

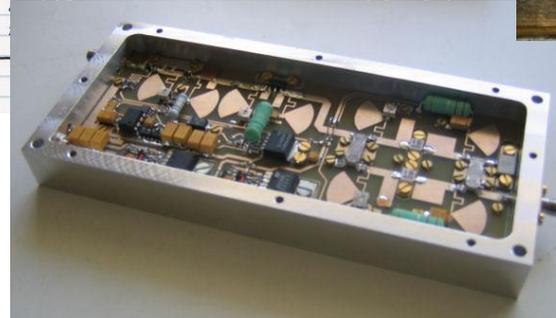
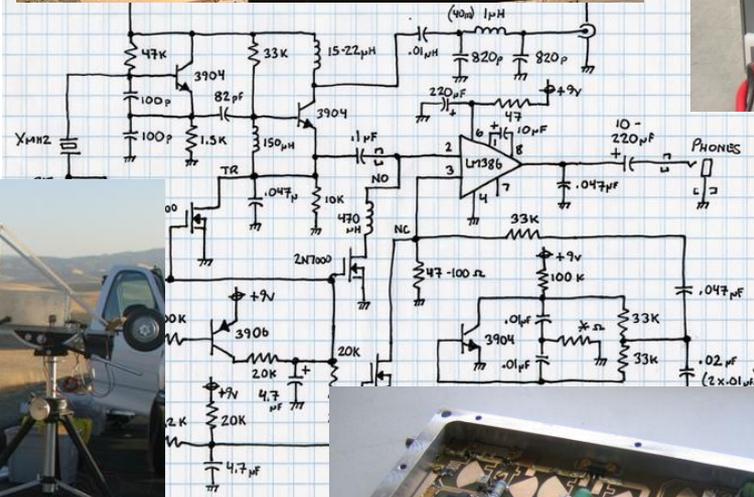
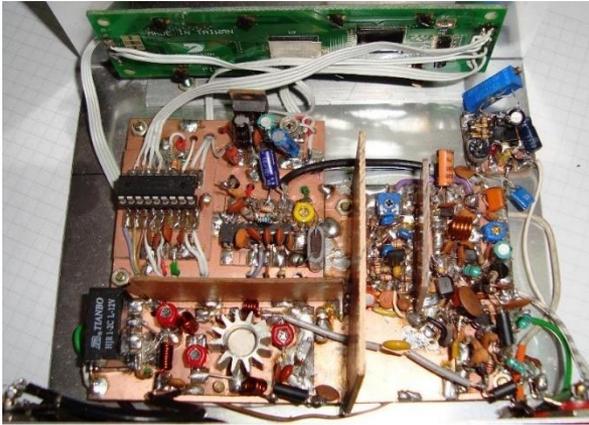


# P&S Amateurfunkkurs HS 2016

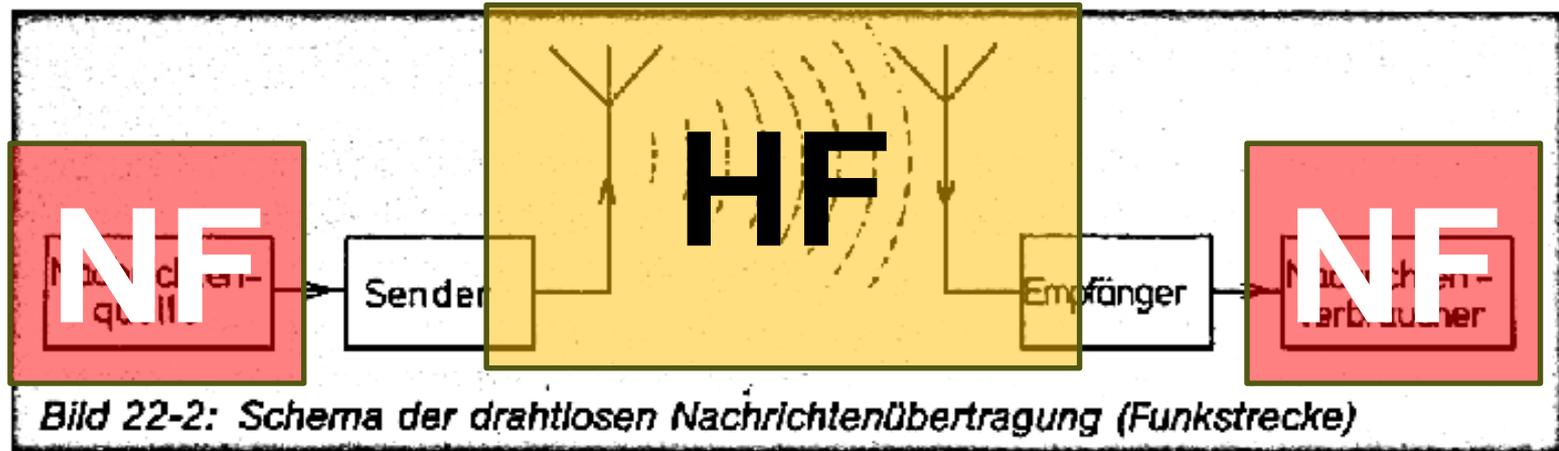
## Sender / Empfänger

Marco Zahner (mzahner@ethz.ch)

# HB9: Selbstbau Erlaubt!



# Prinzip



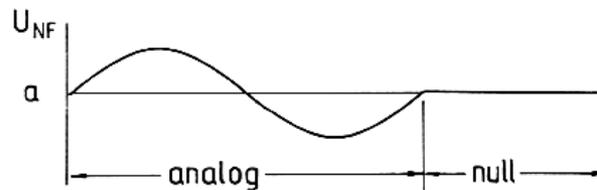
- **Sender:** Sprache/Morse/bits (NF) → HF-Signal
- **Empfänger:** HF-Signal → Sprache/Morse/bits (NF)

# Modulationsarten

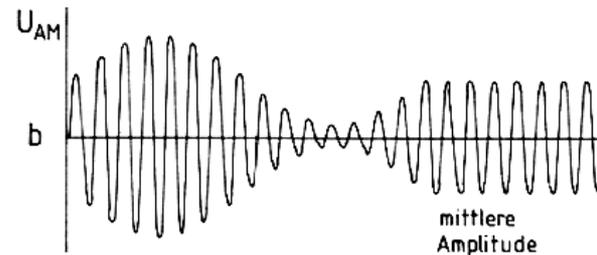
## Modulation: «Veränderung»

HF-Träger wird anhand des NF-Signals modifiziert

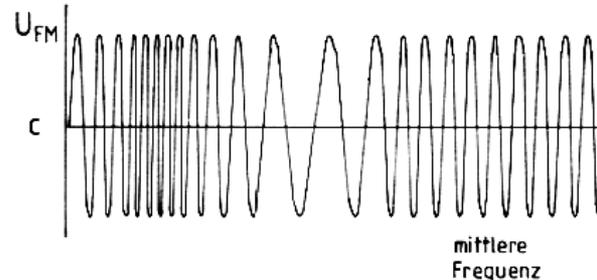
**Analog:**



**NF-Signal (Sprache/Audio)**



**Amplitudenmodulation (AM)**



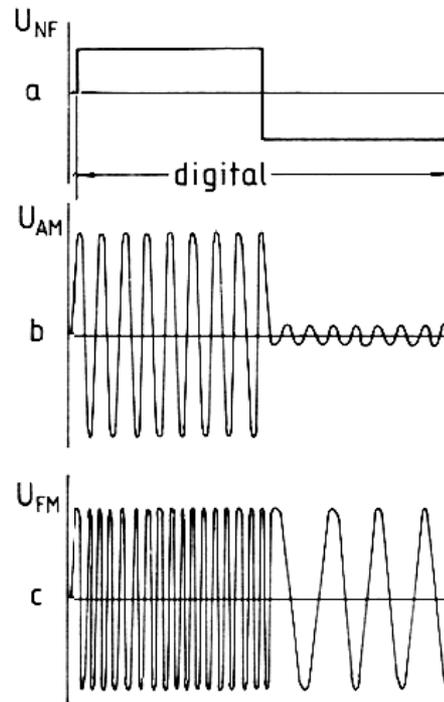
**Frequenzmodulation (FM)**

# Modulationsarten

## Modulation: «Veränderung»

HF-Träger wird anhand des NF-Signals modifiziert

**Digital:**



**NF-Signal (Bits)**

**Amplitude: ASK / OOK**

**Frequenz: FSK**

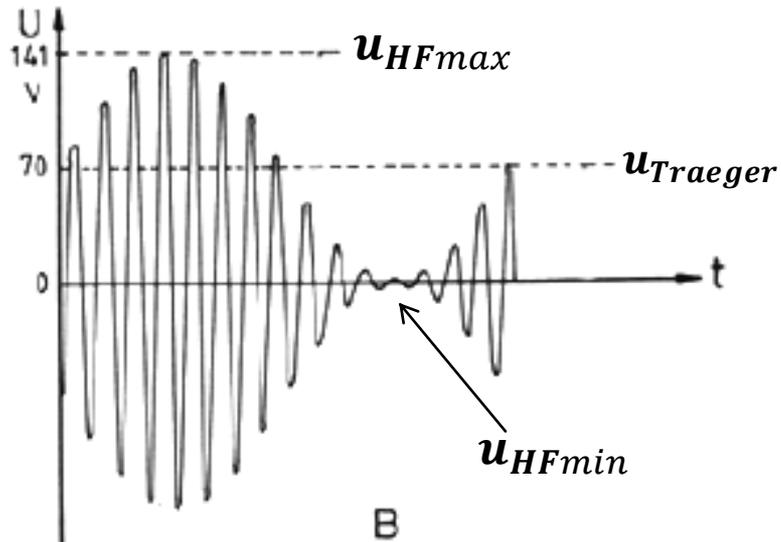
**Phase: PSK**

# Amplitudenmodulation (AM)

## Modulationsgrad

Stärke der Beeinflussung des Trägers durch NF-Signal

$$m = \frac{u_{HFmax} - u_{HFmin}}{u_{HFmax} + u_{HFmin}} = \frac{u_{HFmax} - u_{Traeger}}{u_{Traeger}}$$



