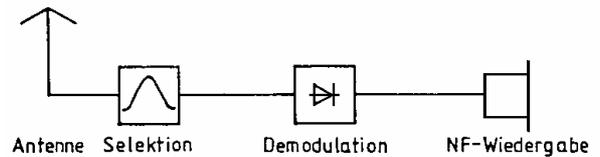
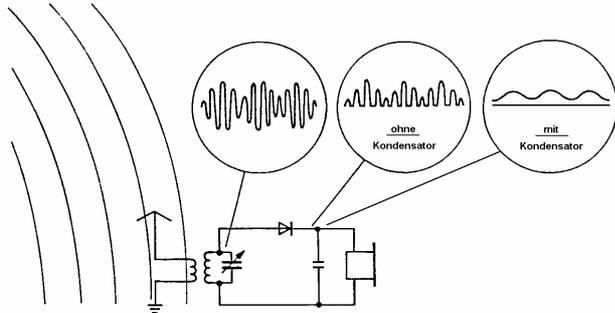


Empfänger

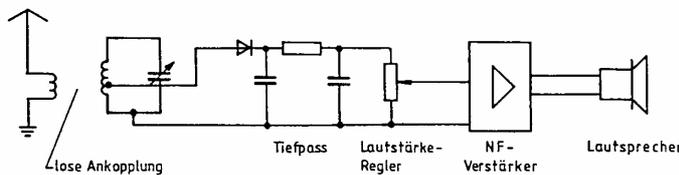
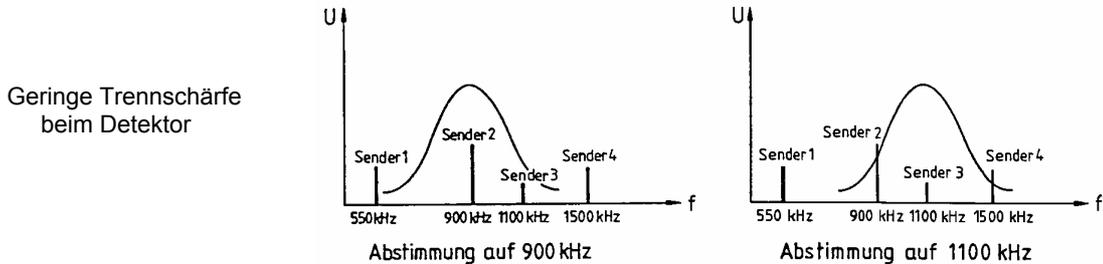
1. Der Detektor-Empfänger

Der wohl älteste Empfänger ist der Detektor-Empfänger. Er besteht aus nur einigen wenigen Bauteilen und erlaubt den Empfang des AM-Mittel- oder Langwellen-Ortssenders mit einem Kopfhörer - ohne jegliche Stromversorgung.

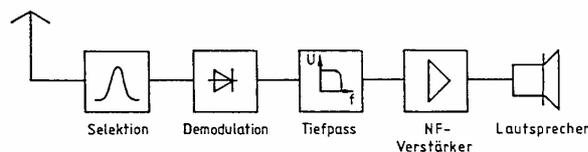


Die Antenne fängt die Hochfrequenzenergie auf. Mit einer Spule oder einem Kondensator wird diese in einen Schwingkreis eingekoppelt, der mit einem Drehkondensator auf die Empfangsfrequenz abgestimmt ist (Selektion). Eine Diode läßt nur die positiven (oder negativen) Halbwellen zum angeschlossenen Kopfhörer durch und trennt dadurch die im schwankenden Mittelwert steckende Modulation vom Träger (Demodulation). Mit einem Kondensator wird der hochfrequente Anteil dieses gleichgerichteten Signals beseitigt (NF-Bandbegrenzung). Der Kopfhörer ist das Wiedergabe-Organ des RX.

Nachteilig bei dieser einfachen Schaltung ist die relativ große Bandbreite des Selektionsfilters, so daß immer mehrere Sender gleichzeitig zu hören sind - es sein denn, der gewünschte ist besonders stark und damit auch lauter als die anderen.



Abhilfe schafft ein Schwingkreis mit höherer Betriebsgüte, was man durch eine lose Ankopplung der Antenne und des Demodulators erreicht.



