

# Modulationsverfahren Teil 2

**In diesem Teil der Artikelserie stellen wir mit dem Restseitenbandverfahren und der Quadratur-Amplitudenmodulation zwei in der Fernsehtechnik eingesetzte Modulationsverfahren vor. Weiterhin betrachten wir die im Kurzwellenbereich oft verwendete Einseitenbandmodulation.**

## Amplitudenmodulation

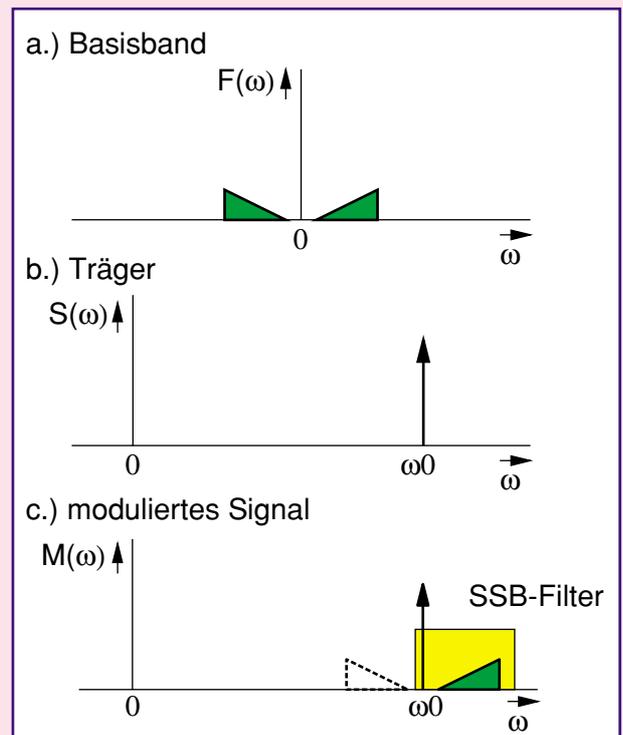
Einseitenband-AM, Restseitenband-AM und Quadratur-AM sind Spezialformen der „normalen“ Amplitudenmodulationsverfahren. Es gibt vor allem zwei wichtige Gründe, die dazu führen, daß die „normale“ Doppelseitenband-AM mit und ohne Träger in der Praxis oft nur in abgewandelter Form eingesetzt wird. Wie im ersten Teil der Artikelserie schon ausführlich beschrieben, kommt es bei der DSB-AM zu einer Verdopplung der benötigten Bandbreite, d. h. es gilt Bandbreitendehnfaktor  $\beta = 2$ . In Anbetracht der zum Teil sehr knappen Ressource „Übertragungsbandbreite“ ist hier eine Verbesserung in der Ausnutzung des Frequenzspektrums anzustreben. Weiterhin führt die Verdopplung der HF-Bandbreite bei DSB-AM zu einer schlechten Ausnutzung der zur Verfügung stehenden Sendeleistung bei Rundfunksendern. Aus diesen Gründen wurden die oben erwähnten Abwandlungen der Amplitudenmodulation entwickelt. In Abbildung 8 ist ein typisches DSB-AM-Signal dargestellt.

Da beide Seitenbänder bei einer DSB-Amplitudenmodulation die gleiche Information tragen, ist es naheliegend zur Verbesserung der Bandbreiteneffizienz und der

**Bild 9: Frequenzspektrum einer Einseitenband-AM**

Leistungsbetrachtung nur ein Seitenband zu übertragen, es entsteht so die Einseitenband-AM. Wie aus der Abbildung 4 c bzw. 6 c („ELV journal“ 5/98) zu erkennen ist, ist das Basisbandsignal im oberen und unteren Seitenband vorhanden, beide Seitenbänder besitzen daher den gleichen Informationsgehalt. Es kann somit auf ein Seitenband verzichtet werden, ohne dabei einen Verlust an Informationen in Kauf nehmen zu müssen.

