

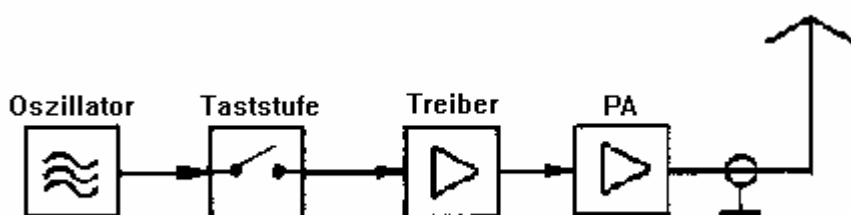
## Sendertechnik

Zu einem Sender gehören grundsätzlich :

- HF-Trägerfrequenzzeugung (Oszillator)
- Modulation des HF-Trägers (Modulator)
- Verstärkung des modulierten HF-Signals (Treiber, Endstufe "PA")

Einfachster Sender : **Geradeaus-Sender** Beim Geradeausender wird die Sendefrequenz ausgesendet, die vom Oszillator erzeugt wird; es erfolgt keine Mischung oder Vervielfachung.

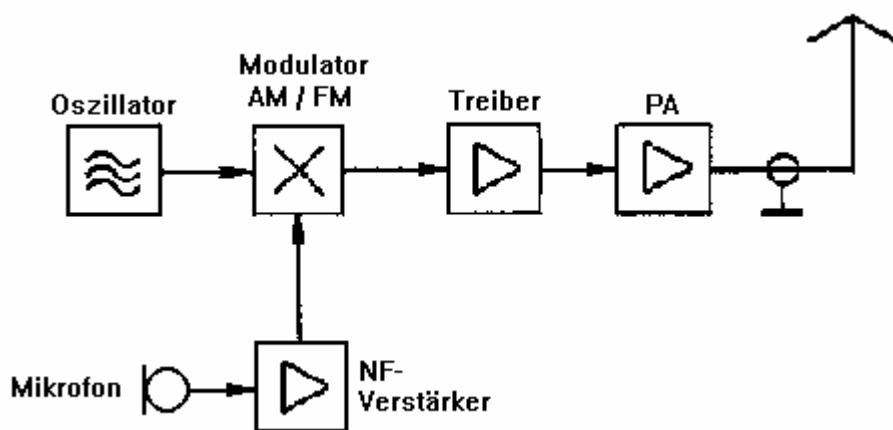
Anwendung : **einfacher CW-Sender**



Das vom Oszillator erzeugte HF-Signal wird in der Taststufe im Rhythmus der CW-Zeichen ein- und ausgetastet.

Der Treiber und die nachgeschaltete PA verstärken das rel. schwache HF-Signal auf einen Pegel von 100mW bis 100 W.

Anwendung : **AM/FM-Sender**



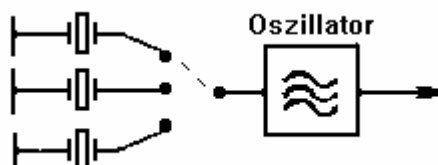
Das vom Oszillator erzeugte HF-Signal wird im Modulator mit der NF-Information "verbunden" → die HF wird dort moduliert.

Der Treiber und die nachgeschaltete PA verstärken das rel. schwache HF-Signal auf einen Pegel von 100mW bis 100 W.

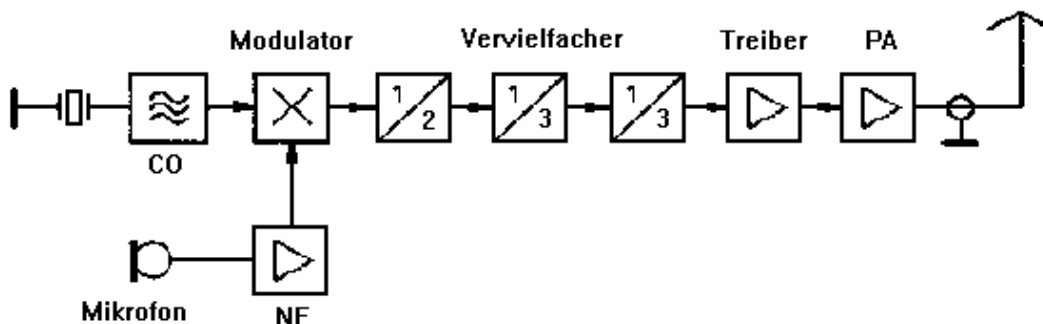
Vorteile des Geradeaus-Senders : einfach, geringer Schaltungsaufwand

Nachteile von Geradeaus-Sendern : feste Sendefrequenz

Abhilfe : Mehrere schaltbare "Kanäle" durch umschaltbare Quarze beim CO:



### Sender mit Frequenzvervielfachung



Quarze können nur mit einer Resonanzfrequenz von maximal ca. 50 MHz hergestellt werden. Will man höhere Frequenzen erzeugen, setzt man Frequenzvervielfacher ein.

