].





SON (Bild 3). Derselbe CARSON hatte die Existenz von Seitenbändern 1915 mathematisch errechnet, aber die erste Notiz über einen Träger mit zwei Seitenbändern ober- und unterhalb davon stammt von CARL R. ENGLUND aus dem Jahre 1914. H. D. ARNOLD bemerkte 1915 bei Versuchen der US Navy, dass beide Seitenbänder dieselbe vollständige Information enthielten, aber es war wiederum CARSON, der bei Modulationsversuchen mit Elektronenröhren erkannte, dass weder Träger noch das zweite Seitenband erforderlich waren, um die aufmodulierte Information vollständig zu übertragen. Er reichte daraufhin 1915 seine Patentschrift ein, das Patent wurde 1923 erteilt. Obwohl also ab 1915 die reale Existenz von Seitenbändern bekannt war, wurde noch jahrelang behauptet, sie seien nur eine mathematische Fiktion. Die erste Publikation über die Seitenband-Anwendungen bei Funkübertragung wurde 1922 von ESPENSCHIED veröffentlicht. Die Entwicklung neuer wassergekühlter Leistungsröhren unmittelbar nach Ende des Ersten Weltkrieges schuf die Voraus-

setzungen für den Bau des oben beschriebenen Versuchssenders durch die Firma Bell (Bilder 4 und 5).

Methoden für Einseitenbandmodulation

Es gibt zwei vorzugsweise benutzte Methoden zur Erzeugung von Einseitenbandsendungen:

- Filtermethode (Bild 6 oben): Dabei wird der radiofrequente Träger mit einem Basisbandsignal (welches die niederfrequente Nachricht enthält) moduliert, anschließend werden alle Mischprodukte mit Ausnahme eines Seitenbandes unterdrückt.
- Phasenmethode (Bild 6 unten), entwickelt von HARTLEY: Radiofrequenter Träger und ein Seitenband werden durch eine Anordnung von zwei Modulatoren ausgelöscht, wobei einem davon ein um 90 Grad phasenverschobenes Basisbandsignal zugeführt wird.

Bei einer sogenannten „Dritten Methode“ handelt es sich um eine Variante der Phasenmethode: Das Basisband wird in zwei um 180 Grad versetzte NF-Kanäle aufgesplittet, die mit zwei ebenfalls um 180 Grad gegensätzlichen Trägersignalen gemischt und dann wieder zusammengeführt werden. Allgemein durchgesetzt hat sich (wie bei der Trägerfrequenztechnik) die Filtermethode wegen ihrer größeren Betriebssicherheit – Voraussetzung dafür war allerdings die Verfügbarkeit stabiler Oszillatoren sowie geeigneter Filter großer Flankensteilheit. Die Phasenmethode benötigte nur allgemein verfügbare Bauelemente der Röhrentechnik, war allerdings wegen der erforderlichen Phasenstabilität schwierig aufzubauen und abzugleichen – und daher weniger betriebssicher.

Hauptvorteile des Einseitenbandverfahrens sind Leistungsersparnis beim Sender bei gegebener Empfangslautstärke sowie Bandbreitensparnis, die neben einer Verdopplung der Übertragungskapazität auch eine Verminderung von Störeinwirkungen mit sich bringt. Leistungsmäßig der beste Fall ist eine völlige Trägerunterdrückung, aber bei dem damaligen Stand der Technik wäre dazu (bei unbedienten Empfangsan-