Erkauft wird das mit einem „leiseren“ Signal nach der Diode, denn dem Schwingkreis wird ja weniger Energie entnommen (er wird weniger bedämpft). Daher muß man nach sorgfältiger Abfilterung der Hochfrequenzreste einen NF-Verstärker mit Lautstärkereglern (Potentiometer, Spannungsteiler!) nachschalten. (NF = Niederfrequenz, engl. AF = Audio Frequency)

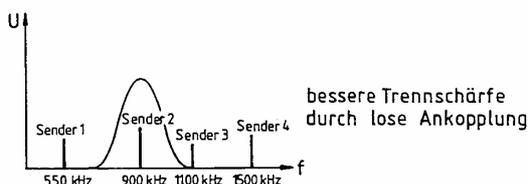
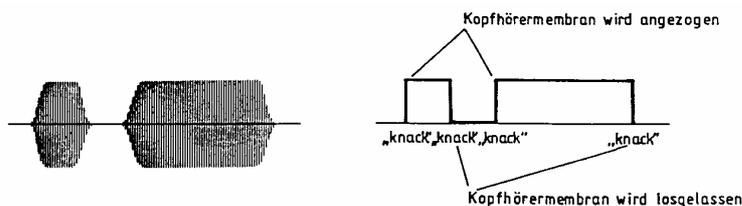


Bild: Detektorempfänger mit NF-Verstärker

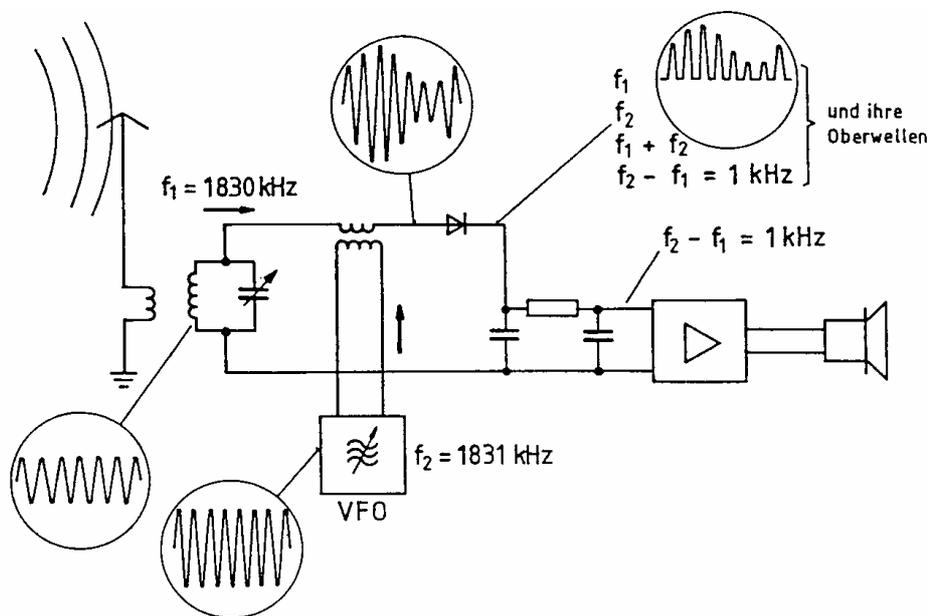
Der Detektorempfänger ist nur zum Empfang von AM-modulierten Sendern (A3E) geeignet.



Ein CW-Signal (A1A) würde beispielsweise im Kopfhörer nur Knackgeräusche beim Ein- und Ausschalten des Trägers hervorgerufen, denn der Träger selbst ist ja nicht in der Amplitude moduliert.

2. Der Direktmisch-Empfänger (Direktmischer)

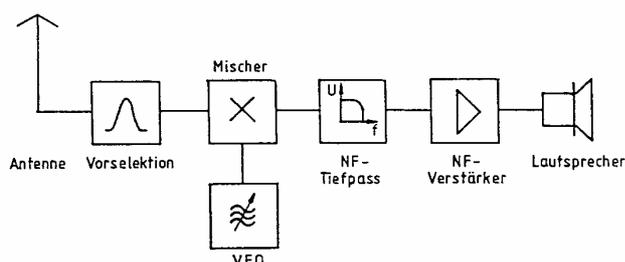
Dieses Manko des Detektors lässt sich recht einfach durch eine Modifikation des Demodulators beseitigen. Die entstehende Schaltung nennt man „Direktmischer“.



Man addiert zum empfangenen CW-Signal einen lokal erzeugten Dauerträger, dessen Frequenz z. B. um 1 kHz höher (oder tiefer) als das Empfangssignal gewählt wird. Einen solchen abstimmbaren Empfänger-Oszillator nennt man VFO (Variable Frequency Oszillator).

Als Ergebnis der Addition entsteht ein RF-Signal (RF = Radio Frequency, engl. Ausdruck für Hochfrequenz), dessen Amplitude im Rhythmus der Differenzfrequenz schwankt. Abgesehen von einer auch noch vorhandenen Phasenschwankung (es ist ja keine AM mit zwei Seitenbändern) sieht die Hüllkurve des RF-Signals wie ein AM-moduliertes Signal aus und wird von der Diode auch so gleichgerichtet (demoduliert).