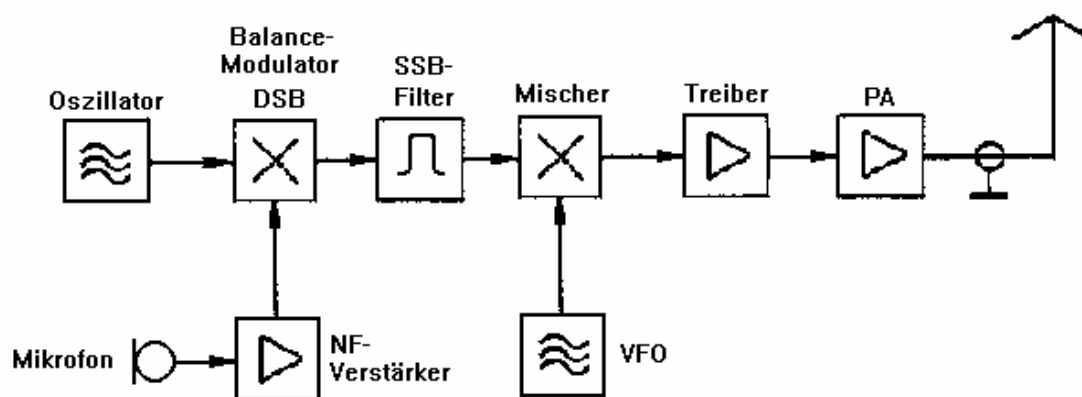
Die Frequenz des CO wird (nach dem Modulator) in ein oder mehreren Vervielfacherstufen mit dem Faktor  $n$  (Beispiel  $n=18$ ) multipliziert; danach erfolgt die Verstärkung durch Treiber und PA.

Sender mit Frequenzvervielfachung eignen sich **nur für die Modulationsarten CW und FM**; bei anderen (amplitudenverändernden) Modulationsarten würde das Modulationsspektrum durch die Frequenzvervielfachung verzerrt und nicht mehr erkennbar.

**Achtung** : Bei der Multiplikation vervielfachen sich nicht nur die Trägerfrequenz, sondern auch alle Frequenzabweichungen, wie Drift (durch Temperatur), Frequenzhub (FM).

Beispiel : Geg:  $f_{TX}=433 \text{ MHz}$  Ges:  $f_Q = ?$   $f_Q = f_{TX} / n$   $f_Q = 433 \text{ MHz} / 18$   $f_Q = 24,0555 \text{ MHz}$   
 $\Delta f_{TX}=4 \text{ kHz}$   $\Delta f_Q = ?$   $\Delta f_Q = \Delta f_{TX} / n$   $\Delta f_Q = 4 \text{ kHz} / 18$   $\Delta f_Q = 222,2 \text{ Hz}$   
 $n=18$

### Sender mit Frequenzmischung (Superhet-Prinzip)

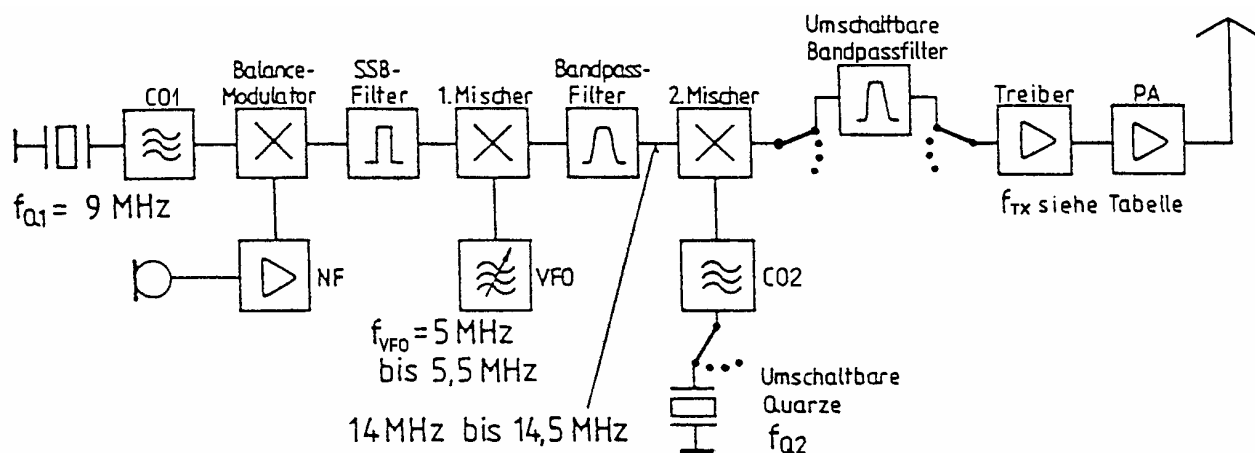


Das Signal des CO wird (nach dem Modulator/Filter) in einer Mischerstufe durch Mischung mit dem Signal eines VFO auf die Endfrequenz "verschoben"; danach erfolgt Verstärkung d. Treiber und PA.