Bild 4:
*Einseitenband-Steuer-
sender der
Firma Bell,
nach [8].*

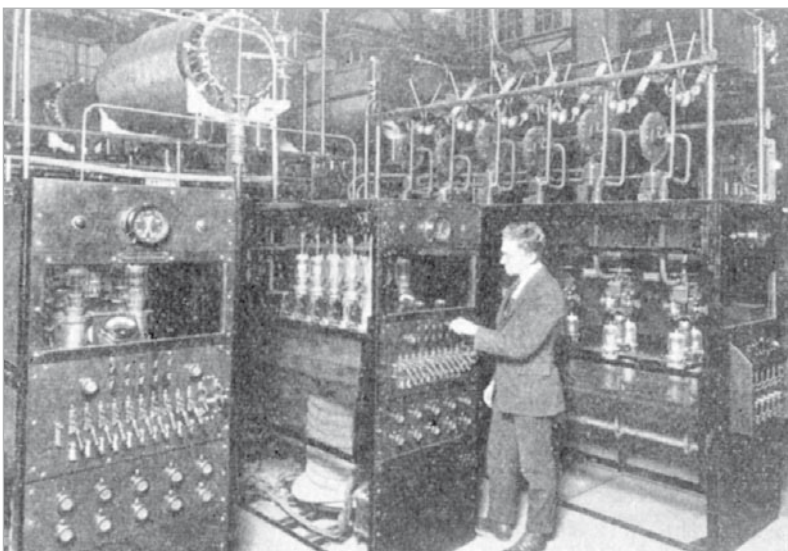


Bild 5:
*Zwei Gestelle der Sender-
endstufe
(links) und der Haupt-
Gleichrichter
(rechts),
nach [8].*

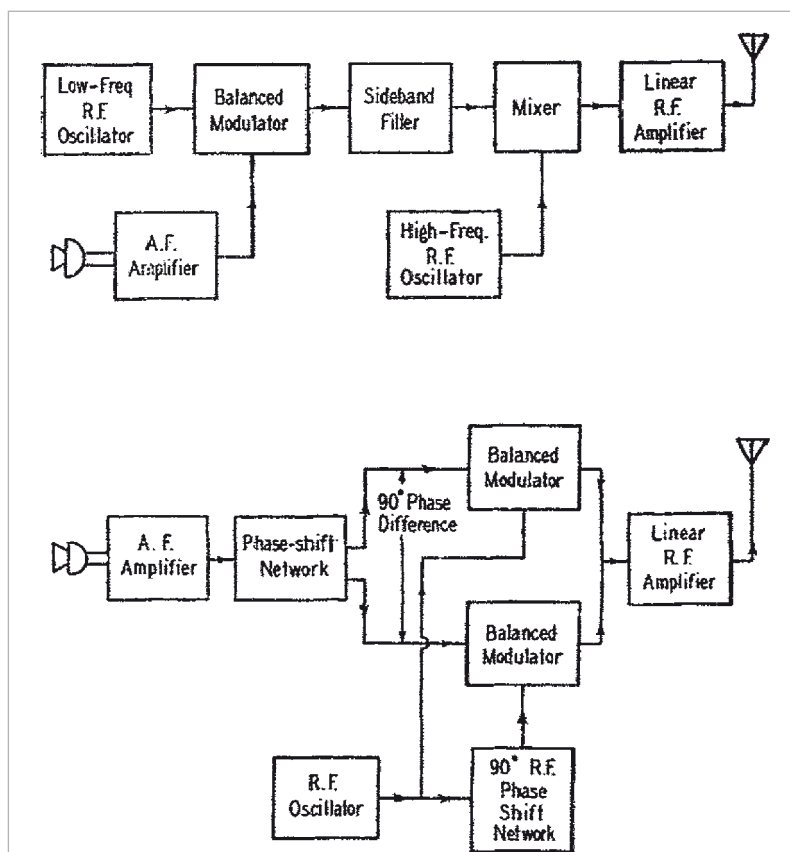


Bild 6:
Verfahren
der Einseiten-
band-Modu-
lation (oben
Filterung,
unten Pha-
senmethode).

lagen) Quarzsteuerung erforderlich gewesen, und man hätte keine durchstimmbaren Empfänger verwenden können. Als unumgänglich nötig für Einseitenbandbetrieb im Kurzwellenbereich war damals also eine Leitfrequenz, die dauernd ausgesendet und zur Nachstimmung des Empfängers verwendet wird. Bei dem dann entwickelten Einseitenbandbetrieb mit vermindertem Träger wird daher ein Trägerrest von 30% ausgestrahlt, was etwa 10% der gesamten Sendeleistung ausmacht.

Kommerzielle und öffentliche Funkdienste der USA

Die erste transatlantische Einseitenband-Fernsprechverbindung ist Anfang 1927 zwischen New York und London für kommerzielle Zwecke in Betrieb genommen worden; über diese konnte man auch von Deutschland aus telefonieren (bis London über Kabel). Anfangs wurden hierzu ausschließlich Langwellen verwendet. Funkamateure hatten aber bereits 1923 mit einer Verbindung über den Atlantik nachgewiesen, dass Kurzwellenverbindungen hierfür verlässlich nutzbar seien (Zweiseitige Morseverbindung FRED SCHNELL, 1MO, und REINARTZ, 1XAM, in den USA mit LÉON DELOY, 8AB, in Frankreich auf einer Wellenlänge