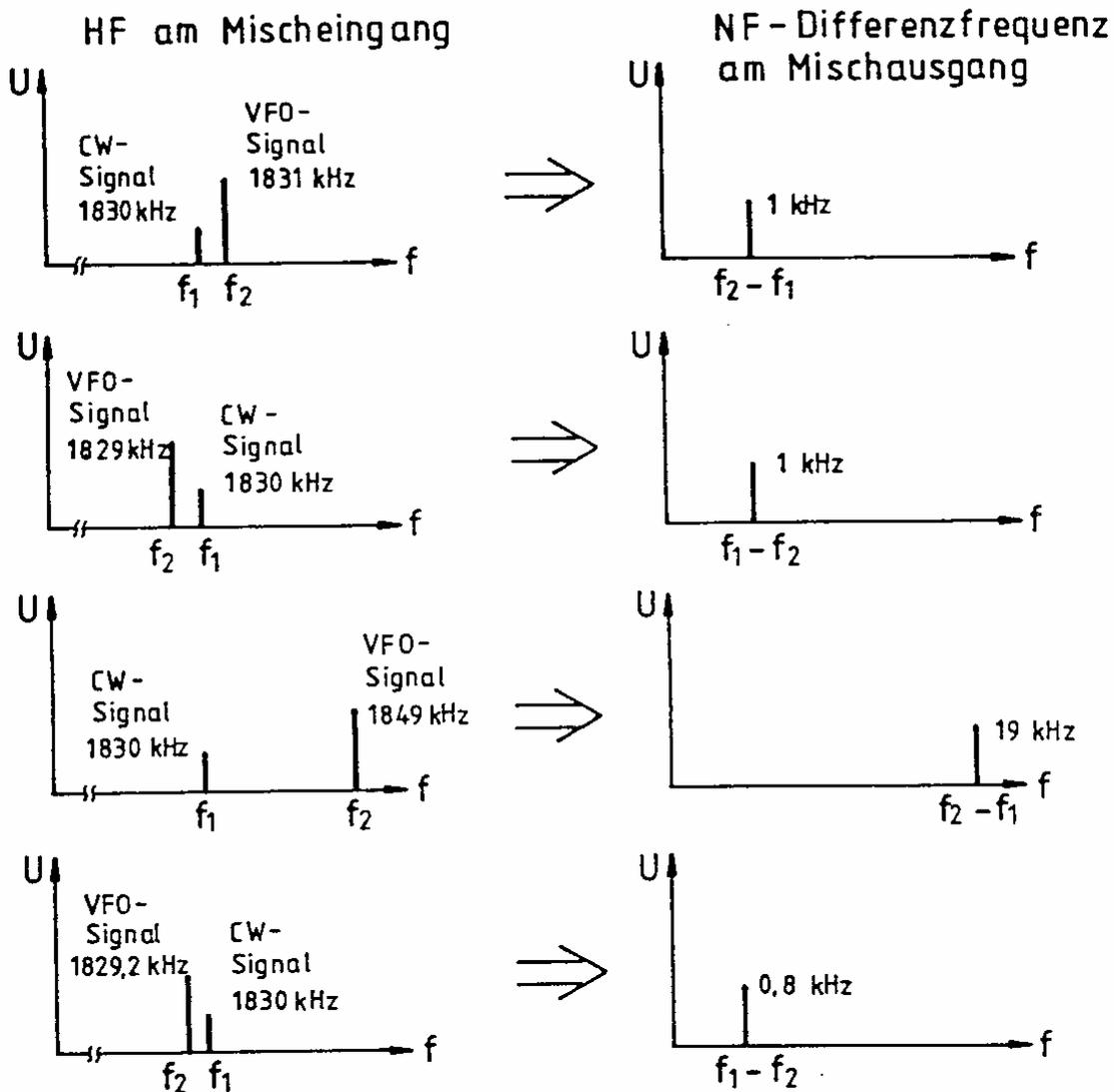
Alle hochfrequenten Signalanteile, die z. T. erst bei der Demodulation entstehen, werden wie bekannt abgefiltert. Im Lautsprecher hört man jetzt das CW-Signal als 1-kHz-Ton.



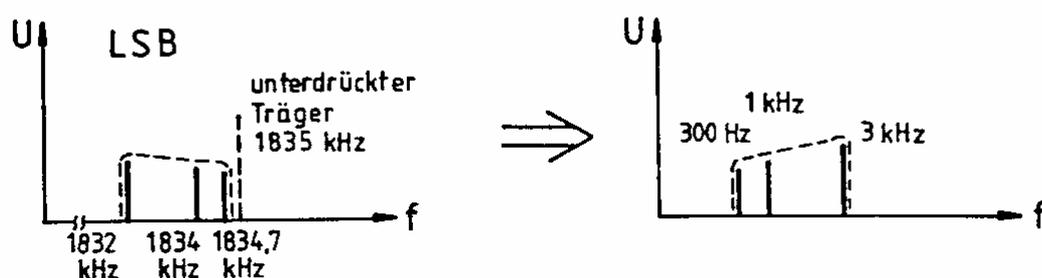
Die Zusammenführung von zwei Hochfrequenzsignalen und anschließende „Gleichrichtung“ mit einer (oder mehreren) Dioden bezeichnet man als „Mischer“. Während vor der Diode nur die Frequenzen f_1 und f_2 vorhanden sind, enthält das Signal danach zusätzlich auch noch Signale mit der Summen- und Differenzfrequenz.