Frequenzmischung eignet sich **für die Modulationsarten AM und SSB**, da beim Mischvorgang nur die Frequenz verändert wird, nicht aber das Modulationsspektrum.

Vorteile von Superhet-Sender: Es wird nur ein CO und nur ein SSB-Filter mit festen Frequenzen benötigt, da erst nachträglich auf die Endfrequenz gemischt wird; Modulationsspektrum bleibt unverändert.

**Beispiel : KW-Sender mit zweifacher Frequenzmischung (Doppelsuperhet-Prinzip)**  
für alle 9 KW-Amateurfunkbänder



- der CO<sub>1</sub> erzeugt eine feste Frequenz von 9 MHz;
- im Balance-Modulator wird aus dieser Frequenz, zusammen mit dem NF-Signal ein DSB-Signal;
- das SSB-Filter läßt daraus nur das USB (obere Seitenband) passieren;
- im 1.Mischer geschieht eine "Verschiebung" des USB um 5..5,5 MHz nach oben und unten (die Frequenz 5..5,5 MHz wird von dem VFO erzeugt);
- der nachgeschaltete Bandpassfilter läßt nur das nach oben gemischte USB durch, dieses befindet sich dann in einer Frequenzlage zwischen 14..14,5 MHz;
- im 2.Mischer geschieht eine "Verschiebung" des USB (14..14,5 MHz) um die Frequenz des CO<sub>2</sub> nach oben und unten
  - Mischung nach oben → USB bleibt ein USB,
  - Mischung nach unten → das USB wird zum LSB,
- je nach Wahl der Quarzfrequenz von CO<sub>2</sub> entstehen am Ausgang des 2.Mischers je zwei KW-Bänder, eines unterhalb- und eines oberhalb von 14..14,5 MHz; durch Wahl des geeigneten Bandpassfilters wird das gewünschte KW-Amateurfunkband selektiert;
- Treiber und PA verstärken das gefilterte Signal auf die gewünschte Ausgangsleistung.

f <sub>Q2</sub>	f <sub>TX</sub>	f <sub>Q2</sub>	f <sub>TX</sub>
12,5 MHz	1,5 MHz bis 2 MHz	7 MHz	21 MHz bis 21,5 MHz
10,5 MHz	3,5 MHz bis 4 MHz	10,5 MHz	24,5 MHz bis 25 MHz
7 MHz	7 MHz bis 7,5 MHz	14 MHz	28 MHz bis 28,5 MHz
4 MHz	10 MHz bis 10,5 MHz	14,5 MHz	28,5 MHz bis 29 MHz
Mischer überbrückt	14 MHz bis 14,5 MHz	15 MHz	29 MHz bis 29,5 MHz
4 MHz	18 MHz bis 18,5 MHz	15,5 MHz	29,5 MHz bis 30 MHz

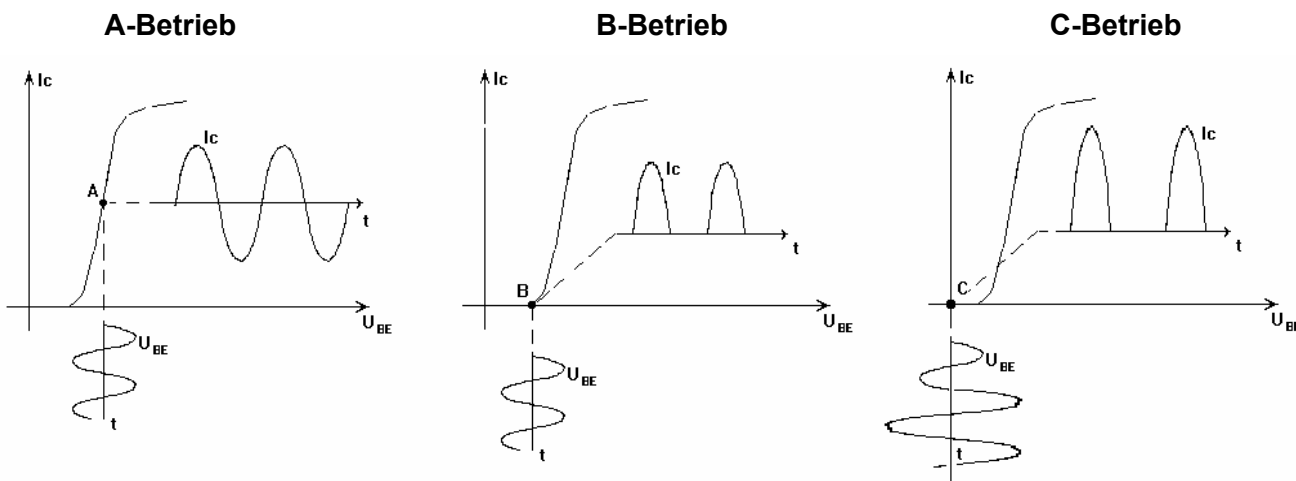
### Leistungsverstärker (PA = Power Amplifier)

Allgemein: HF-Verstärker sind Schaltungen, die durch kleinere HF-Wechselspannungssignale am Eingang größere HF-Wechselspannungssignale am Ausgang erzeugen.