von 110 m). Bald danach eröffnete man daher auch diesen Frequenzbereich für die Übertragung von Ferngesprächen. In den USA wurden Anfang der 30er Jahre etliche kommerzielle point-to-point-Einseitenbandverbindungen auf quarzkontrollierten Festfrequenzen errichtet. Bei neueren Transatlantik-Verbindungen über Kurzwellen arbeitete man zunächst wieder mit Doppelseitenband und vollem Träger, ab 1936 sind diese Stationen dann aber auf Einseitenbandbetrieb umgerüstet worden. Bis zum Beginn des Zweiten Weltkrieges stieg die Zahl der ständigen, aus den USA betriebenen weltweiten Verbindungen auf 50 an. Während des Krieges stellten diese Funklinien wichtige Verbindungen dar und wurden auch für mehrkanalige Fernschreibübertragung genutzt. Mitte der 50er Jahre sind 90% der Übersee-Telefongespräche aus den USA über Einseitenbandfunk abgewickelt worden.

Aufgrund der inzwischen allgemein aufkommenden Frequenzknappheit, auch für Rundfunksendungen, regte die amerikanische Federal Communications Commission (FCC) eine Untersuchung an, ob dieser Problematik mit Einseitenbandmodulation begegnet werden könne. Das Institute of Radio-Engineers rief daraufhin seine Mitglieder auf, Beiträge über das Thema Single Sideband zu erarbeiten – diese sind 1956 als Sammelband herausgegeben und weltweit zur Kenntnis genommen worden [8]. In der Folge sind Einseitenband-Funksprengeräte zunächst für weitreichende Funkverbindungen in der Luftfahrt, dann in der Schifffahrt, besonders auch zu Fischfangflotten und Handelsschiffen, sowie natürlich auch in allen Bereichen der Streitkräfte eingesetzt worden. Eine Umstellung des Mittelwellen- und Kurzwellenrundfunks ist unterblieben.

Überseefunkdienst der Deutschen Reichspost und Deutschen Bundespost

Auch in Deutschland entwickelte sich ab Ende der 20er Jahre der kommerzielle Überseefunkdienst der Deutschen Reichspost (und späteren Bundespost). Anfangs wurden (wie bei den Versuchssendungen von 1923) Längswellenfrequenzen um die 20 kHz für Telegrafieverbindungen verwendet, später dann um 60 kHz, weil eine Telefoniebandbreite sonst nicht erreicht werden konnte. Wegen hoher Sendeleistungen (bis 500 kW), hohen Antennenaufwands (Mehrmastdachantenne mit etlichen Masten von bis zu 300 m Höhe) und der

wenigen verfügbaren Frequenzen ging man dann auf den Kurzwellenbereich (Sendeleistungen 20 kW) über, was natürlich wiederum wegen Veränderung der Ausbreitungsbedingungen mehrere Frequenzwechsel pro Tag und Vorkehrungen gegen Fading erforderlich machte (Diversity-Empfang). Die erste permanente Kurzwellen-Sprechlinie wurde 1928 zwischen Berlin und Buenos Aires eingerichtet. Unter Einbeziehung französischer und holländischer Verbindungen bestanden 1930 sechs direkte Sprechverbindungen zwischen acht Ländern. Außer für die amerikanisch-englische Verbindung wurde der Langwellenbereich zur Übertragung von Gesprächen nicht mehr verwendet, alle neueren Linien wurden mit gerichteten Kurzwellen betrieben. In der Regel wurden Rhombus-Antennen benutzt, die den benötigten Frequenzteilbereich abdeckten und mit ihrem Diagramm exakt auf die betreffenden Gegenstellen fest ausgerichtet waren (Bild 7). Im Jahr 1932 war für mehr als 90 % aller Weltfernsprechteilnehmer eine Verbindung untereinander möglich und 1937 spannte sich ein dichtes Netz drahtloser Sprechverbindungen über die Erde. Die Deutsche Reichspost betrieb im Frequenzbereich 10-15 MHz neun Übersee-Sprechlinien, davon zunächst allerdings keine nach Nordamerika. Die Gebühren betrugen durchschnittlich etwa 100 Reichsmark pro Minute (vergleichsweise kostete ein Telegramm von 25 Worten nach Nordamerika nur 10 RM). Im Jahr 1935 sind von Deutschland aus insgesamt nur 1 600 drahtlose Überseeespräche geführt worden – die Gebühreneinnahmen standen in keinem Verhältnis zum Aufwand.