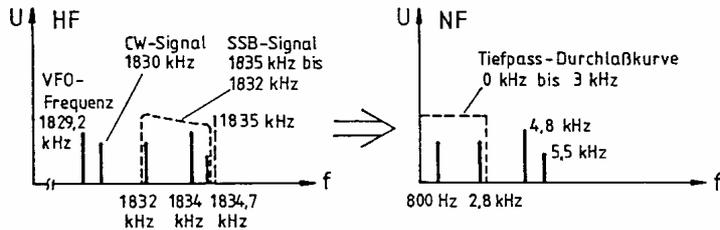
Betrachtet man die Verhältnisse bei der Wahl der VFO-Frequenz etwas genauer, wird man feststellen, daß man bei richtiger Wahl sogar SSB-Signale (J3E) demodulieren kann! Der VFO muß dazu genau auf die Frequenz des im J3E-Signal unterdrückten Trägers eingestellt werden.

DEMODULATION DES 1830 kHz - CW - SIGNALS
BEI VERSCHIEDENEN VFO - FREQUENZEN



DEMODULATION EINES 1835 kHz - SSB - SIGNALS
BESTEHEND AUS 3 NF - TÖNEN

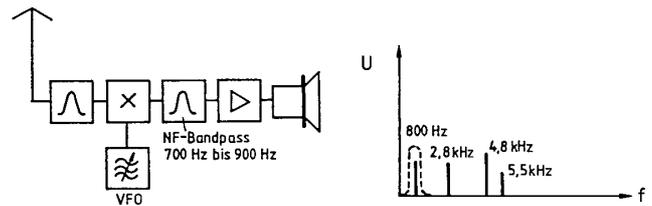




Empfang eines CW-Signals, Beeinträchtigung durch ein SSB-Signal auf einer Nachbarfrequenz bei 3 kHz NF-Bandbreite

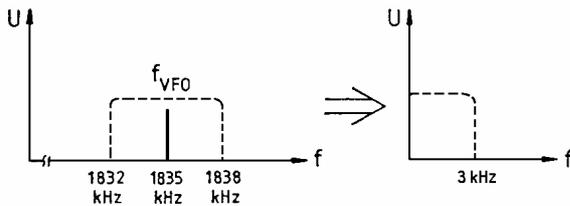
Damit benachbarte CW- oder SSB-Signale nicht als hohe Pfeiftöne hörbar werden - ihre Entstehung im Mischer kann man ja nicht verhindern - muß man zur Abfilterung der unerwünschten Signale den Tiefpaß u. U. mit einer Grenzfrequenz von deutlich unter 3 kHz auslegen oder ein Notch-filter vorsehen.

Beim Empfang von CW-Signalen wird die Selektion durch ein schmales NF-Bandpass-Filter (CW-Filter) mit einer Bandbreite von ca. 200 Hz (700 ... 900 Hz) verbessert.

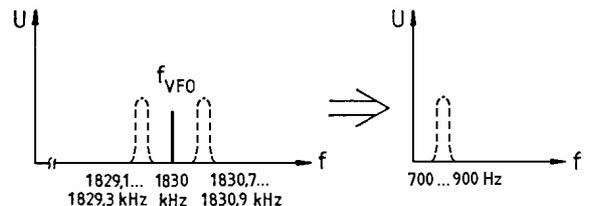


Verbesserung der Selektion durch ein NF-CW-Filter

Allerdings können auch jetzt noch zwei CW-Signale gleichzeitig hörbar sein: ein gewünschtes Signal und eines auf der „Spiegelfrequenz“.



Empfangs- und Spiegelfrequenz bei Verwendung eines 3-kHz-Tiefpaßfilters für SSB

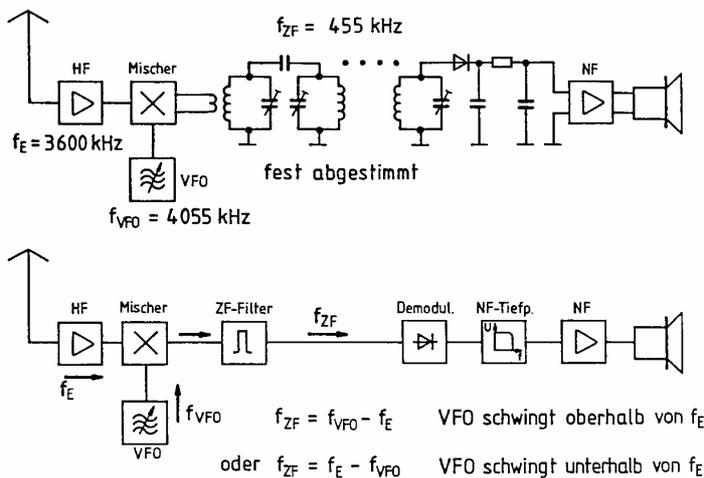


Empfangs- und Spiegelfrequenz bei Verwendung eines NF-CW-Filters

Um diese unerwünschte Station zu unterdrücken, müßte man die Eingangsselektion sehr hoch treiben. Das ist zwar theoretisch möglich, stößt aber auf ungeahnte praktische Probleme.