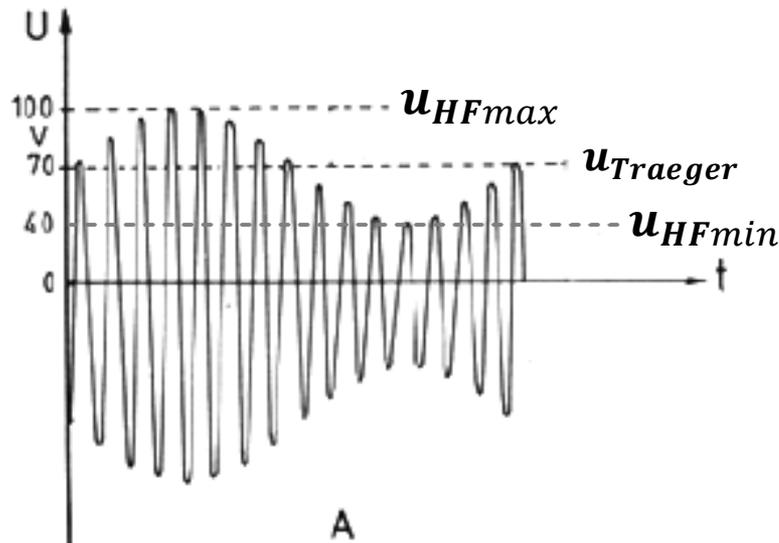
$$m = \frac{141V - 0V}{141V + 0V} = 1 = \mathbf{100\%}$$

# Amplitudenmodulation (AM)

## Modulationsgrad

Stärke der Beeinflussung des Trägers durch NF-Signal

$$m = \frac{u_{HFmax} - u_{HFmin}}{u_{HFmax} + u_{HFmin}} = \frac{u_{HFmax} - u_{Traeger}}{u_{Traeger}}$$

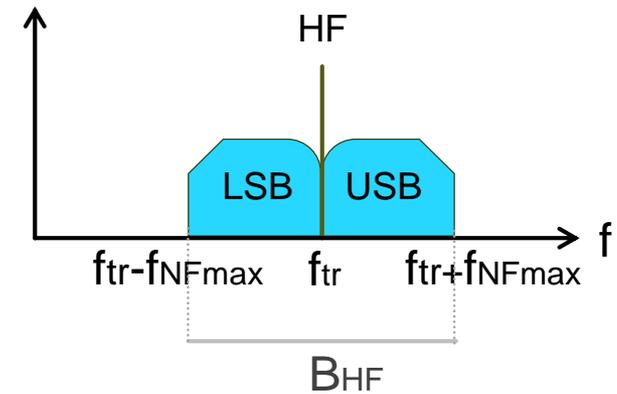
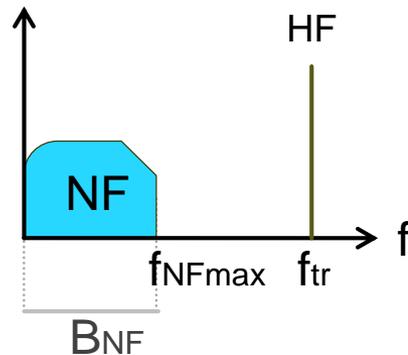


$$m = \frac{100V - 40V}{100V + 40V} = 0.43 = \mathbf{43\%}$$

$$m = \frac{100V - 70V}{70V} = 0.43 = \mathbf{43\%}$$

# Amplitudenmodulation (AM)

## Spektrum



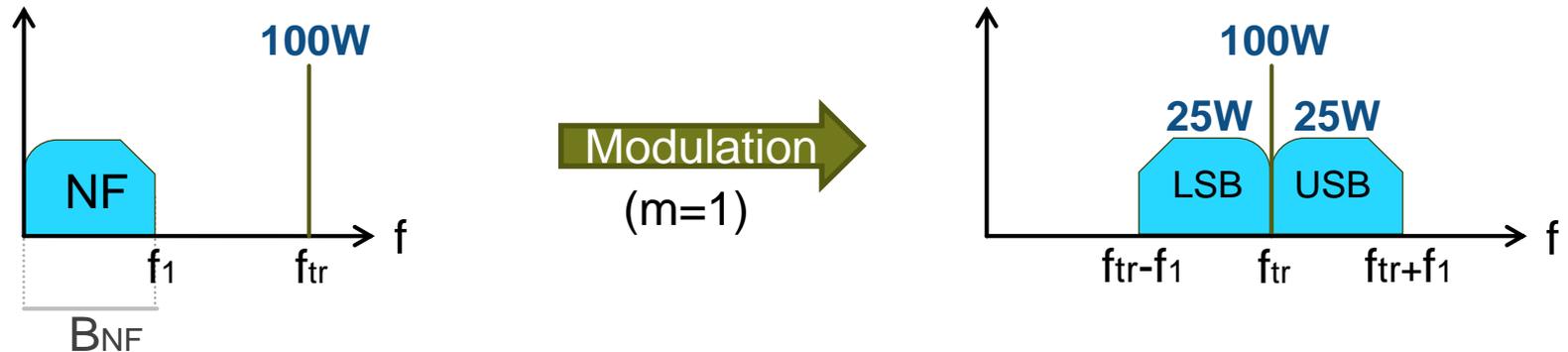
AM = Zweiseitenband-Modulation

AM Bandbreite:  $B_{HF} = 2 \times f_{NFmax}$

-> *Bandbreitenverschwendung?*

# Amplitudenmodulation (AM)

## Spektrum: Leistung



Gesamtleistung:  $P_{AM} = P_{Träger} \cdot (1+0.5 \cdot m^2)$

Träger enthält aber keine Information

-> *LeistungsverSchwendung?*

# Einseitenbandmodulation (SSB)

## Spektrum: Beispiel USB



Einseitenband-Modulation:  
Träger und eines der 2 Seitenbänder wird unterdrückt

$$B_{SSB} = B_{NF}$$

-> *Effiziente Nutzung von Bandbreite und Leistung*

# AM und SSB

5.12. HB3/HB9  
Ein SSB-Sender (J3E) wird mit Sprache im NF-Bereich von 0.3 - 3kHz  
moduliert.

Wie gross ist die Bandbreite der Aussendung?

Lösung: 2.7kHz

5.13. HB3/HB9  
Wie gross ist die Bandbreite einer AM-Aussendung (A3E) mit  
Modulationsfrequenzen von 0.3 - 3kHz?

Lösung: 6kHz ( $b = 2 \cdot NF_{\max}$ )

5.14. HB9  
Ein AM-Sender (A3E) wird mit einem Ton zu 100% moduliert.  
Wie gross ist die Leistung im oberen Seitenband im Verhältnis zur  
Leistung des Trägers?

Lösung: 25%

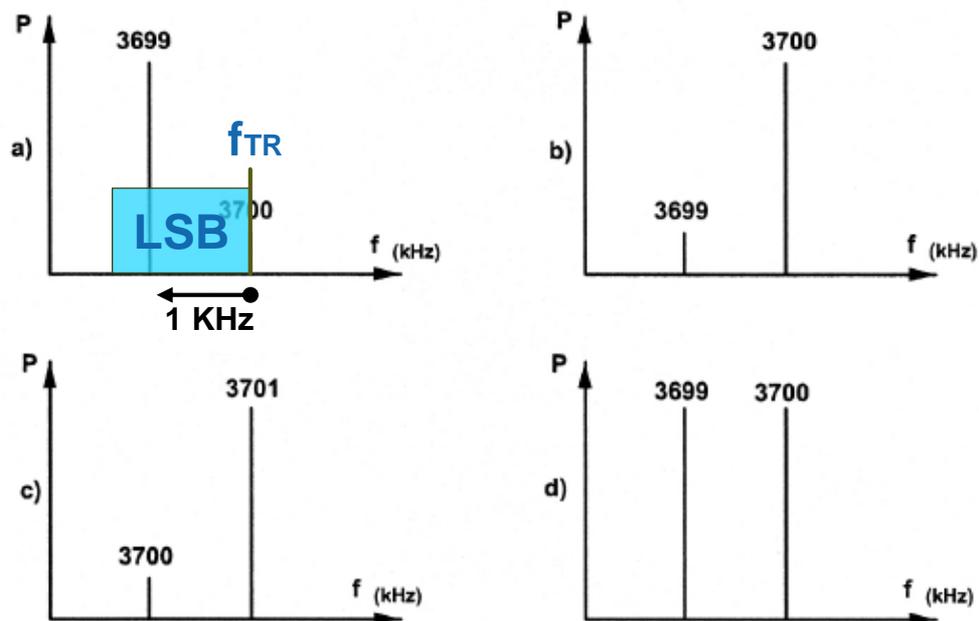
# AM und SSB

5.19.