Im Überseefunkdienst der Deutschen Bundespost sind in der Zeit nach dem Zweiten Weltkrieg zwei standardisierte Sendearten angewendet worden: Beim Einkanalverfahren und Einseitenbandmodulation (A3A, neu R3E) ist die zu übertragende Nachricht von ursprünglich 250-2700 kHz nur in einem Seitenband, üblicherweise im oberen, enthalten. Das nicht benötigte zweite Seitenband wird unterdrückt, und zwar in der ersten Stufe eines mehrstufigen Modulationsvorgangs. Der Träger (nominelle Betriebsfrequenz) ist weitgehend reduziert oder völlig unterdrückt, sodass für die Nachricht annähernd die volle Senderleistung zur Verfügung steht. Das für die Übertragung benötigte Frequenzband verringert sich dabei auf die Hälfte, die Auslöschung des Trägers durch selektiven Schwund ist wesentlich unkritischer, und die Feldstärke am Empfangsort wird bei gleicher Senderleistung, bezogen auf die Nachricht, bis zu 10 dB größer.

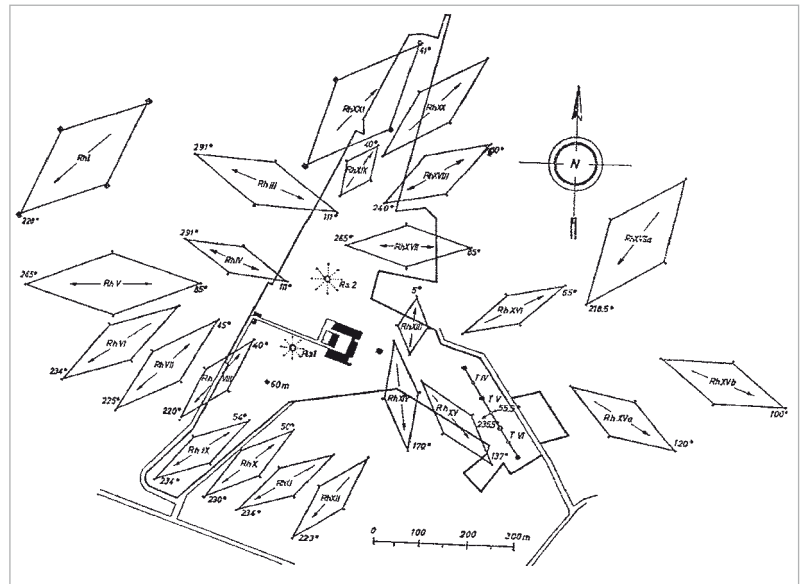


Bild 7:
*Lageplan
des Anten-
nenfeldes
der Übersee-
funkstelle
Elmshorn.*

Beim Mehrkanalverfahren und Einseitenbandmodulation (A3B, neu B8E) lassen sich in beiden Seitenbändern Nachrichten mit unterschiedlichem Inhalt unterbringen. Durch Verwendung von Seitenbandaufteilern kann jedes Seitenband zusätzlich in zwei Telefoniekanäle mit einer maximalen Bandbreite von jeweils 3 kHz aufgeteilt werden. Somit ist ein Kurzwellen-Einseitenbandsender in der Lage, gleichzeitig vier Sprachbänder mit einer Bandbreite von je 3 kHz zu übertragen. Hierbei ist Voraussetzung, dass die zu benutzende Sendefrequenz für diese Bandbreite (insgesamt 12 kHz) freigegeben ist. Der Vorgang beim Verlagern von

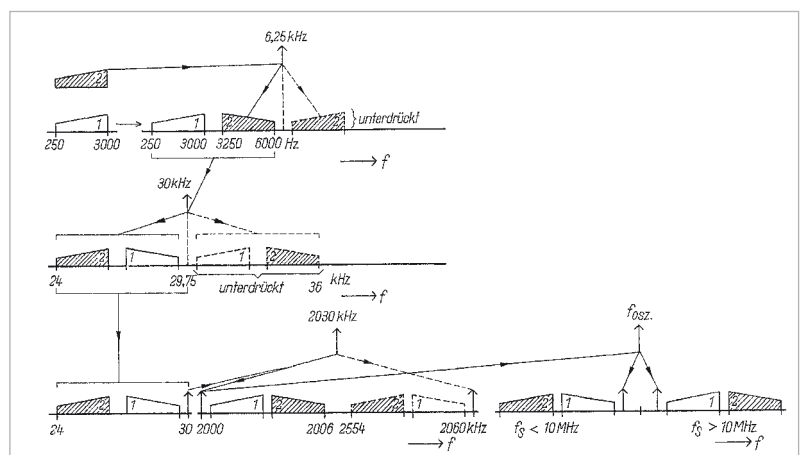


Bild 8:
*Verlage-
rung zwei-
er Sprach-
kanäle auf
ein Seiten-
band eines
Einseiten-
bandsenders,
nach [11].*