Da man viele abgestimmte Kreise benötigt, müssen ALLE vollkommen gleichlaufend abgestimmt werden. Ein fast unmögliches Unterfangen! Aber wie immer gibt es eine Lösung. Sie heißt Superhet-Empfänger.

3. Der Superhet-Empfänger (Super)



Im Blockschaltbild des AM-Supers ist die Ähnlichkeit mit dem Direktmischer unverkennbar. Zwischen dem Mischer und Demodulator ist ein fest auf 455 kHz abgestimmtes Bandfilter eingefügt.

Der Mischer erzeugt aus Empfangssignal(en) und VFO-Signal die Summen- und Differenzfrequenzen. Der VFO schwingt jetzt nicht mehr auf der Empfangsfrequenz sondern auf einer um die ZF (ZF = Zwischenfrequenz, engl. IF = Intermediate Erequency) höheren Frequenz.

Der Träger des Eingangssignals wird auf die ZF-Frequenz „umgemischt“ oder umgesetzt. Um diesen neuen 455-kHz-Träger herum liegen natürlich auch die Seitenbänder des Empfangssignals. Natürlich könnte der VFO auch um 455 kHz tiefer schwingen. Dann könnte man aber Frequenzen unterhalb 455 kHz nicht empfangen, da dann die VFO-Frequenz negativ werden müßte. Deshalb findet man diesen Fall in der Praxis nur in bestimmten begründeten Situationen.

Wenn das ZF-Filter eine Bandbreite von 9 kHz aufweist, wird damit das AF-Signal (bei A3E) automatisch auf 4,5 kHz begrenzt und ein AF-Tiefpaß ist nicht mehr nötig - außer zur Abfilterung der IF-Reste.

Ein Superhet vereinigt also die Vorteile einer hohen Trennschärfe (Selektion) mit einer einfachen Abstimmung des RX. Kein Wunder, daß dies das bevorzugte Empfänger-Konzept geworden ist. Damit man ZF-Filter in großen Stückzahlen fertigen kann, hat man sich auch im wesentlichen auf zwei Standardfrequenzen geeinigt: 455 kHz und 10,7 MHz.

Aufgabe:

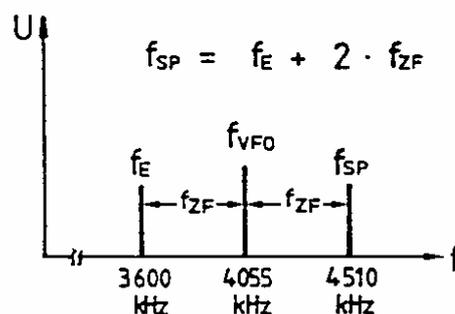
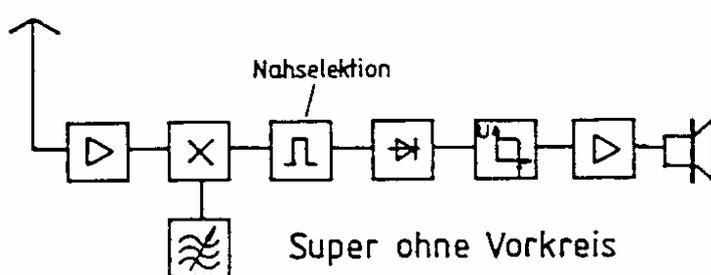
Trage in die folgende Tabelle die fehlenden Zahlenwerte ein.

f_E	3600 kHz	3750 kHz	3600 kHz	14150 kHz	145,350 MHz
f_{VFO}	4055 kHz		3145 kHz		
f_{ZF}	455 kHz	455 kHz		9000 kHz	10,7 MHz

4. Das Spiegelfrequenzproblem

Wer das Block-Schaltbild des Supers mit dem Direktmischer genau verglichen hat, wird bemerkt haben, daß nach der Antenne statt der Selektion ein RF-Verstärker vorhanden ist. Er hat die Aufgabe, den Pegelverlust auszugleichen, den jeder Mischer hat. Sonst würde der RX an Empfangsempfindlichkeit einbüßen und schwache Sender würden im Rauschen des Empfängers verschwinden. Der Verstärker verhindert aber auch, das Frequenzen aus dem Mischer rückwärts zur Antenne gelangen und als Störsignal ausgestrahlt werden können.