HB9

Ein SSB-Sender (J3E) auf 3700kHz wird mit einem reinen Sinus-Ton von 1kHz im **unteren Seitenband** moduliert.

Welche spektrale Darstellung trifft für diesen Fall zu?



# Frequenzmodulation (FM)

## Prinzip :

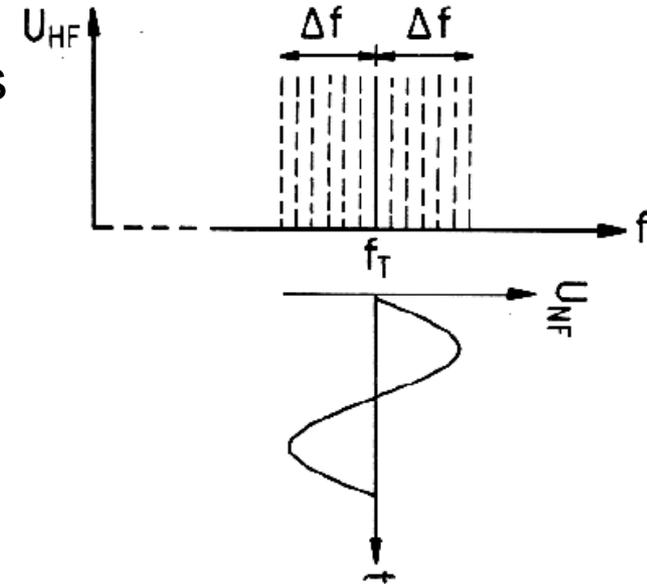
NF-abhängiger Frequenzshift des HF-Trägers

## Frequenzhub $\Delta f$

hängt von der Lautstärke des NF sowie dem Modulationsindex ab

**Modulationsindex:**  $m = \frac{\Delta f}{f_{\text{NFmax}}}$

Höchster Frequenzanteil im NF-Signal



**Bandbreite:**  $B \approx 2 \cdot (\Delta f + f_{\text{NFmax}})$

Amateurfunk: typische NF-Bandbreite 3 kHz

# Frequenzmodulation (FM)

5.10.

HB3/HB9

Wovon ist die belegte Bandbreite bei einem frequenzmodulierten Sender abhängig?

- a) von der Modulationsfrequenz und vom Frequenzhub
- b) von der Trägerleistung des Senders
- c) von der Trägerfrequenz des Senders
- d) von der Dauer der Übertragung

Lösung: a)

5.11.

HB3/HB9

Wie wird bei Frequenzmodulation (F3E) die Lautstärke-Information übertragen?

- a) mit Hilfe der Preemphasis
- b) mit der Amplitude des HF-Signals
- c) mit der Geschwindigkeit der Frequenzauslenkung
- d) mit der Grösse der Frequenzauslenkung

Lösung: d)

# Modulationsarten

## Internationale Bezeichnung

# X#X

<b>Verfahren</b>	<b>A</b> (AM); <b>F</b> (FM); <b>J</b> (SSB); <b>R</b> (Rest-SB); <b>G</b> (Phasenmod.)
<b>Art der Modulation</b>	<b>1</b> (digital, direkt); <b>2</b> (digital, mit HT); <b>3</b> (analoges Signal)
<b>Inhalt</b>	<b>A</b> (Morse); <b>B</b> (Fernschr.); <b>C</b> (FAX); <b>E</b> (Sprache, Audio)

Betriebsart	Abkürzung	Bezeichnung
<b>Morsetelegraphie</b>	CW (Continuous wave)	<b>A1A</b>
<b>Telephonie</b>		
Amplitudenmodulation	AM	<b>A3E</b>
Einseitenbandmodulation	SSB (LSB/USB)	<b>J3E</b>
Frequenzmodulation	FM	<b>F3E</b>

## Beispiele:

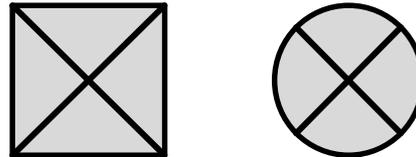
# Sender / Empfänger

## Komponenten und Funktionsblöcke

# Komponenten

## Der Mischer

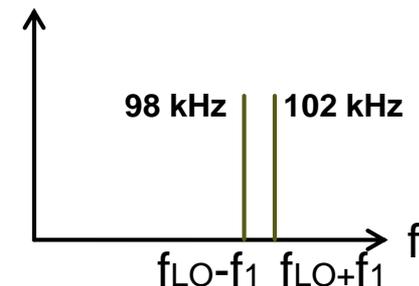
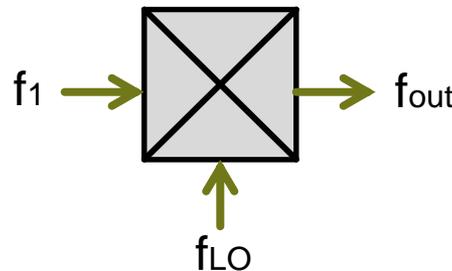
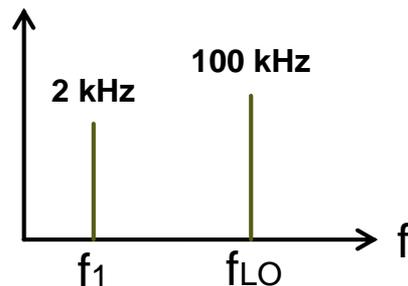
Symbole:



### Idealer Mischer = Multiplizierer

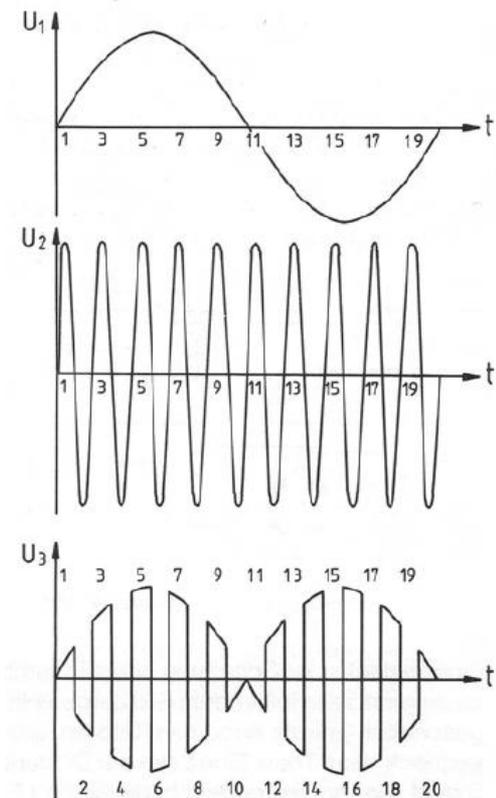
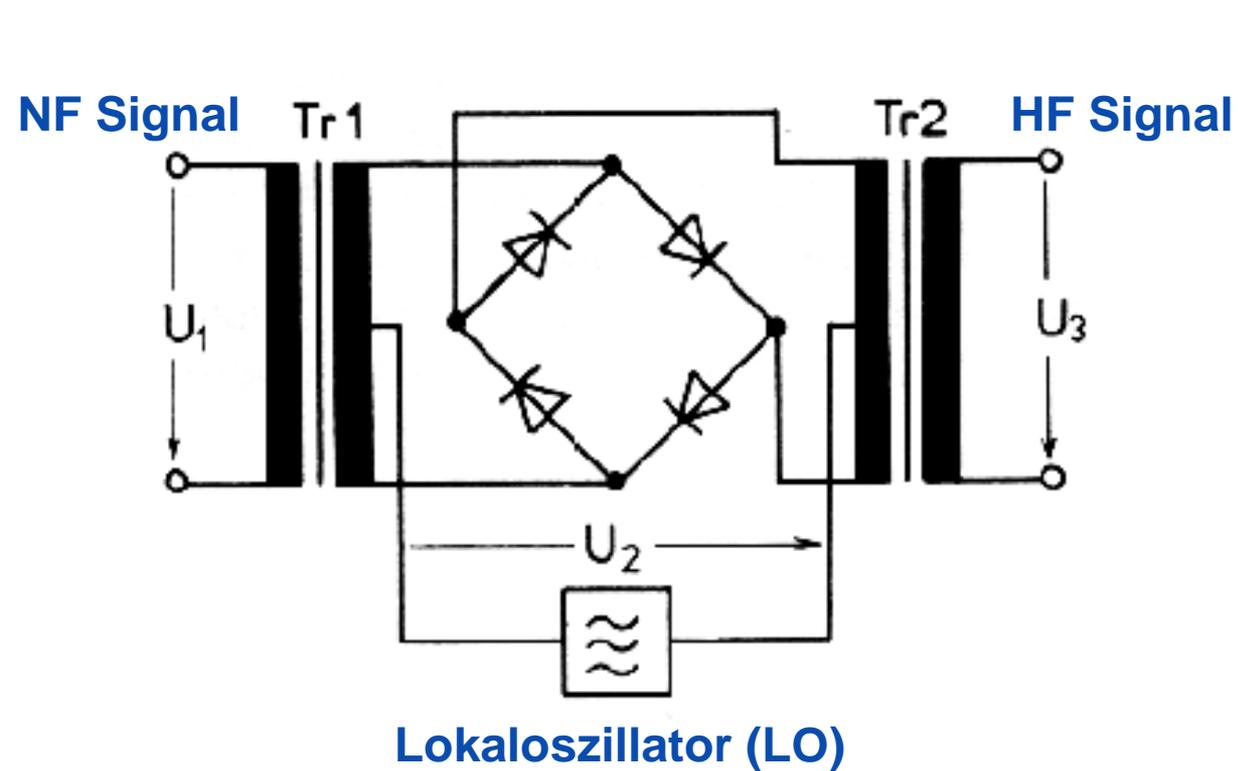
Anwendung: Frequenzumsetzung