niederfrequenten Fernsprechanal in den HF-Bereich und auf die Seitenbänder des Senders ist aus Bild 8 und Bild 9 ersichtlich. Auch gemischte Ausnutzung mit Telefonie- und Telegrafiekänen wurde angewendet (A9B, neu R9W).

Der Restträger steuert beim Empfänger die selbsttätige Frequenznachstellung (AFC

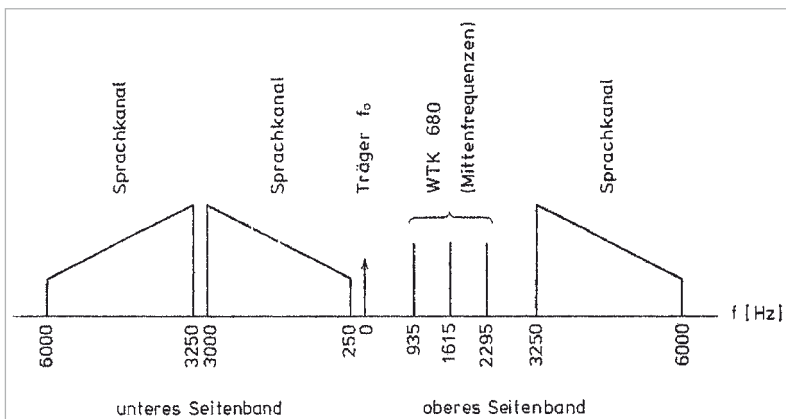


Bild 9:
Besetzung eines Einseitenband-Senders im A9B-Betrieb.

– automatic frequency control). Dadurch lässt sich bei Schwankungen der Sendefrequenz eine ausreichende Frequenzübereinstimmung zwischen Sender und Empfänger erzielen und damit die Verbindung aufrechterhalten. Bei

merzielle Einseitenbandtelefonie hatte sich endgültig überholt, als schließlich Seekabel mit Lichtwellenleitern kontinentweite Breitbandübertragung ermöglichten.

Militärische Funktechnik

Bereits in der Wehrmacht des Dritten Reiches wurde kurz vor Ende des Zweiten Weltkrieges Vorsorge dafür getroffen, Einseitenbandsendungen wenigstens empfangen zu können. Das Heer verzichtete wegen des großen Aufwands auf die Entwicklung eines gesonderten Einseitenbandempfängers und ließ einen Einseitenbandzusatz für die Funkhorchempänger c und y (3-25 MHz und 75 kHz-25 MHz) bauen, mit dem seinerzeit die Einseitenband-Funkverbindungen im WT-Funkfernsehbetrieb (mit zwei Umtastfrequenzen je Übertragungskanal beziehungsweise vier zur Frequenzdiversity) der US-Interventionsarmee in Großbritannien mit dem Mutterland erfasst werden konnten. Für die Luftwaffe ist 1943 eine Sonderversion des Funkempfängers „Köln“ mit der Bezeichnung E 52b gefertigt worden, die zusätzlich Einseitenbandsendungen aufnehmen konnte. Nach der dem Verfasser vorliegenden Literatur ist für die Nachrichtentruppen aller Wehrmachtsteile kein einseitenbandfähiger Sender entwickelt worden.

Die Bundeswehr verwendete in der Aufbauzeit wie in der Folgegeneration HF-Funkgeräte mit konventioneller Amplitudenmodulation, auch für die Fernmeldeaufklärung sind zunächst Empfänger und Peiler ohne Einseitenbanddemodulatoren beschafft worden (vgl. Funkgeschichte Nr. 148 und 150), für den Empfänger EK 07 sind allerdings einige Einseitenbandzusätze NZ 10 vorgehalten worden. Nach Kenntnis des Verfassers wurde in der Bundes-



Bild 10:
Übersee-Funksendestelle der Deutschen Bundespost mit 20-kW-Kurzwellensendern, etwa 1960, nach [11].

fehlender AFC-Einrichtung sind für die Übertragung von Sprache Frequenzfehler bis 50 Hz, für die Übertragung von Musik Frequenzfehler bis 3 Hz zulässig. Der Restträger wird auch als Kriterium für den automatischen Schwundausgleich AGC (automatic gain control) verwendet. Zur Empfangsverbesserung verwendete man Gerätediversity, Antennendiversity, Frequenzdiversity, Polarisationsdiversity und Winkeldiversity.