Der Vorverstärker verstärkt natürlich nicht nur unser Empfangssignal, sondern alle von der Antenne empfangenen Frequenzen. Und leider ist auch meist eine dabei, die um die doppelte ZF höher liegt als die gewünschte QRG. Sie wird ebenfalls im ZF-Teil verarbeitet und mit demoduliert.



Wir brauchen also außer der „Nahselektion“, die unser ZF-Filter leistet, noch eine „Weitabselektion“, die diese unerwünschten Spiegelfrequenzen unterdrückt.

Zum Bild:

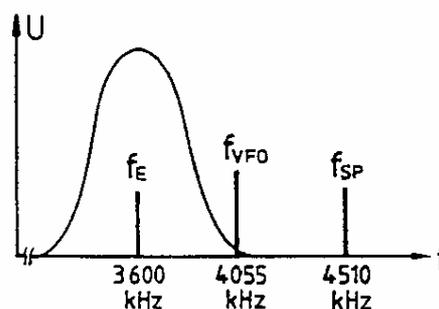
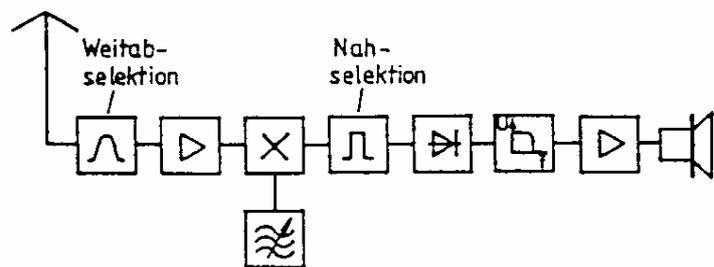
Empfang des gewünschten Senders:

$$f_{VFO} - f_E = 4055 - 3600 = 455 \text{ kHz}$$

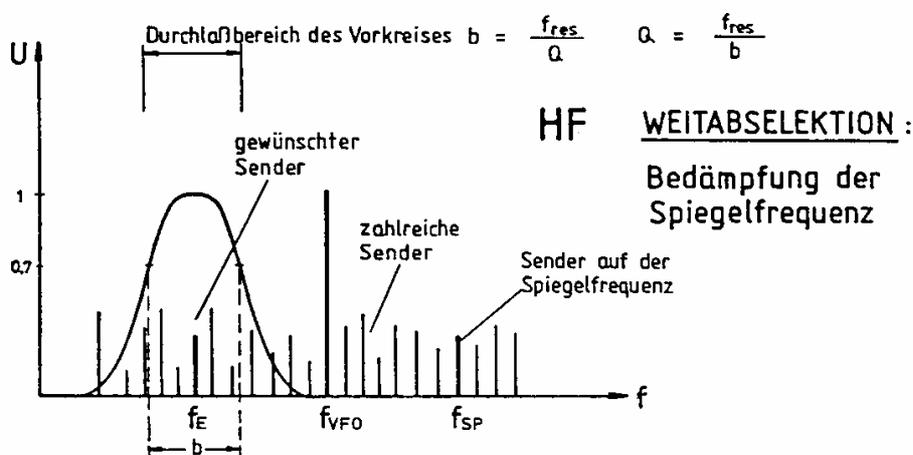
Empfang des unerwünschten Senders:

$$f_E - f_{VFO} = 4510 - 4055 = 455 \text{ kHz}$$

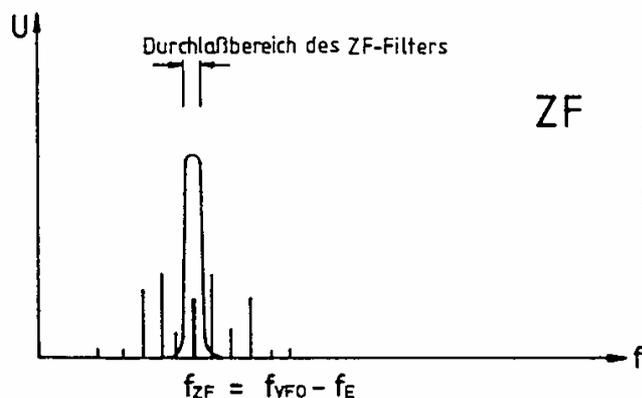
Ergebnis: Das ZF-Filter läßt beide Signale durch!



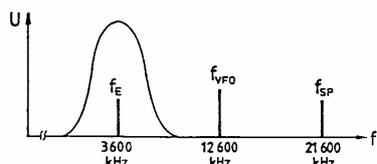
Dazu bauen wir vor dem RF-Vorverstärker wieder einen Bandpaß ein, der im Idealfall zusammen mit dem VFO in der Frequenz veränderbar ist. Die Bandbreite dieses Filters kann relativ groß sein; es soll ja nur die Spiegelfrequenz, die um $2 \times 455 \text{ kHz}$ höher liegt, unterdrückt werden.