$$A \cdot \cos(\omega_1 t) \cdot B \cdot \cos(\omega_{LO} t) = A \cdot B \cdot (\cos(\omega_1 t + \omega_{LO} t) + \cos(\omega_1 t - \omega_{LO} t))$$



# Komponenten

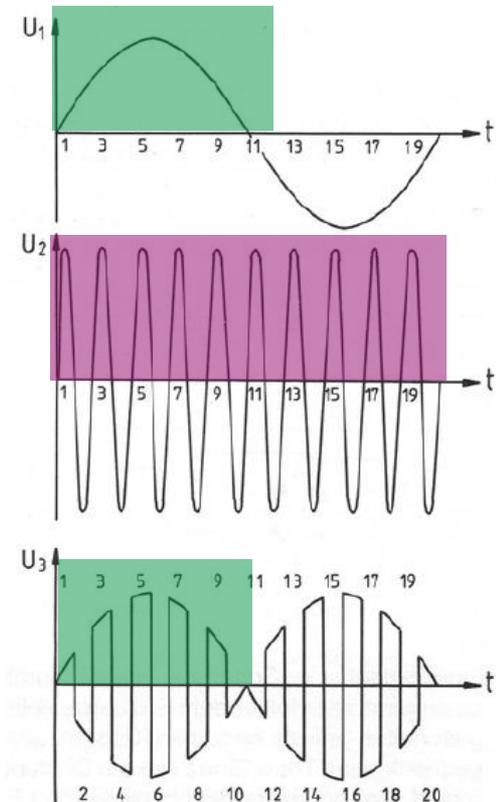
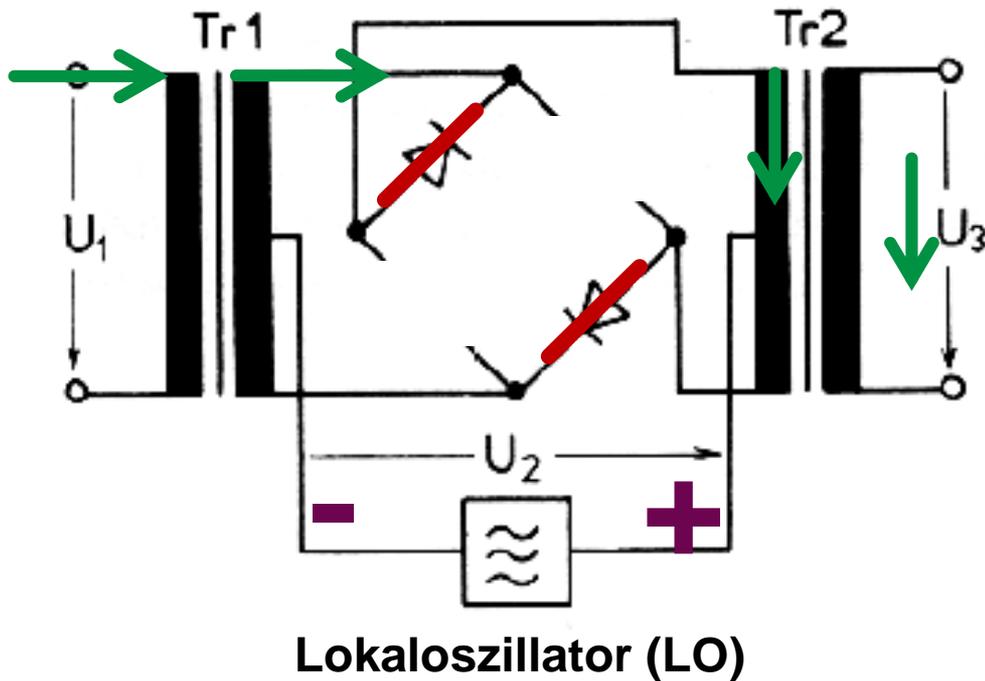
## Mischer: Beispiel Ringmodulator



# Komponenten

## Mischer: Beispiel Ringmodulator

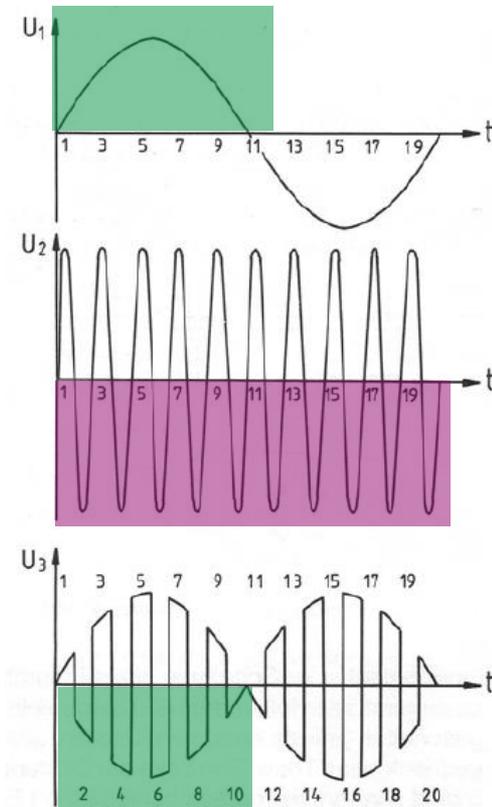
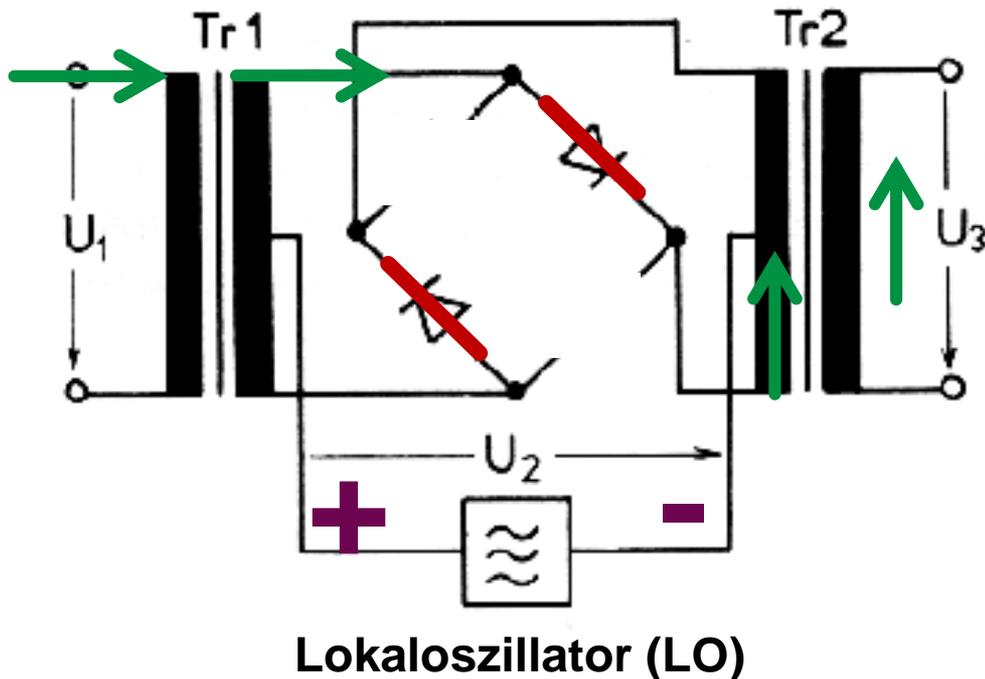
$U_2$  positiv: Dioden 1+3 leiten, 2+4 sperren



# Komponenten

## Mischer: Beispiel Ringmodulator

$U_2$  negativ: Dioden 1+3 sperren, 2+4 leiten  
 -> Vorzeichenwechsel von  $U_3$