Das Ende der weltweiten öffentlichen Funktelefonie in Kurzwellen-Einseitenbandtechnik begann 1956 mit dem ersten transatlantischen Telefontkabel, setzte sich fort mit der Satellitenkommunikation (in Deutschland wurde die erste Satelliten-Erdefunkstelle 1964 in Raisting/Obb. in Betrieb genommen). Die kom-

Bild 11:
Übersee-Funkempfangsstelle der Deutschen Bundespost bei Lüchow, etwa 1960, nach [11].



republik der erste HF-Empfänger mit serienmäßigem SSB-Demodulator ab 1959 von der Firma Siemens gebaut, und zwar der E 311. Dieser ist auch für die Bundeswehr beschafft worden, allerdings für Schreibfunk und nicht für Einseitenbandsprechfunk. Ab der Zweiten Generation bestanden die Bedarfsträger der FmAufkl für HF-Erfassungsgerät dann auf SSB-Eignung, wozu der Funkpeiler 1-80 MHz (Telegon 4, Funkgeschichte Nr. 156) noch mit einem Zusatzgerät ausgestattet werden musste. Allerdings wurde diese Eigenschaft nie benötigt, weil die Streitkräfte der Sowjetunion in ihren Standardfunkgeräten (entgegen den Erwartungen) im Zeitraum bis zur „Wende“ keine Einseitenbandfähigkeit vorsahen. Nur in Eigenentwicklungen der übrigen Streitkräfte des damaligen Warschauer Vertrages wurden vereinzelt nicht standardisierte SSB-Funkgeräte eingeführt, so auch in die Nationale Volksarmee der DDR.

Die Streitkräfte der NATO begannen in den 60er Jahren, Kurzwellenfunkgeräte – soweit nicht ausschließlich für den Schreibfunkbetrieb vorgesehen – für Einseitenbandsprechfunk einzuführen (z.B. das Heer ERB-281 aus französischer Fertigung, XK-405 von Rohde & Schwarz). In heutiger Zeit, in der HF-Sprechfunkgeräte wieder vermehrt benötigt werden, ist Einseitenband-Modulation allgemeiner technischer Standard.

Amateurfunk

1920 wurden die Übertragungsmöglichkeiten der Kurzwellen von den Funkamateuren entdeckt, zunächst natürlich mit Tastfunk (A1, neu A1A), es dauerte dann noch über 30 Jahre, bis auch hier die Einseitenbandmodulation Einzug hielt. Funkamateure verwendeten (und verwenden) bei Einseitenbandbetrieb grundsätzlich eine Modulation mit völlig unterdrücktem Träger (A3J, neu J3E), wobei je nach Amateurfunk-Frequenzband das obere oder untere Seitenband ausgewählt wird. Zumeist wird damit Sprechfunk abgewickelt, aber es gibt inzwischen auch etliche Verfahren, um dem Seitenband analoge und digitale Signale aufzuprägen (z.B. Bild- und Datenübertragung).

Bereits 1933/34 experimentierten Funkamateure in den Vereinigten Staaten mit der Einseitenbandmodulation und bauten die ersten Sender. Aber dies weckte kaum Interesse, denn seinerzeit wurde nur wenig Sprechfunk angewendet. 1947, als auch viele Funkamateure über ausreichend frequenzstabile Emp-