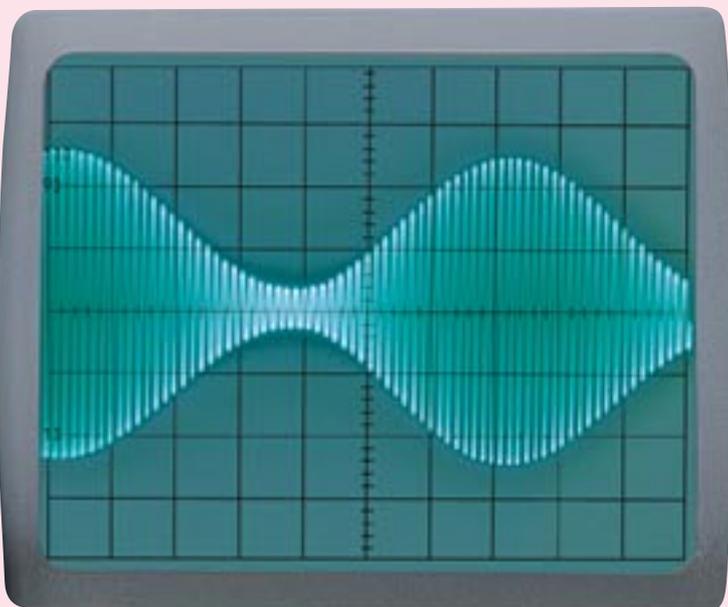
Entfernt man durch geeignete Maßnahmen ein Seitenband aus dem Spektrum, so erhält man die sogenannte Einseitenbandmodulation (EM oder SSB = Single Sideband). Die Bandbreiteneffizienz steigert sich dabei auf  $\beta = 1$ , da im HF-Bereich auch nur eine Basisband-



breite benötigt wird. Abbildung 9 zeigt ein solches Signal im Frequenzbereich, wobei bei dieser Darstellung das untere Seitenband unterdrückt wurde. Bei der Übertragung des oberen Seitenbandes spricht man auch vom USB (Upper-Side-band), während das untere Band als LSB (Lower-Sideband) bezeichnet wird.

Zu beachten ist die Lage der Seitenbänder im Frequenzbereich. Abbildung 4 c bzw. 6 c zeigt den Unterschied zwischen beiden Bändern. Das obere Seitenband befindet sich in der sogenannten Regellage, während das untere Seitenband in Kehrlage liegt. Bei der Kehrlage entspricht die höchste NF-Frequenz im Basisband nach der Modulation der absolut gesehen niedrigsten Frequenz. Während bei der Regellage des oberen Seitenbandes die höchste NF-Frequenz auch der höchsten Seitenbandfrequenz entspricht. Da der Informationsgehalt identisch ist, kann willkürlich gewählt werden.

Diese Einseitenbandmodulation wird oftmals im sehr dicht belegten Kurzwellenbereich angewandt. Aber auch die Trägerfrequenztechnik, die bei der Frequenz-



**Bild 8: Typisches Doppelseitenband-AM-Signal im Zeitbereich**



**Bild 10: Frequenzspektrum einer Restseitenband-AM**

unteren Seitenband vorhanden ist. Das nicht benötigte Seitenband läßt sich z. B. mittels der Filtermethode unterdrücken. Besitzt das modulierende Signal eine untere Grenzfrequenz von 0 Hz, so ergibt sich diese Lücke nicht, oberes und unteres Seitenband schließen direkt aneinander an. Hier läßt sich die Einseitenbandmodulation nicht ohne weiteres durchführen.