HF WEITABSELEKTION :
Bedämpfung der Spiegelfrequenz



ZF NAHSELEKTION :
Bedämpfung der Nachbarkanalsender



Mit einer hohen ZF kann man den Vorkreis auch breitbandiger machen - beispielsweise so breit wie ein ganzes Amateurfunkband. Dann spart man sich die Abstimmbarkeit - was auf Kosten einer schwierigeren Nahselektion geht, wie die folgende Berechnung zeigt:

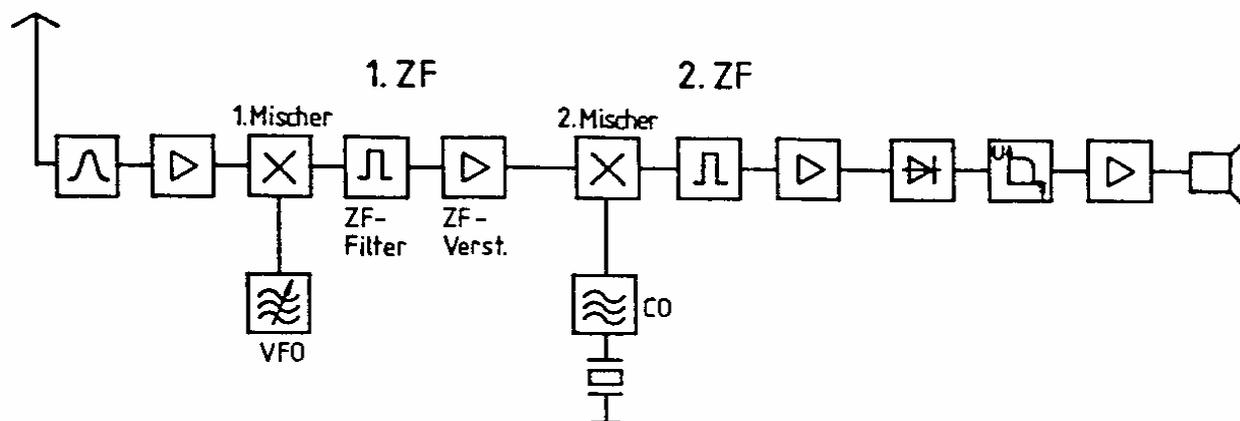
Bei 455 kHz bedeutet eine Bandbreite von 3 kHz (für SSB) eine Filter-Güte von $Q = \frac{f_{ZF}}{b}$ oder $Q = \frac{455}{3} = 150$. Das läßt sich mit Spulen- oder Keramik-Filtern noch realisieren.

Bei 9 MHz wird $Q = 3000$ und das ist nur mit teuren Quarzfiltern erreichbar.

Gibt es eine andere, elegantere Methode? Natürlich! Den **Doppel-Superheterodyne-Empfänger**, kurz **Doppelsuper**.

5. Der Doppelsuper

Beim Doppelsuper gibt es zwei VFOs - einen abgestimmten und einen, der auf einer festen Frequenz arbeitet. Und es gibt zwei Zwischenfrequenzen; jede mit akzeptablen Bandbreitelerfordernissen.



Das 1. ZF-Filter unterdrückt die Spiegelfrequenz(en). Dazu muß der Vorkreis eine Bandbreite haben, die nicht größer als die 1. ZF ist. Das Ausgangssignal nach dem 1. ZF-Filter und dem ZF-Verstärker wird vom 2. VFO auf die (niedrigere) 2. ZF umgesetzt.

Zur Berechnung der Frequenz des 2. VFO nehmen wir folgenden Fall an:

Signal	Beispiel 1	Beispiel 2
f_E	144 MHz bis 146 MHz	144 MHz bis 146 MHz
f_{VFO}	154,7 MHz bis 156,7 MHz	154,7 MHz bis 156,7 MHz
1. ZF	10,7 MHz	10,7 MHz
CO	11,155 MHz	
2. ZF	455 kHz	455 kHz

Der 2. VFO muß daher auf einer Frequenz schwingen, die als Differenz zur 1. ZF (10,7 MHz) die 2. ZF ergibt. Dazu gibt es zwei Möglichkeiten:

a) $f_{VFO} = 1.ZF + 2.ZF = 10,7 \text{ MHz} + 455 \text{ kHz} = 11,155 \text{ MHz}$

Eine Modulationsfrequenz bei z. B. 10,7 MHz + 1 kHz ergibt bei der Umsetzung :
 $11,155 - 10,701 = 454 \text{ kHz}$ also eine Spektrallinie, die 1 kHz unterhalb der Mittenfrequenz (oder des Trägers) liegt.

b) $f_{VFO} = 1.ZF - 2.ZF = 10,7 \text{ MHz} - 455 \text{ kHz} = 10,245 \text{ MHz}$

Eine Modulationsfrequenz bei z. B. 10,7 MHz + 1 kHz ergibt bei der Umsetzung :
 $10,701 - 10,245 = 456 \text{ kHz}$ also eine Spektrallinie, die 1 kHz oberhalb der Mittenfrequenz (oder des Trägers) liegt.