Kennlinien von Verstärkern: Kennlinien geben an, wie sich der Ausgangsstrom in Abhängigkeit von der Eingangsspannung oder dem Eingangsstrom des verstärkenden Bauteils (Röhre, Transistor) verhält.

Der Punkt, der angibt, welcher Strom ohne Ansteuerung (Ruhestrom) fließt, heißt **Arbeitspunkt**. Um diesen Arbeitspunkt herum verändert eine Eingangsspannung den Ausgangswechselstrom. Dieser ist in der Regel wesentlich größer als der Eingangswechselstrom → Verstärkung.

Je nach Wahl des Arbeitspunktes hat der Leistungsverstärker erhebliche Vor- und Nachteile:



Arbeitspunkt :	A	B *)	C
Verstärkung :	relativ gering	hoch	sehr hoch
Wirkungsgrad :	relativ gering	hoch	sehr hoch
Ruhestrom :	relativ hoch	sehr gering	keiner
Linearität :	sehr hoch	hoch	schlecht
Modulationsarten :	alle	alle	CW, FM

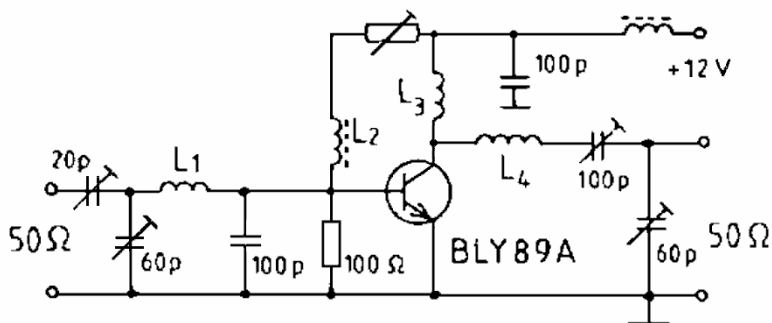
\*) Klasse-B-Verstärker werden üblicherweise mit zwei gegenphasig zusammen geschalteten Stufen realisiert (Gegentaktschaltung). Dabei verstärkt ein Transistor die positive und der andere Transistor die negative Halbwelle. Durch diese Zusammenschaltung erreicht man eine Vollwellenverstärkung mit relativ hoher Linearität und gutem Wirkungsgrad.

**Wirkungsgrad:** Verhältnis von abgegebener HF-Leistung zur zugeführten DC-Eingangsleistung

$$\eta = \frac{P_{HFout}}{P_{DCin}}$$

## Verstärkerschaltungen

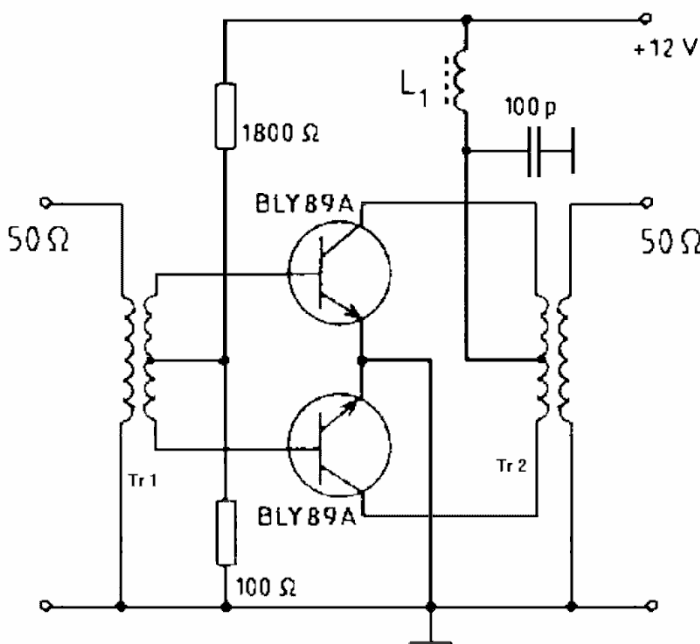
(Beispiel: Verstärker für das 2m-Band)



### "Klasse-A"-Verstärker:

Der Transistor erhält über den einstellbaren Spannungsteiler an seiner Basis eine Vorspannung, die durch ihn einen bestimmten Ruhestrom fließen lässt (Arbeitspunkt "A").

L2 entkoppelt die Basis-spannungsteiler-Schaltung von der Eingangs-HF.