Um aber auch hier wenigstens eine teilweise Bandbreiteneinsparung gegenüber der „normalen“ AM (Doppelseitenband-AM) zu bekommen, wendet man hier die sogenannte Restseitenbandmodulation (RM bzw. VSB = Vestigial Sideband) an. Dieses Verfahren kommt bei der Übertragung im Fernseh Rundfunk zum Einsatz. Bei diesem Modulationsverfahren wird ein Seitenband komplett und auch noch ein Teil des nicht gewünschten Seitenbandes übertragen. Um die Amplitudenverhältnisse nach der Demodulation wieder richtig rekonstruieren zu können, muß der doppelt übertragene Frequenzbereich entsprechend bearbeitet werden. Hier setzt man ein Filter mit einer sogenannten Nyquist-Flanke, die spiegelsymmetrisch zur Trägerfrequenz ist, ein. Dieses Filter wird das erwünschte Seitenband etwas beeinflussen und das nicht erwünschte

nicht ganz unterdrücken. Das Filter ist so ausgelegt, daß der Restanteil im nicht gewünschten Seitenband die Beeinflussung im gewünschten Seitenband gerade wieder wettmacht. Abbildung 10 verdeutlicht dieses Verfahren.

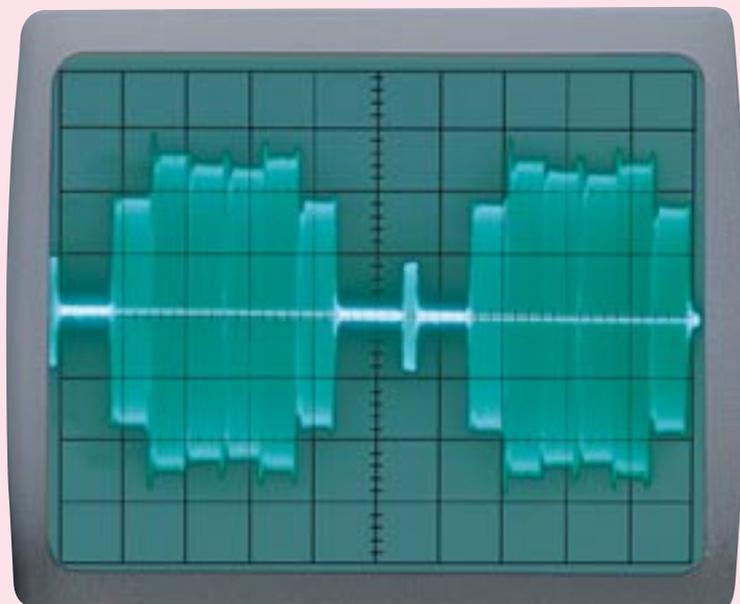
Als letzte Variante der Amplitudenmodulation wollen wir die QAM (Quadratur-AM) betrachten. Bei diesem Modulationsverfahren lassen sich zwei unterschiedliche Basisbandsignale einem Träger gleicher Frequenz, jedoch unterschiedlicher Phasenlage, aufmodulieren. Die beiden modulierten Signale liegen dann im Spektrum übereinander. Aufgrund der im Winkel von  $90^\circ$  zueinander stehenden Träger, die bei der Demodulation auch genauso wieder hinzugefügt werden müssen, lassen sich die beiden verschiedenen Quellsignale wieder trennen.

Dieses Verfahren wird in der Farbfernsehtechnik angewendet. Dort sind die beiden reduzierten Farbdifferenzsignale U und V, die die Farbinformation des Bildes beinhalten, nach diesem Verfahren moduliert. Der Träger, der für die erforderliche kohärente Demodulation erforderlich ist, wird als sogenanntes Farbsynchronsignal (Burst) übertragen. Ein solches Farbart-signal ist in Abbildung 11 dargestellt. Bei diesem Verfahren ist es besonders wichtig, daß die Nullphasenlage des Trägersignales im Empfänger korrekt rekonstruiert werden kann, da es sonst zu Übersprechen zwischen den beiden Signalen kommt. Die Darstellung in Abbildung 12 zeigt das Prinzip dieses Modulationsverfahrens.