Was ist der Unterschied? Im ersten Fall werden durch die Umsetzung unteres und oberes Seitenband vertauscht, im zweiten Fall nicht. Das scheint also der richtige Fall zu sein...!?

Frage: Warum ist es genau umgekehrt? Antwort:

Merke: Beim Doppelsuper kann man durch Wahl der QRG des 2. VFO die Seitenbänder vertauschen. Da im Kurzwellenbereich unterhalb 10 MHz LSB-Betrieb und oberhalb 10 MHz USB-Betrieb gemacht wird, könnte man dies nutzbringend einsetzen.

6. Rauschen und Verzerrungen

Wenn das Eingangssignal eines Empfängers gerade so groß ist, wie das unweigerlich in jedem Bauteil, hier vor allem im ersten Transistor, entstehende **thermische Rauschen**, spricht man von einem Signal-zu-Rausch Verhältnis von 0dB. Signalleistung und Rauschleistung sind also gleich groß. Ist der Effektivwert des Nutzsignals um 3 dB höher als der des Rauschens (**noise**), beträgt das $S/N = 3$ dB.

Ein Empfänger oder Vorverstärker mit möglichst geringem Eigenrauschen ist also wünschenswert, um leise Signale noch aufnehmen zu können. Diese Eigenschaft beschreibt man mit der Rauschzahl F . Sie gibt an, um welchen Faktor die Eingangsrauschleistung den Wert übersteigt, den ein Widerstand bei gleicher Temperatur hätte. Somit bedeutet $F=2$, dass die Eingangsstufe das Signal/Rausch-Verhältnis um 3 dB verringert, also verschlechtert.

Da der erforderliche Signal/Geräuschabstand von der Modulationsart abhängt – CW kann bei einem S/N von 0 dB mit viel Erfahrung gerade noch „gelesen“ werden, während man für SSB beispielsweise ein S/N von 10 dB benötigt – muss man die Empfängerempfindlichkeit immer zusammen mit dem bei diesem definierten Eingangspegel erzielbaren S/N angeben. Also wie in Frage TF439: Eingangsempfindlichkeit = 0,25 μ V für $S/N = 10$ dB.

Um die Rauschzahl eines Verstärkers messtechnisch zu bestimmen vergleicht man das Verhältnis des S/N am Ausgang mit dem am Eingang und erhält damit

$$F = (S/N)_{\text{Ausgang}} / (S/N)_{\text{Eingang}}$$

Daraus ergibt sich das Rauschmaß wie üblich als $10 \cdot \lg(F)$. Bei $F=2$ also 3 dB

Großsignalfestigkeit

Eine zweite wichtige Eigenschaft eines Vorverstärkers oder Empfängers ist seine **Großsignalfestigkeit**. Dabei sind nicht nur die nichtlinearen Eigenschaften der ersten Verstärkerstufe von ausschlaggebender Bedeutung, sondern auch die der nachgeschalteten Stufen, in denen das Nutzsignal ja bereits höhere Pegel hat.

Immer wenn zwei Signale eine nicht ganz lineare Kennlinie aussteuern, entstehen Mischprodukte, die auch in den Empfangskanal fallen können und Phantomsignale vertäuschen, die es in Wirklichkeit gar nicht gibt.

Um dieses Verhalten zu messen gibt man zwei gleich große, aber eng benachbarte Sinus-Nutzsignale, die beide in den Durchlassbereich der letzten ZF-Stufe fallen, auf den Eingang des Prüflings und erhöht ihre Pegel schrittweise in festgelegten Stufen. Dabei beobachtet man die Pegel der Mischprodukte dritter Ordnung, also die Frequenzen $2 \cdot f_1 - f_2$ und $2 \cdot f_2 - f_1$, die ja beide ebenfalls in den Durchlassbereich fallen.

Bei jeder Pegelerhöhung erhöhen sich die Mischprodukte um den Faktor 3 stärker als die Nutzsignalerhöhung war. Trägt man nun die Wertepaare der Nutzsignale (beide gleich) und der Mischprodukte (auch beide gleich) in einer doppelt logarithmischen Grafik als zwei Kurven auf, schneiden sich die beiden (extrapolierten!) Geraden an einem Punkt, zu dem ein (hoffentlich) sehr hoher Eingangspegel gehört. Dabei kommt es nicht darauf an, ob der Empfänger oder Verstärker einen so hohen Pegel überhaupt verarbeiten könnte.

Den zu diesem Schnittpunkt gehörigen Eingangspegel nennt man **InterceptPunkt 3. Ordnung**, oder kurz **IP₃**. Je höher er ist, desto besser sind die Linearitätseigenschaften des Empfängers oder Verstärkers.