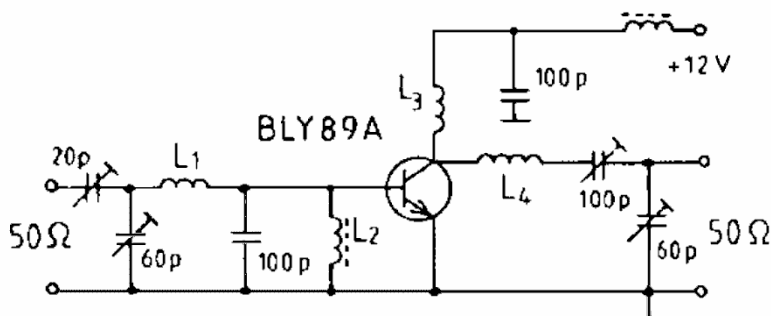
### "Klasse-B"-Verstärker:

(Gegentaktverstärker)

Über den Eingangstrafo wird das HF-Wechselspannungssignal in zwei (zur Anzapfung gegenphasige) Teile aufgeteilt.

Über die zwei Widerstände wird der Arbeitspunkt "B" eingestellt; (gerade noch kein  $I_C$  bis kleiner  $I_C$ ).

Ein Transistor verstärkt die positive der andere die negative Halbwelle. Über den Ausgangstrafo werden die zwei verstärkten Halbwellen wieder zu einem Vollwellen-Wechselspannungssignal zusammengesetzt.



### "Klasse-C"-Verstärker:

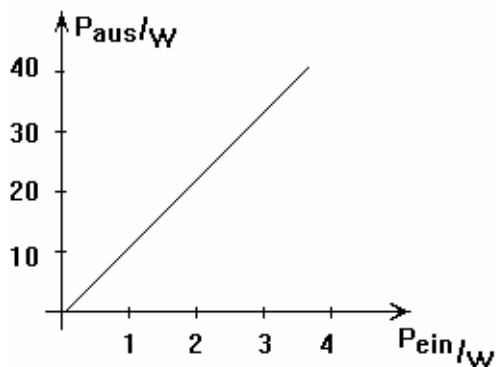
Die Basis des Transistors liegt über die HF-Drossel L2 an Masse und erhält somit keine Vorspannung, es fließt demnach auch kein Ruhestrom (Arbeitspunkt "C").

Nur Halbwellenverstärkung !

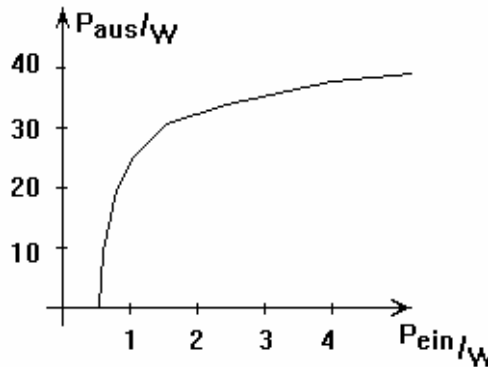
### Linearität

Bei der Verstärkung von amplitudenmodulierten HF-Signalen (AM, SSB) ist es von besonderer Wichtigkeit, daß der/die Leistungsverstärker linear arbeiten; d.h. daß - unabhängig von der Aussteuerung - das Verhältnis zwischen der hochfrequenten Eingangs- zur Ausgangsleistung stets gleich ist.

Beispiel 1 : **linearer** Verstärker:



Beispiel 2 : **Nicht linearer** Verstärker:

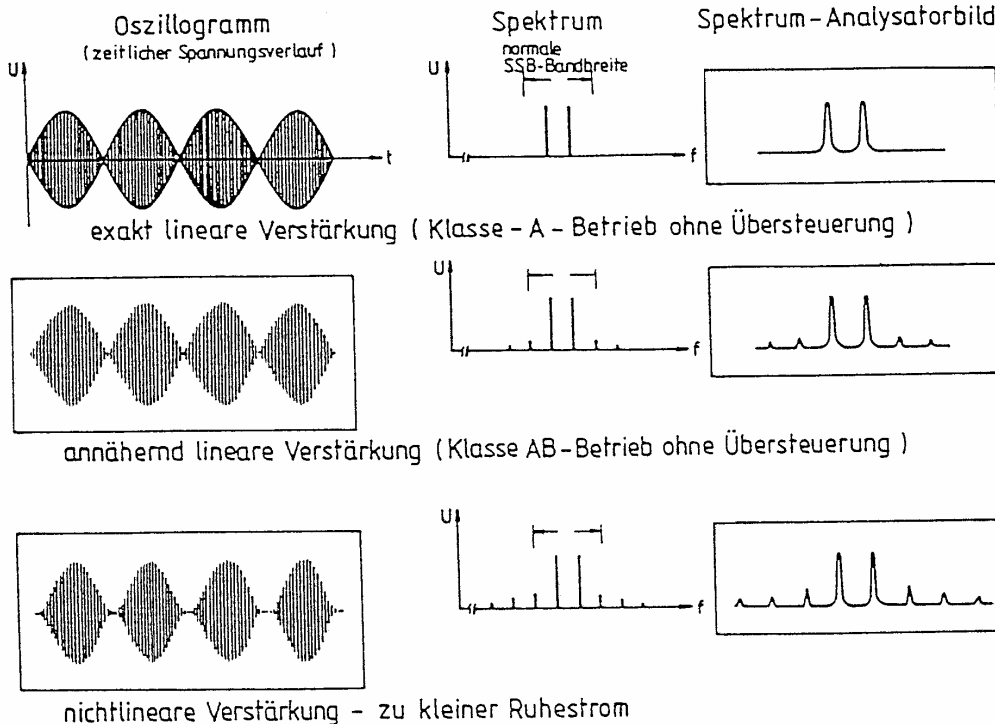


Werden mehr als ein Signal mit einem nicht linearen Verstärker verstärkt, geschieht eine Mischung der Signale und es entstehen diverse Nebenwellen, die zum Teil innerhalb des Modulationsspektrums (verzerrte Modulation), aber auch außerhalb liegen können (Störungen anderer Funkamateure, auch anderer Funkdienste, dessen Betriebsfrequenzen am Amateurfunkband anschließen).

Ein linearer Verstärker verstärkt nur die Eingangssignale und erzeugt daraus keine neuen Frequenzen.

Zum Testen der Linearität von SSB-Sendern verwendet man ein Zweiton-Signal (z.B. 1 kHz + 1,5 kHz), mit welchem man den SSB-Sender moduliert und das resultierende HF-Spektrum vor- und nach den Verstärkern betrachtet.

#### SSB-ZWEITON-SIGNAL



### Aussteuerung (Übersteuerung)

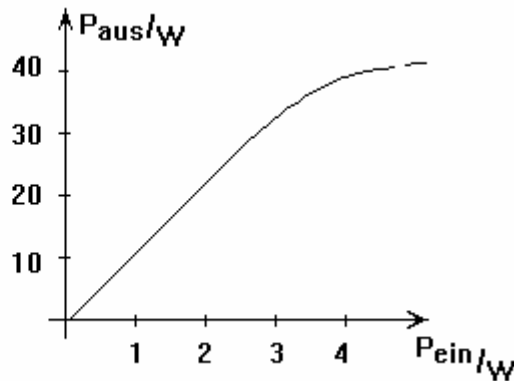
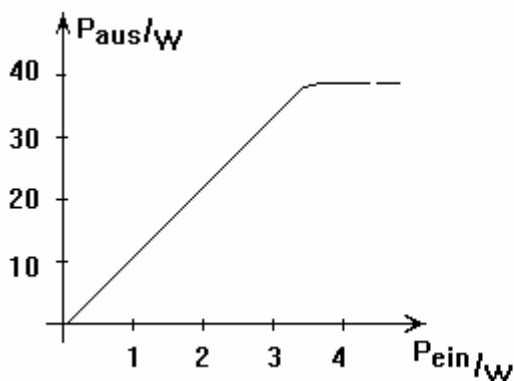
Jeder Verstärker hat eine maximale Ausgangsleistung, die vom Typ des Transistors (bzw. der Röhre), von der Versorgungsspannung und der Schaltung des Verstärkers abhängig ist.

Bis zu dieser Ausgangsleistung kann man den Verstärker "fahren". Würde man die Ansteuerleistung weiter erhöhen, würde das Signal nicht weiter verstärkt sondern begrenzt werden.

Die Begrenzung kann mehr oder weniger "hart" geschehen:

Beispiel 1 : **harte** Begrenzung (Transistor):

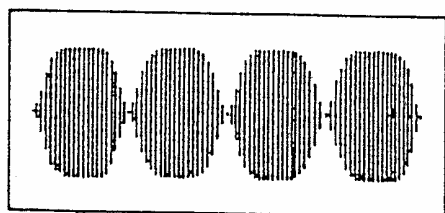
Beispiel 2 : **weiche** Begrenzung (Röhre):



Eine Begrenzung dieser Art wirkt sich ähnlich wie eine starke Nichtlinearität aus und es kommt zu deutlichen Nebenwellen, hierbei speziell außerhalb des Amateurfunkbandes (sog. Oberwellen).

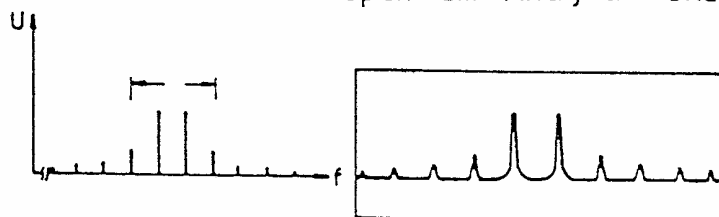
### SSB-ZWEITON-SIGNAL

Oszillogramm  
(zeitlicher Spannungsverlauf)



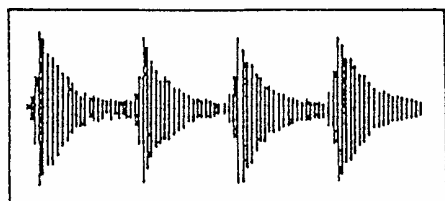
Übersteuerung (Begrenzung)