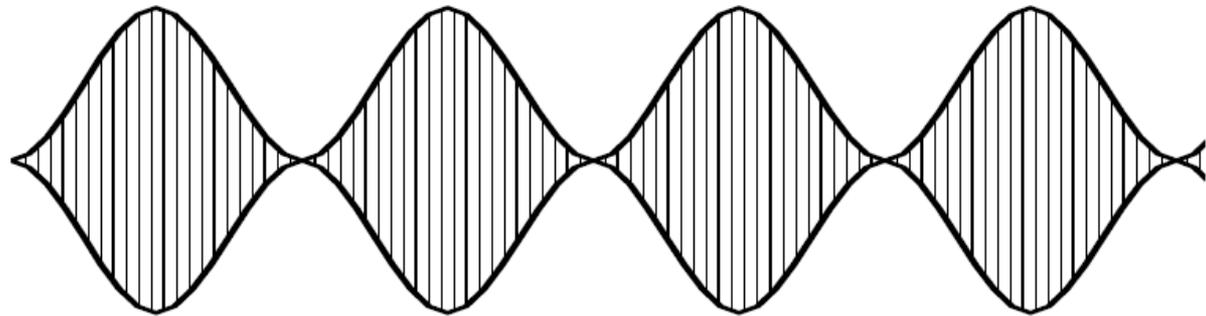


# Komponenten

## SSB vs. Amplitudenmodulation

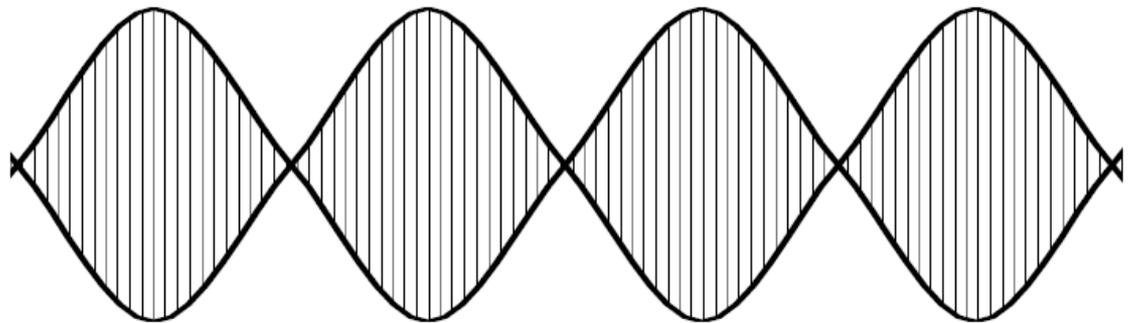
**AM**

100% Modulationsgrad



**SSB**

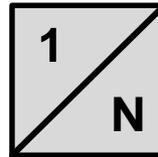
(2-Ton test)



# Komponenten

## Frequenzvervielfacher

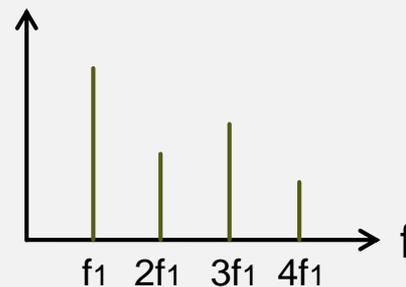
Symbol:



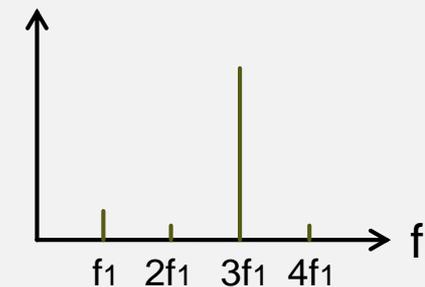
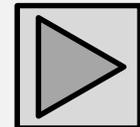
### 1. Eingangssignal



### 2. Verzerrung nichtlineare Kennlinie



### 3. Filterung (+Verstärkung)



# Komponenten

## Frequenzvervielfacher

5.3.

HB3/HB9

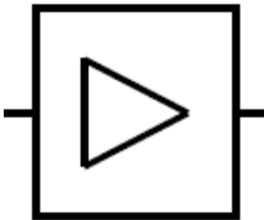
Was ist ein Frequenzvervielfacher?

- a) Eine Baugruppe mit linearer Kennlinie, deren Ausgangsschwingkreis auf die Eingangsfrequenz abgestimmt ist.
- b) Eine Baugruppe mit linearer Kennlinie, deren Ausgangsschwingkreis auf ein Vielfaches der Eingangsfrequenz abgestimmt ist.
- c) Eine Baugruppe mit nichtlinearer Kennlinie, deren Ausgangsschwingkreis auf die Eingangsfrequenz abgestimmt ist.
- d) Eine Baugruppe mit nichtlinearer Kennlinie, deren Ausgangsschwingkreis auf ein Vielfaches der Eingangsfrequenz abgestimmt ist.

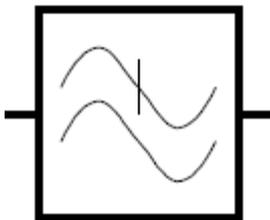
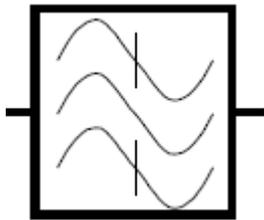
Lösung: d)

# Komponenten

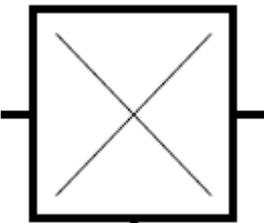
## Schaltbilder: Symbole



Verstärker (z.T. mit Zusatzangaben wie Driver, PA, LNA)



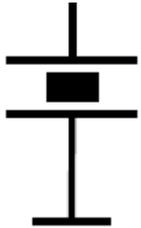
Frequenz-Filter: Bandpassfilter, Tiefpassfilter



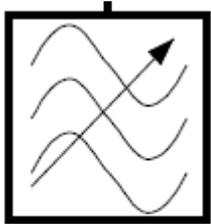
Mischer

# Komponenten

## Schaltbilder: Oszillatoren



Quarz-Oszillator (fixe Frequenz)

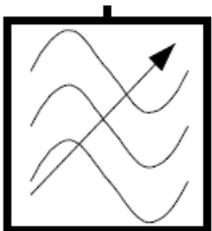


Oszillator mit einstellbarer Frequenz

**VFO**: Variable Frequency Oscillator

**VCO**: Voltage Controlled Oscillator (Teil jeder PLL-Schaltung)

VFO



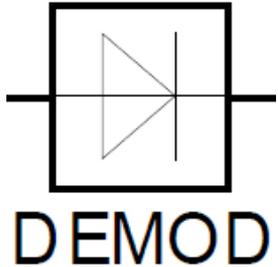
Oszillator mit einstellbarer Frequenz: **BFO** = Beat Frequency Oscillator

Letzter Lokaloszillator bei **SSB-Empfängern**

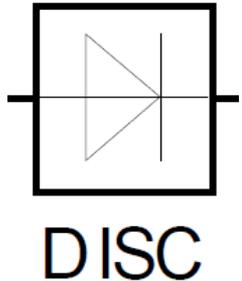
BFO

# Komponenten

## Schaltbilder: Demodulation



Demodulator für **AM-Signale**: Gleichrichter



Demodulator für **FM-Signale**: Diskriminator



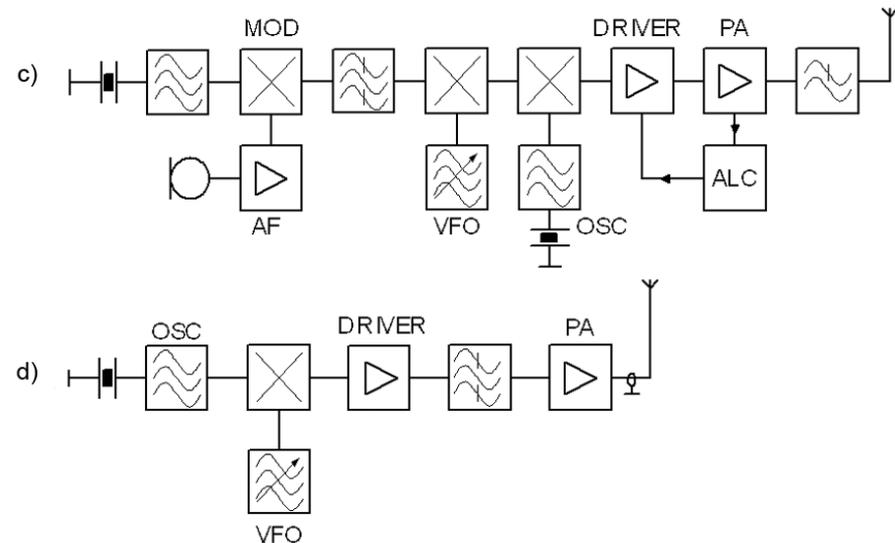
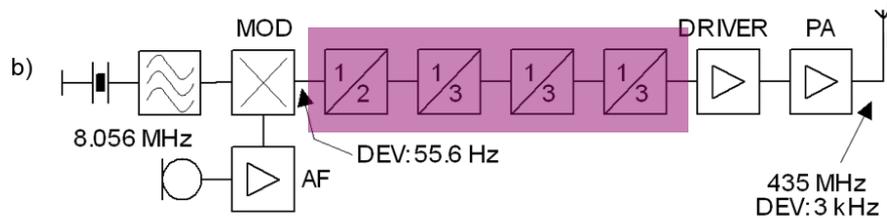
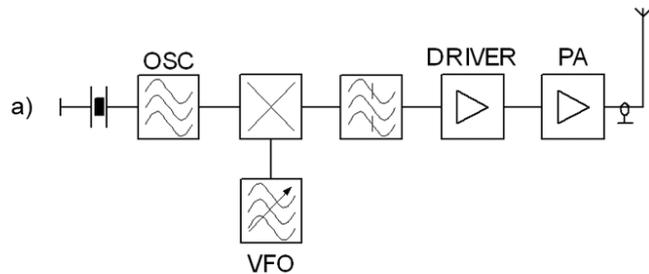
Phasenkomparator: Teil jeder PLL-Schaltung  
Teil des PLL-Demodulators für **FM-Signale**

# Sender

# Sender: AM und FM

## Frage 5.2

Welches Blockschaltbild zeigt einen Sender der nach dem Prinzip der Frequenzvervielfachung arbeitet?