fänger verfügten – oft militärischer Herkunft – (und man bemerkte hatte, dass Verbindungen auch bei 100 oder 200 Hz Frequenzabweichung durchaus noch verständlich waren), sind die ersten SSB-QSO (Einseitenband-Funkverbindungen) im 75-m- und 20-m-Band zwischen amerikanischen Funkamateuren abgewickelt worden. Die ersten Beiträge in der amerikanischen Amateurfunkzeitschrift QST über Single Sideband (SSB) erschienen im Jahr 1948. 1949/50 werden bereits die beiden Modulationsverfahren und die Besonderheiten der Leistungsverstärkung in der Amateurfunk-Fachliteratur ausführlich beschrieben und Bauanleitungen für Steuersender nach der Phasen-Methode veröffentlicht. (Die deutsche Amateurfunkzeitschrift QRV bezeichnet 1950 dagegen derartige Vorschläge als „infolge ihres hohen Aufwands zum Nachbau durch den Amateur ungeeignet“.) 1954 publizierte die US-amerikanische Amateurfunkvereinigung ARRL das erste Fachbuch, das der Anwendung von SSB im Amateurfunk gewidmet ist und eine Vielzahl nachbaufähiger Bauanleitungen nach der Filter- und Phasenmethode enthält. Noch Mitte der 60er wird (wie zehn Jahre zuvor) die konventionelle Amplitudenmodulation in der Amateurfunkliteratur als Standard beschrieben, während sich im Betrieb die Einseitenbandtelefonie weitgehend durchgesetzt hat und die Industrie fast nur noch SSB-fähige Geräte anbietet.

Ebenfalls schon 1948 enthält die deutsche Amateurfunkzeitschrift QRV einen sehr ausführlichen Beitrag über die Einseitenbandmodulation, in dem auch zwei ganz konkrete technische Anregungen zur Ergänzung vorhandener Empfänger enthalten sind. Die ersten Veröffentlichungen im DL-QTC, der Zeitschrift des Deutschen Amateur Radio Clubs (DARC), über die Grundlagen der Einseitenbandmodulation finden sich in mehreren Hefte Ende 1952. 1953 ergänzt ein Beitrag die Wirkungsweise der „Zweiseitenbandmodulation mit reduziertem Träger“, vermutlich inspiriert durch deren Anwendung im Überseefunkverkehr. Viel Resonanz scheint die neue Betriebsart bei den Funkamateuren jedoch noch nicht gefunden zu haben, denn Ende 1954 wird berichtet, dass in ganz Europa erst 40 Einseitenband-Stationen aktiv sind, davon in Deutschland ganze drei. Gleichzeitig wird eine Anleitung zum Selbstbau für einen „Sender für Einseitenbandtelefonie mit unterdrückter Trägerfrequenz“ veröffentlicht, und zwar auch hier nach der Phasen-Methode. Dass die deutschen Amateure so zögerlich an die doch so vorteilhafte neue

Bild 12:
Beispiel für
einen SSB-
Amateur-
funk-Trans-
ceiver (1981,
Werkfoto
Kenwood).



Modulationsart herangingen, hat wohl mehrere Gründe: Die vorhandenen technischen und finanziellen Ressourcen waren seinerzeit sehr beschränkt, und die meisten waren froh, wenn sie über einen selbstgebauten Kurzwellensender und einen Superhet-Empfänger aus ehemaligen Militärbeständen verfügten. Man war gerade mit Nachdruck dabei, das 2-m-Band mit FM zu erschließen, es gab keine geeigneten Einseitenband-Filter, und die „filterlose“ Phasenmethode war nicht einfach zu realisieren, denn dazu fehlte es auch an ausreichenden Messmitteln.