Spektrum - Analysatorbild

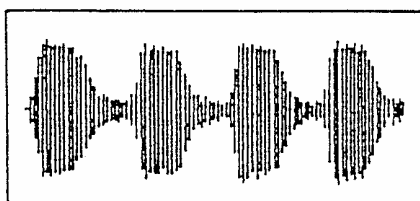


(zusätzlich Oberwellen dieser Frequenz außerhalb des Darstellungsbereiches)

### SSB-SIGNAL BEI SPRACHE („aah“)



lineare Verstärkung



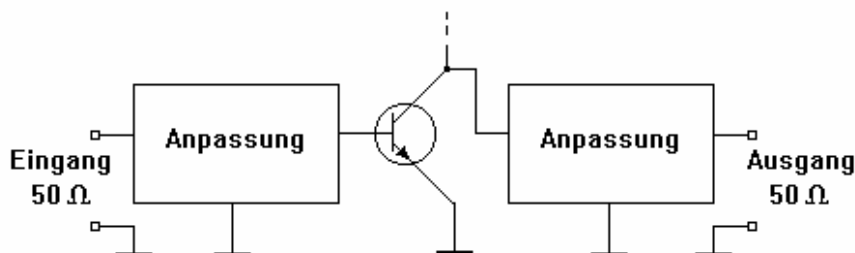
Übersteuerung (Begrenzung)

## Anpassung eines PA-Kreises, Abstimmung

Die Eingangs- und Ausgangsimpedanzen von HF-Leistungsverstärkern betragen allgemein  $50 \Omega$ .

Die Impedanzen des verstärkenden Bauteils (Transistor, Röhre) selbst betragen jedoch nicht  $50 \Omega$ , weder am Eingang (Basis beim Transistor, Gitter oder Kathode bei der Röhre) noch am Ausgang (Collector bzw. Anode).

Aus diesem Grund benötigt man jeweils am Eingang und Ausgang eines Verstärkers eine Schaltung, die die jeweilige Impedanz auf  $50 \Omega$  anpasst.



Übliche Eingangs- und Ausgangsimpedanzen:

(nur ungefähre Werte, hängt sehr von der Schaltung ab)

Transistor, Eingang :  $\sim 100 \Omega$   
Transistor, Ausgang:  $\sim 1..5 \Omega$

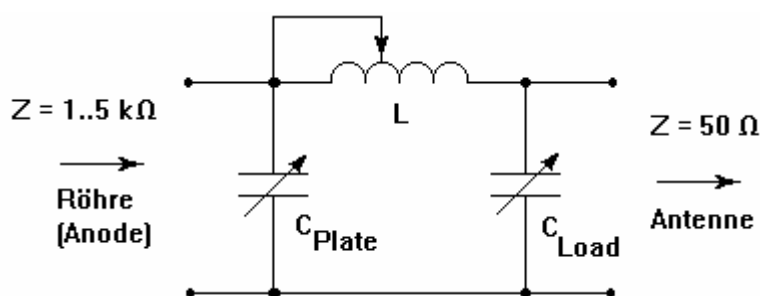
Röhre, Eingang :  $\sim 200 \Omega$   
Röhre, Ausgang :  $\sim 2k \Omega$

Bei Transistor-PA's in Gegentaktschaltung wird die Anpassschaltung am Eingang und Ausgang mit Hilfe von Transformatoren realisiert. Sie ist aufgrund der relativ frequenzunabhängigen Impedanzen von Transistoren breitbandig und muß im Betrieb nicht verändert werden.

Bei Röhren-PA's können die Anpassschaltungen nicht breitbandig ausgeführt werden, da die Ein- und Ausgangsimpedanzen von Röhren sehr frequenzabhängig sind. Aus diesem Grund sind Röhren-PA's mit sogenannten PI-Filtern (auch Collins-Filtern) am Ein- und Ausgang versehen.

Am Eingang einer Röhren-PA wird mittels eines Bandwahlschalters für jedes Band je ein (auf dieses Band) fest abgestimmtes PI-Filter geschaltet. So erhält die Röhre in jedem Band "ihre" Eingangsanpassung.

Am Ausgang befindet sich jedoch nur ein PI-Filter, bei dem aber alle drei Bauteile in ihren Werten veränderbar sind. So können die für jedes Band nötigen Anpassungen der Ausgangsimpedanzen auf  $50 \Omega$  erzielt werden.