Die beiden Basisbandsignale sind als  $F1(\omega)$  und  $F2(\omega)$  dargestellt. Die Trägersignale, auf die die Basisbänder aufmoduliert werden sollen, sind als  $S1(\omega)$  und  $S2(\omega)$  abgebildet. Diese beiden Träger besitzen die gleiche Frequenz ( $\omega_0$ ), stehen jedoch in  $90^\circ$  Phasenwinkel zueinander.

multiplexübertragung von Fernsprechkä-nälen eingesetzt wird, ist ein Anwendungsbereich der Einseitenbandmodulation. Ein Nachteil dieses Verfahrens ist der erhöhte Aufwand bei der Demodulation.

Die Einseitenbandmodulation kann bei der Übertragung von Sprachsignalen auch in der Praxis gut eingesetzt werden, da hier aufgrund der unteren Grenzfrequenz eine „Lücke“ zwischen dem oberen und



**Bild 11: Farbartsignal aus der Fernsehtechnik als Beispiel einer QAM**

$S1(\omega)$  gibt dabei die Darstellung eines Cosinus-Signals wieder, während  $S2(\omega)$  das um  $90^\circ$  verschobene Sinus-Signal widerspiegelt.

Wird das Basisbandsignal  $F1(\omega)$  auf den Träger  $S1(\omega)$  aufmoduliert und das Basisband  $F2(\omega)$  auf  $S2(\omega)$ , so erhält man zwei modulierte Signale nach dem Prinzip der Doppelseitenband-AM mit unterdrücktem Träger. Zur Verdeutlichung dieses Zwischenschrittes der Modulation kann Abbildung 6 herangezogen werden. Nach der Addition der beiden modulierten Signale erhält man dann das in Abbildung 12c dargestellte komplette QAM-Signal. Hier ist gut zu erkennen, daß die beiden Basisbandsignale im Spektrum übereinander liegen. Um die beiden Basisbänder auch wieder vollständig und ohne gegenseitige Beeinflussung voneinander trennen zu können, ist eine kohärente Demodulation notwendig, d. h. die zugehörigen Trägersignale  $S1(\omega)$  und  $S2(\omega)$  müssen bei der Demodulation phasenrichtig zur Verfügung stehen.

Daß die kohärente Demodulation nur die zugehörigen Signale im Basisband liefert, wollen wir für den interessierten Leser im folgenden kurz mathematisch erläutern.

Die beiden Quellensignale

$$(Gl. 13)$$

und

$$(Gl. 14)$$

werden den beiden im  $90^\circ$ -Winkel zueinander stehenden Trägersignalen

$$s1(t) = \cos(\omega_0 \cdot t) \quad (Gl. 15)$$

(Träger für  $f1(t)$ ) und

$$(Gl. 16)$$

(Träger für  $f2(t)$ )

aufmoduliert. Dabei entsteht mit Hilfe des Theoremes lt. Gleichung 2 und der folgenden Gleichung

$$(Gl. 17)$$

das modulierte Signal:

$$(Gl. 18)$$

Zur kohärenten Demodulation wird dann mathematisch das modulierte Signal lt. Gl. 18 mit dem entsprechenden Träger multipliziert. Um z. B. das Quellensignal  $f1(t)$  zurückzugewinnen, muß die Gleichung

$$(Gl. 19)$$

gelöst werden (moduliertes Signal  $m(t)$  mit dem Träger  $S1(t)$  multiplizieren).

Der dabei entstehende Ausdruck läßt sich über die Gleichungen Gl. 2 und Gl. 17, sowie über Ansätze

$$\sin(-\alpha) = -\sin(\alpha) \quad (Gl. 20)$$

und

$$(Gl. 21)$$

vereinfachen. Letztlich ergibt sich dabei:

$$\begin{aligned} f'1(t) &= \frac{a}{2} \cdot \cos(\omega_1 \cdot t) \\ &+ \frac{a}{4} \cdot \cos[(2\omega_0 - \omega_1) \cdot t] \\ &+ \frac{a}{4} \cdot \cos[(2\omega_0 + \omega_1) \cdot t] \\ &+ \frac{b}{4} \cdot \sin[(2\omega_0 - \omega_2) \cdot t] \\ &+ \frac{b}{4} \cdot \sin[(2\omega_0 + \omega_2) \cdot t] \end{aligned}$$