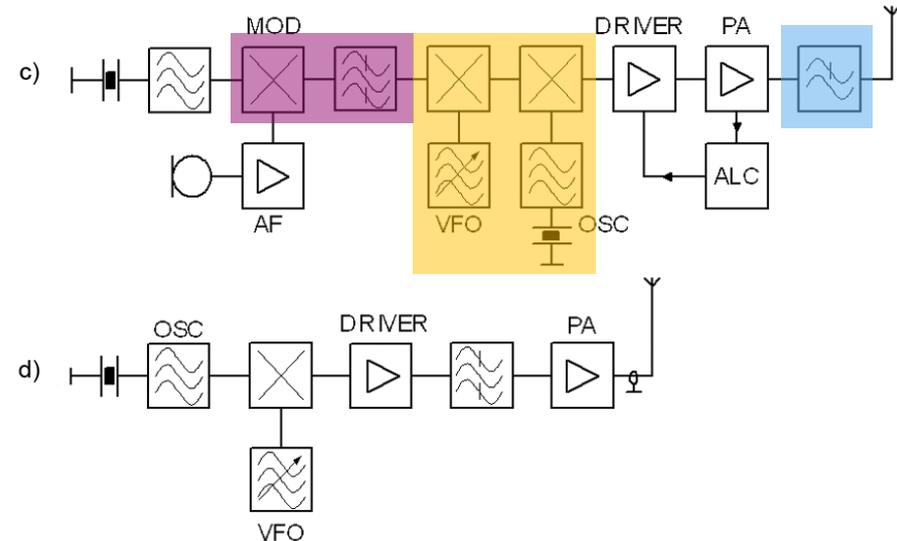
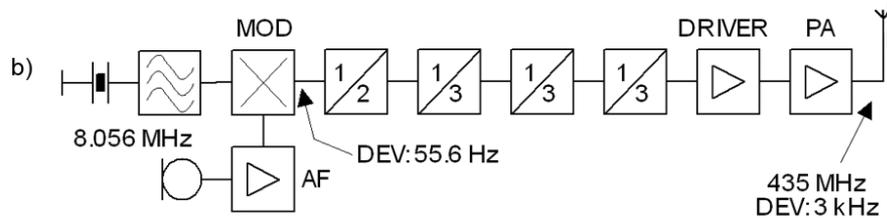
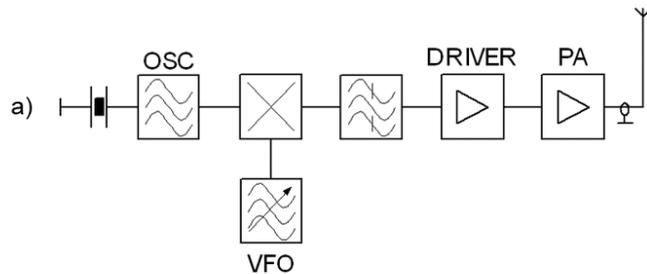


**Frequenzvervielfachung:** Stabilität und Präzision eines Quarzoszillators auch bei höheren Trägerfrequenzen. FM «überlebt» die Vervielfachung (Frequenzhub skaliert mit N)

# Sender: SSB

## Frage 5.4

Welches der folgenden Blockschaltbilder stellt einen SSB-Sender (J3E) dar?



**SSB Sender:** NF-Modulator mit Bandpassfilter (Unterdrückung von Träger und eines Seitenbandes); VFO zur Frequenzeinstellung **erst danach**.