Abstimmvorgang:

- 1) L auf das jeweilige Band schalten (entsprechende Anzapfung, kombiniert mit Bandwahlschalter)
- 2)  $C_{Load}$  auf maximale Kapazität stellen (Kondensatorplatten ganz eindrehen)
- 3) PA mit verminderter Leistung ansteuern (ca. 10..20 % der max. Leistung)
- 4)  $C_{Plate}$  auf Dip (Minimum) im Anodenstrom einstellen (Resonanz)
- 5) mit  $C_{Load}$  etwas höheren Anodenstrom einstellen / bzw. etwas höhere Leistung auskoppeln
- 6) Schritte 4) und 5) wiederholen
- 7) Ansteuerung erhöhen, bis zum maximal zulässigen Anodenstrom



### Kühlung von Endstufen

Endstufen haben leider keinen Wirkungsgrad von 100 %; d.h. die HF-Ausgangsleistung ist um einen bestimmten Betrag geringer als die DC-Eingangsleistung. Der "Rest" wird von der Röhre oder dem Transistor in Wärme umgewandelt. Diese Wärme muß möglichst effektiv an die Umgebung abgegeben werden.

$$P_{\text{Verlust}} = P_{\text{DCin}} - P_{\text{HFout}}$$

Bei Röhren übernehmen elektrische Lüfter diese Aufgabe; sie erzeugen einen Luftstrom, der an den Röhren vorbei strömt und dabei die Wärmeenergie mit "nach außen" nimmt.

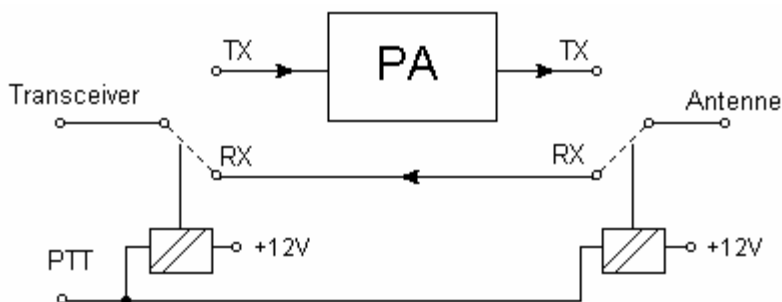
Transistoren werden zum Zweck der Wärmeableitung auf sog. Kühlkörper montiert. Diese Kühlkörper sind meist Aluminium-Strangpressprofile mit großen Rippen (→ große Oberfläche).

Besonders zu beachten ist, daß die Leistungstransistoren möglichst plan und sauber auf dem Kühlkörper aufliegen, die Kühlkörper ausreichend dimensioniert sind und die Endstufe so positioniert wird, dass die Umgebungsluft möglichst frei am Kühlkörper vorbei strömen kann.

Zur Steigerung der Effizienz von Kühlkörpern können zusätzlich Lüfter verwendet werden. (üblich bei Mobil-Transceivern)

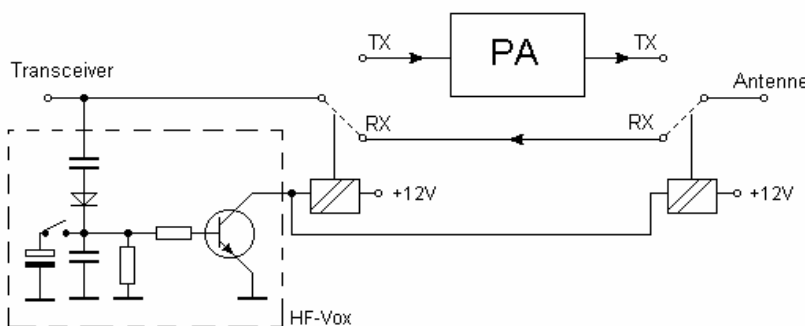
### Sende/Empfangs-Umschaltung

Endstufen verstärken bei Sendebetrieb das vom Funkgerät kommende Sendesignal, in Richtung Antenne. Wird das Funkgerät auf Empfang betrieben, muß das Antennensignal am Verstärker vorbei geleitet werden, da es sonst "rückwärts" durch den Verstärker laufen müsste.



Die Steuerung des Sende/Empfangs-Umschaltrelais erfolgt bei KW-Transceivern üblicherweise über ein spezielles Steuerkabel, welches vom Transceiver zur PA führt. Wird am Transceiver die Sendetaste (PTT = Push To Talk) gedrückt, so erhält die PA das Signal über dieses Kabel und schaltet ebenfalls von RX auf TX und umgekehrt.

Fast alle PA's besitzen auch die Möglichkeit, ohne PTT-Steuerleitung des Transceivers auszukommen, nämlich mit einer automatischen Sende/Empfangs-Umschaltung (HF-Vox).



Diese besteht aus einem HF-Sensor (Detektor) und einer Schaltstufe.

Erkennt der Detektor am PA-Eingang ein HF-Signal, schaltet die Schaltstufe die Relais auf TX. Fällt das HF-Signal am Eingang wieder ab, werden die Relais ebenfalls wieder in RX- Stellung gebracht.

Bei CW- und SSB-Betrieb mit HF-Vox muß zusätzlich eine (schaltbare) Abfall-Verzögerungszeit vorsehen werden, da ja zwischen den CW-Zeichen, bzw. zwischen den gesprochenen Worten und Sätzen (SSB) keine HF abgegeben wird und so die HF-Vox sofort auf RX zurückschalten würde.