$$(Gl. 22)$$

Der erste Term dieser Gleichung stellt dabei den lt. Gleichung 13 geforderten Ausdruck für das ursprüngliche Quellensignal dar:

$$(Gl. 23)$$

Der hier auftretende Amplitudenunterschied kann auf einfache Weise ausgeglichen werden und spiegelt daher keinen Verlust an Informationsgehalt wider. Die bei der Berechnung entstehenden Anteile bei der doppelten Trägerfrequenz ( $2\omega_0 \pm \omega_1$  und  $2\omega_0 \pm \omega_2$ ) werden vernachlässigt, da sie nicht im Basisband liegen und sich somit bei der technischen Realisierung der Demodulation einfach filtern lassen. Die Terme des zweiten Quellensignals ( $f2(t)$ ) heben sich im Basisband komplett auf. Der interessierte Leser kann die bei der obigen Darstellung übersprungenen Zwischenschritte leicht selbst nachvollziehen.

Viel einfacher und ohne Kenntnis verschiedener Theoreme lassen sich die Modulationsverfahren mit Hilfe verschiedenen Werkzeuge der theoretischen Nachrichtentechnik erklären. Diese dann zum Teil sehr einfachen Lösungswege sind aber mathematisch recht anspruchsvoll, so daß wir die vorstehende Beschreibungsweise gewählt haben, die uns anschaulicher erscheint.

Wir haben somit alle wesentlichen Varianten der Amplitudenmodulation vorgestellt und werden uns im nächsten Teil der Artikelserie den weiteren Modulationsverfahren zuwenden.

ELV

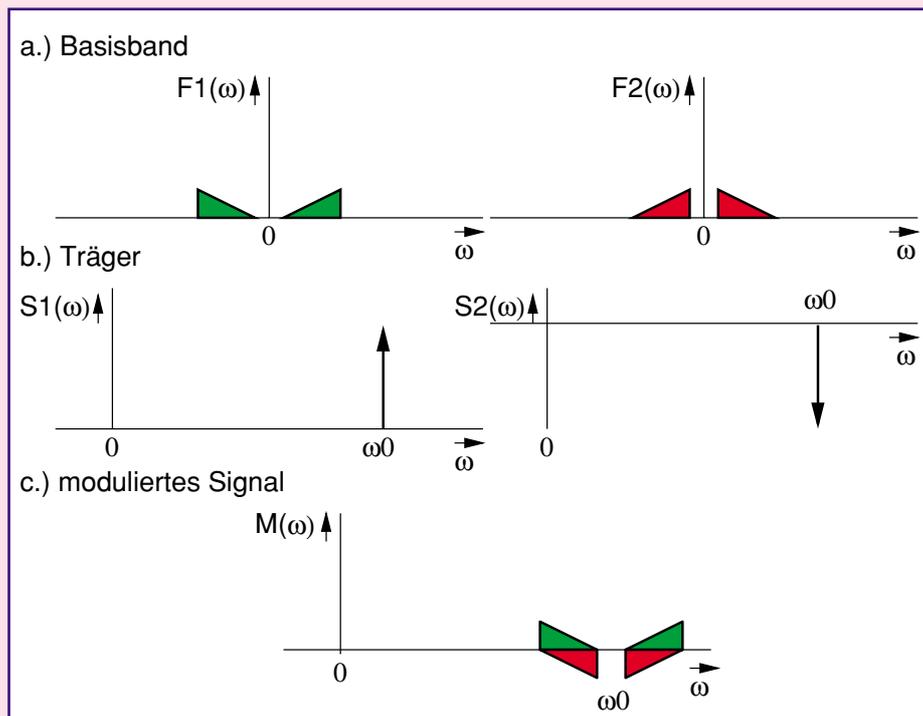


Bild 12: Frequenzspektrum einer QAM