# Empfänger

# Empfänger

## Empfänger: Demodulation

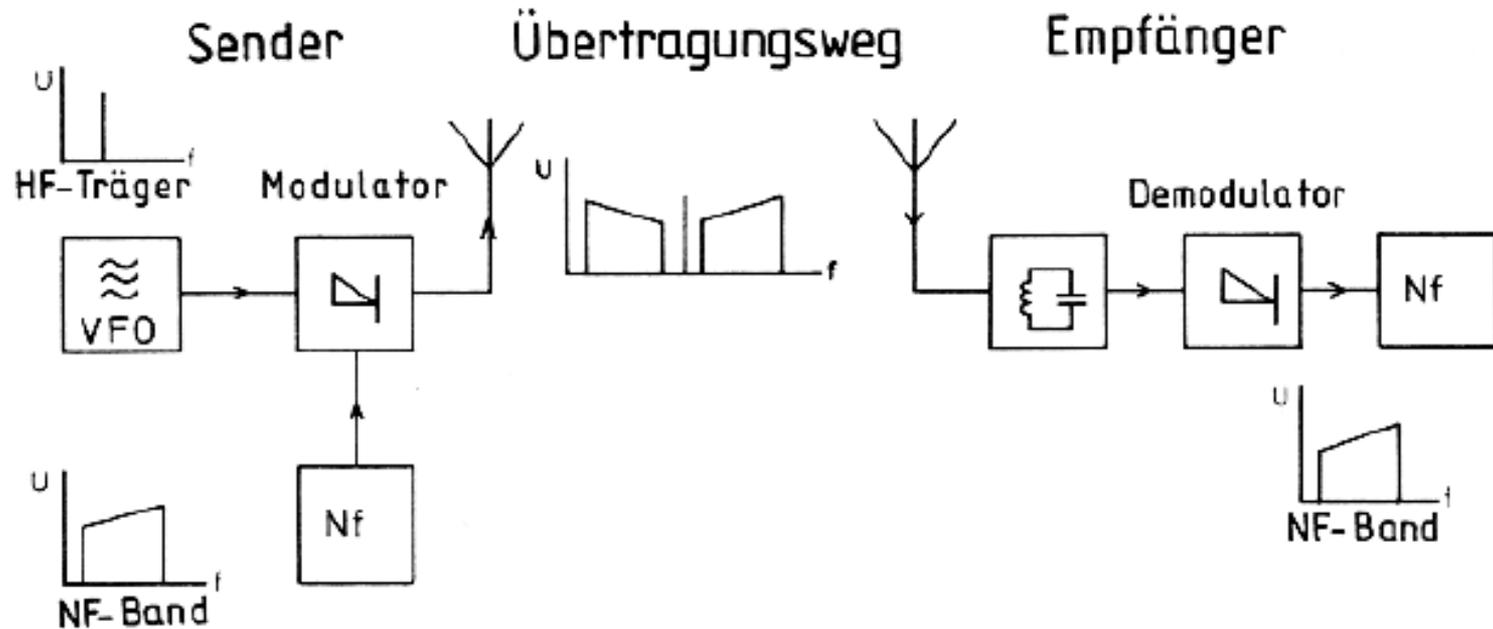


Bild 26-1: Das Prinzip der Funkübertragung

# Empfänger

## Demodulation: AM

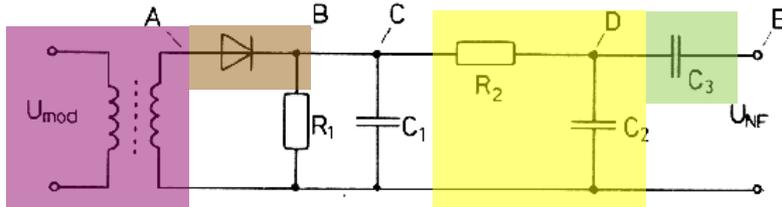


Bild 26-2: AM-Demodulator

**AM-Geradeausempfänger:**  
 Gleichrichtung +  
 Tiefpassfilterung  
 (Diodendetektor)

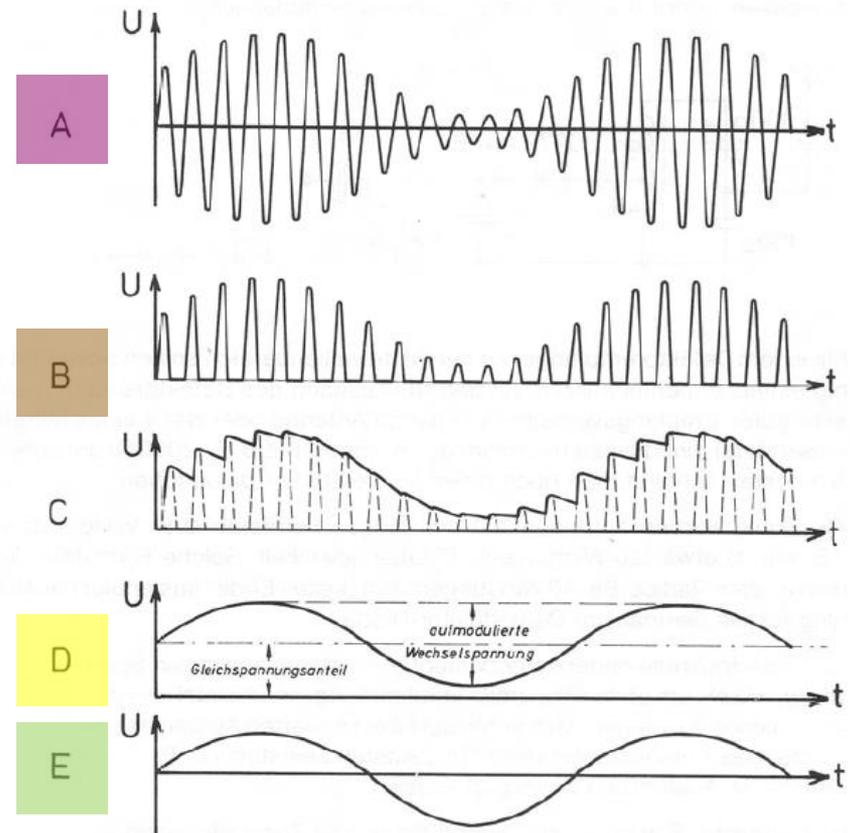


Bild 26-3: Demodulationsvorgang bei AM

# Empfänger

## Demodulation: FM

### Beispiel FM-Geradeausempfänger: Diskriminator

Filterflanke (LC) -> «AM» -> Diodendetektor

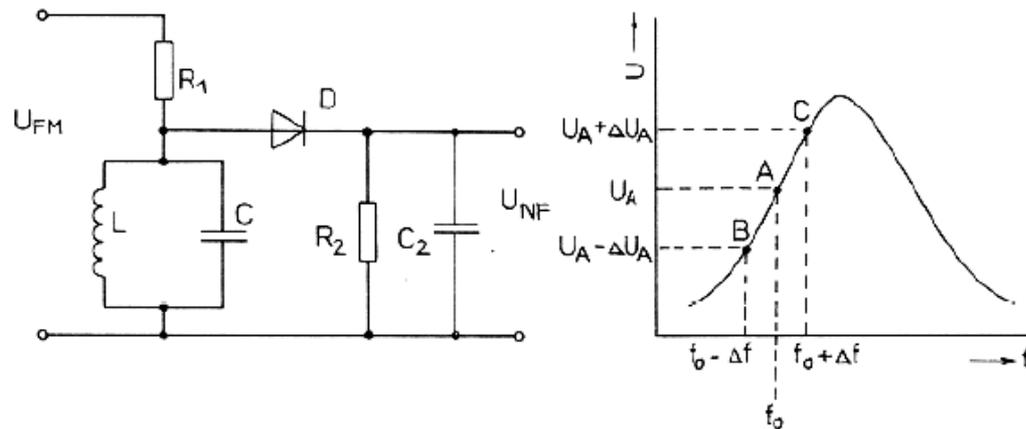


Bild 26-18: Flankendemodulator

**Heute weitaus üblicher: Demodulation mit PLL (Phase Locked Loop)**

# Empfänger

## Demodulation: SSB

**Produkt-detektor:** SSB Signal wird mit lokal erzeugtem Trägersignal (BFO) ins Basisband (NF) heruntergemischt («Produkt»)

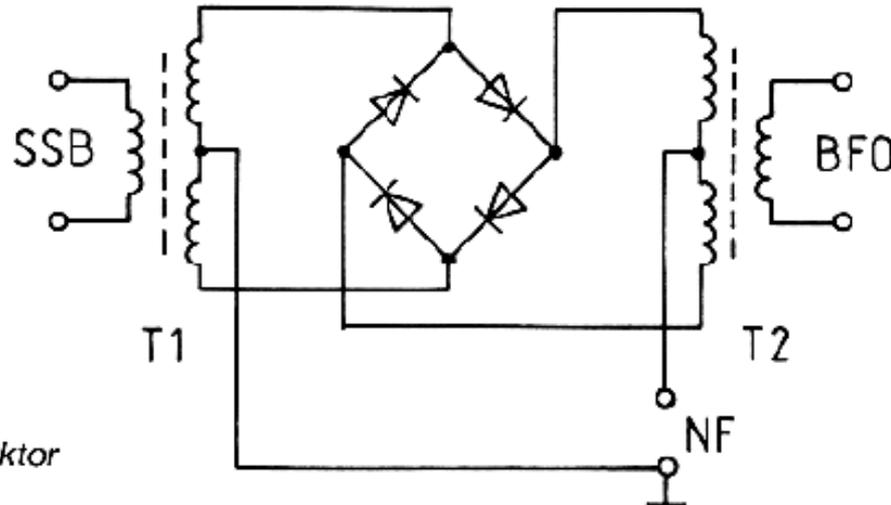


Bild 26-15: Ringmodulator  
als Produkt-detektor

## Fragen: SSB

3.89.

HB9

Wie arbeitet der Produktdetektor zur Demodulation von SSB (J3E)?

- a) Das SSB-Signal wird mit Hilfe einer Gleichrichterschaltung demoduliert.
- b) Das SSB-Signal wird mit Hilfe eines Diskriminators demoduliert.
- c) Das SSB-Signal wird mit einem zusätzlichen Träger gemischt und dann demoduliert.
- d) Das SSB-Signal wird demoduliert und dann mit einem 800Hz Ton gemischt.

Lösung: c)

# Empfänger

## Empfängerprinzipien

### Geradeausempfänger:

HF-Signal wird direkt demoduliert.  
(d.h. Eingangsfrequenz)

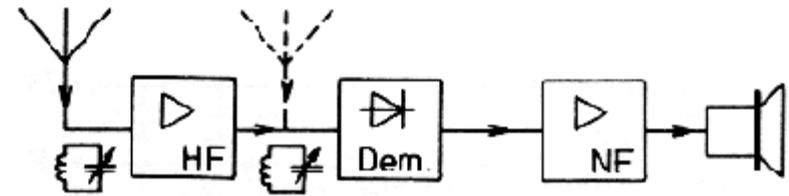


Bild 27-1: Prinzip des Geradeaus-Empfängers

*Kanaleinstellung: Eingangsfrequenz*

### Überlagerungsempfänger:

Signal wird vor der Demodulation  
(z.T. mehrmals) heruntergemischt.

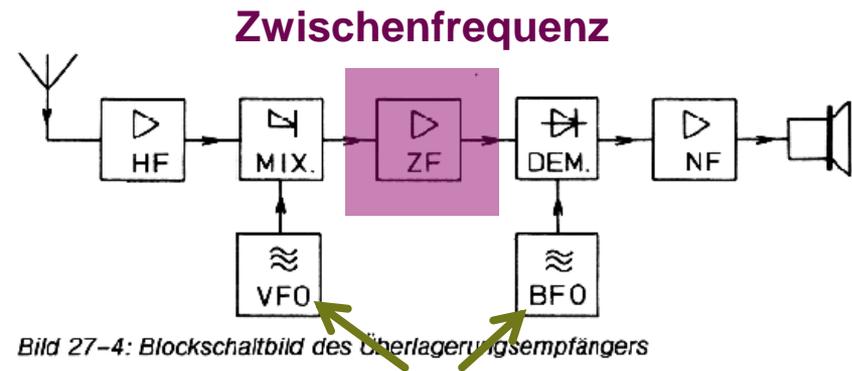
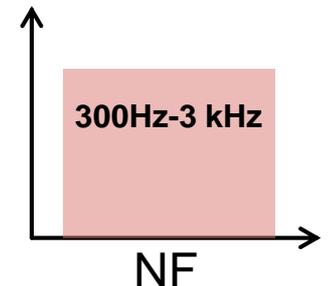
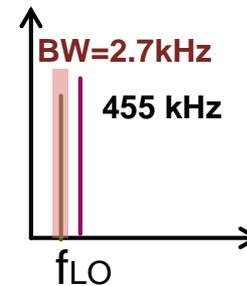
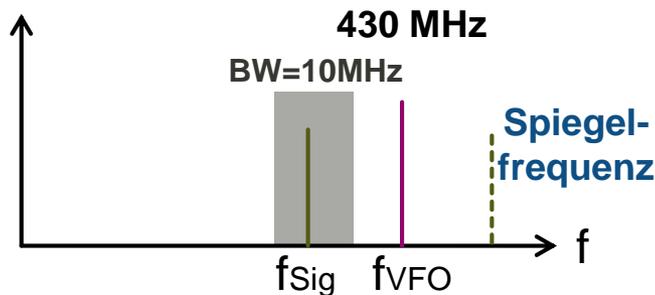
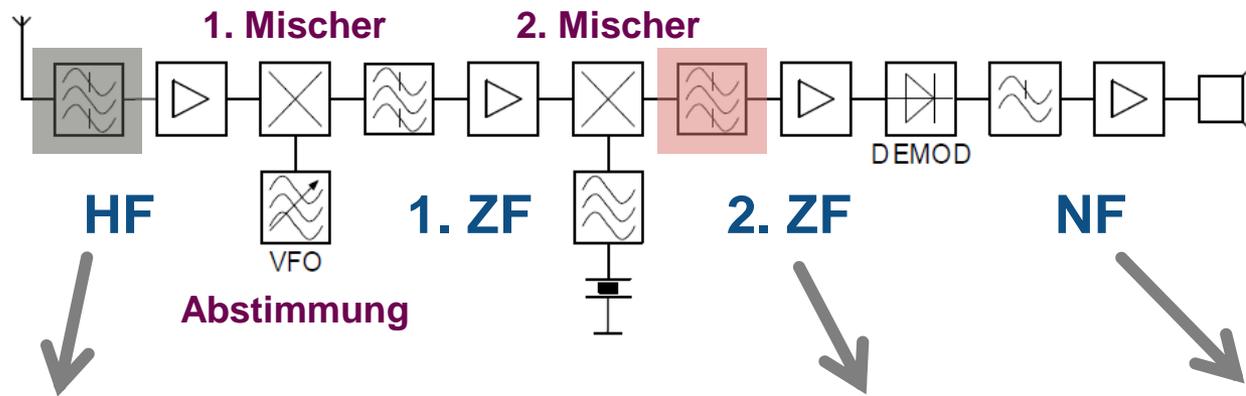