QUELLEN

- [1] VDE (Hrsg.): Elektrotechnische Zeitschrift Heft 11/1924
- [2] Kotowski/Wisbar: Drahtloser Überseeverkehr, Leipzig 1941
- [3] Dawley: Radio Handbook, Santa Barbara 1949
- [4] ARRL (Hrsg.): Radio Amateur's Handbook, West Hartford 1950
- [5] Brown: Single Sideband Techniques, New York 1954
- [6] DARC (Hrsg.): Zeitschrift DL-QTC Jahrgänge 1950 bis 1960
- [7] Amateur-Radio-Magazin QRV Hefte 12/1948 und 11/1950
- [8] Inst. of Radio-Eng. (Hrsg.): Proceedings of the IRE /Single Sideband Issue, New York 1956
- [9] Pitsch: Lehrbuch der Funkempfangstechnik Band 1+2, Leipzig 1959
- [10] Kunert: Telegraphen-Seekabel, Köln 1962
- [11] Siemens & Halske (Hrsg.): Handbuch der Kurzwellen-Funkdienste, o.O. o.J. (etwa 1963)
- [12] ARRL (Hrsg.): Radio Amateur's Handbook, Newington 1963
- [13] Laufs: Amateur-SSB-Technik, Stuttgart 1965
- [14] RSGB (Hrsg.): Radio Communication Handbook, London 1969
- [15] TDv 5820/032-13: Funkgerätsatz 100W S/E Einseitenband 1,5-24 MHz, Bonn 1963
- [16] ARRL (Hrsg.): Single Sideband for the Radio Amateur, Newington 1970
- [17] Pippart/Spreckelsen/Schmidt/Bundespost (Hrsg.): Funktechnik, Hamburg 1960
- [18] Pippart/Frommer/Bundespost (Hrsg.): Feste und bewegliche Funkdienste (Angewandte Funktechnik Band 2), Hamburg 1975
- [19] Brauer: Einseitenbandtechnik, Berlin 1984
- [20] Trenkle: Die deutschen Funknachrichtenanlagen bis 1945 Band 2, Heidelberg/Ulm 1990
- [21] Karn: Der Funkaufklärungsdienst des deutschen Heeres 1914-1945, Kleinauflage Fernmeldering Bonn 1999
- [22] Heereswaffenamt/Prüf 7/IVc (Kerkhof): Stand der Entwicklung und Fertigung der Funkaufklärungsgeräte von 1944, Kopie der FDST Ahrweiler 1957, beigegeben in: Karn: Funkaufklärungsdienst
- [23] Klein: Trägerfrequenztechnik, Leipzig 1949
- [24] Spreckelsen (Bearb.): Übertragungstechnik Band 1, Hamburg-Berlin 1954
- [25] Kindermann: Übertragungstechnik, Hamburg 1959
- [26] Siemens AG (Hrsg.): Nachrichten-Übertragungstechnik, Berlin/München 1974
- [27] L.T.U.-Vertr.Ges. (Hrsg.): Puls-Code-Modulation, Bremen 1988

Offenbar nahmen die SSB-Sendungen auf den Kurzwellenbändern aber dann doch zu, denn 1956 veröffentlicht das DL-QTC einen Beitrag mit dem Thema „Wie empfängt man SSB mit dem normalen Stationsempfänger?“ (denn die damaligen kommerziell gefertigten oder selbstgebauten Empfänger waren nur zum Empfang von Morsetelegrafie und normaler Amplitudenmodulation eingerichtet). Der Autor des Artikels empfahl, den Träger im Empfänger mit dem vorhandenen CW-Überlagerer (BFO) hinzuzufügen, alternativ mittels eines gesonderten Oszillators durch Einkopplung in den Antenneneingang – er schlug dazu die Nutzung eines vorhandenen Frequenzmessers oder des Senderoszillators vor. Besitzer selbstgebaute oder ehemals militärischer Empfänger mit einem rückgekoppelten Audion waren jetzt sogar gegenüber den „privilegierten Superhet-Eigentümern“ im Vorteil, denn bei diesen Geradeusempfängern wurde prinzipbedingt der Träger bei Entdämpfung des Abstimmkreises mittels Rückkopplung zugesetzt. Wie viele neue kommerzielle Empfänger jener Zeit besaß auch der auf Anregung des DARC eigens entwickelte Amateurfunkempfänger RX 57 keinen SSB-Demodulator, obwohl der Einseitenbandempfang durch den in Frequenz und Amplitude regelbaren BFO etwas vereinfacht wurde (übrigens war auch der Nachfolger RX 60 noch nicht dafür eingerichtet). Viele Amateure behielten sich damals mit einem selbstgebauten Produktdetektor, der zwischen ZF-Ausgang und NF-Verstärker geschaltet wurde, der einen Oszillator mit umschaltbaren Surplus-Quarzen (ZF etwa ± 1 kHz) enthielt.

In den folgenden Jahren setzte sich dann die SSB-Telefonie weltweit durch, sodass ab Ende der 60er Jahre kaum noch amplitudenmodulierte Sender auf den Amateurfunkbändern zu hören waren. Und mit dem Einseitenbandfunk überwogen nun auch in Deutschland kommerziell gefertigte Amateurfunkgeräte, anfangs noch als getrennte Sender und Empfänger, dann als kombinierte SSB-Transceiver. An den Selbstbau trauten sich nur noch wenige, und so begann die Ära der „Steckdosenamateure“, wie sie etwas abfällig von denjenigen unentwegten und technisch überdurchschnittlich begabten Mitamateuren bezeichnet wurden, die nach wie vor ihre Stationsgeräte selbst konstruierten. SSB hielt dann auch Einzug in die höherfrequenten Bänder und wurde zunehmend auch zur Bild- und Datenübertragung genutzt. Heute noch ist sie (neben dem unverwundlichen Tastfunk) die bei Weitverbindungen bevorzugt genutzte Modulationsart. ■