Bild 27-4: Blockschaubild des Überlagerungsempfängers

*Kanaleinstellung: LO-Frequenz*

# Empfänger

## 2fach Überlagerungsempfänger «Doppel-Superheterodynempfänger»



# Empfänger

4.1.

HB3/HB9

Welcher Unterschied besteht im technischen Konzept zwischen einem Geradeaus- und einem Überlagerungs-Empfänger?

- a) Beim Geradeaus-Empfänger erfolgt die Demodulation auf der Empfangsfrequenz.
- b) Beim Geradeaus-Empfänger erfolgt die Demodulation auf der Zwischenfrequenz.
- c) Beim Überlagerungs-Empfänger ist die demodulierte NF-Spannung grösser.
- d) Beim Überlagerungs-Empfänger erfolgt die Demodulation auf der Empfangsfrequenz.

Lösung: a)

# Empfänger

4.2. HB9

Welches sind die zwei wichtigsten Vorteile eines Doppelsuper „Double Conversion“ Empfängers?

- a) höhere Spiegelfrequenz-Dämpfung und kleinere Trennschärfe
- b) kleinere Spiegelfrequenz-Dämpfung und grössere Trennschärfe
- c) kleinere Spiegelfrequenz-Dämpfung und grössere ZF-Verstärkung
- d) höhere Spiegelfrequenz-Dämpfung und grössere Trennschärfe

Lösung: d)

4.5. HB9

Warum muss bei einem Empfänger die erste Zwischenfrequenz möglichst hoch gewählt werden?

- a) Damit eine hohe Selektivität erreicht werden kann.
- b) Damit eine hohe Verstärkung erreicht werden kann.
- c) Damit die Spiegelfrequenz ausserhalb des benutzten Frequenzbandes liegt.
- d) Damit eine hohe Stabilität des Überlagerungsoszillators erreicht werden kann.

Lösung: c)

# Empfänger

4.21.

HB9

Ein Überlagerungsempfänger ist auf 14.200MHz abgestimmt. Er empfängt ein Spiegelfrequenzsignal von 15.110MHz. Mit welcher Oszillator- und Zwischenfrequenz arbeitet dieser Empfänger?

Lösung:  $f_o = 14.655\text{MHz}$ ,  $f_{ZF} = 455\text{kHz}$

4.22.

HB9

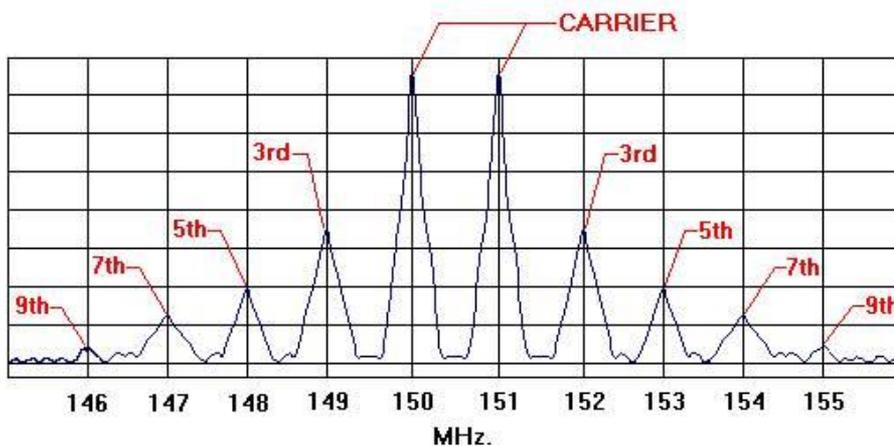
Ein Empfänger ist auf die Empfangsfrequenz 435.250MHz eingestellt. Der Empfangsoszillator schwingt auf der Frequenz 413.850MHz. Welches ist die Spiegelfrequenz?

Lösung: 392.450MHz

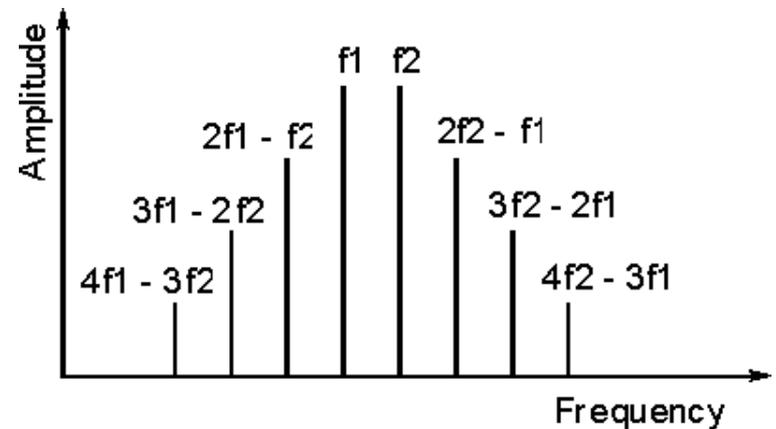
# Empfänger

## Intermodulation

Unerwünschtes Mischen von Eingangssignalen beim Empfänger



Spectral Display of Carriers and 3rd, 5th, 7th and 9th Odd Order Products



Problem tritt bei Sättigung des Empfängers (starke Störer) auf

# Empfänger

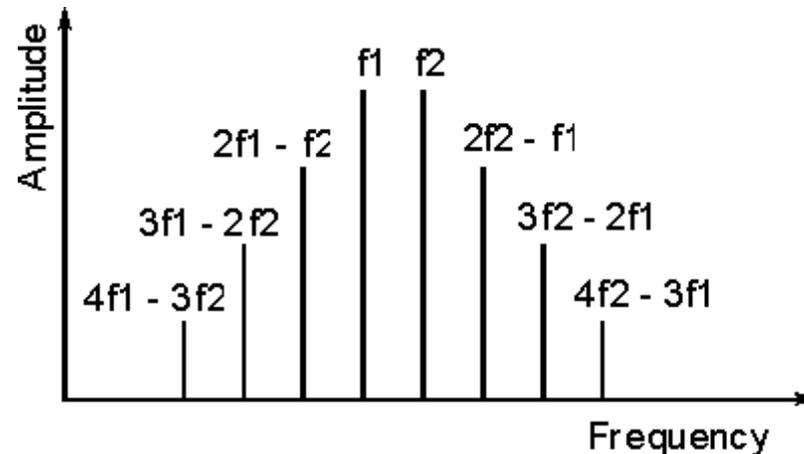
4.26.

HB9

Ein Empfänger wird durch zwei Empfangssignale von 14.200MHz und 14.250MHz übersteuert.

Auf welchen Frequenzen im 20m-Band entstehen Intermodulationsprodukte dritter Ordnung?

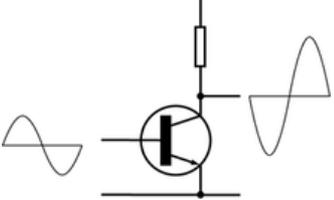
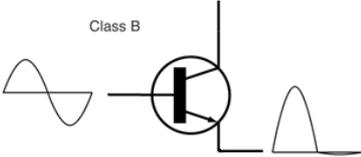
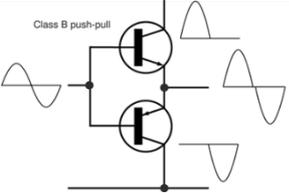
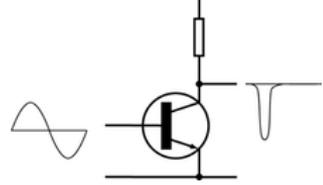
Lösung: 14.150 und 14.300MHz



# Verstärker

# Verstärker

## Verstärkerklassen

<b>Klasse A</b>		<p><b>Arbeitspunkt im linearen Bereich; TR Leitet immer!</b>          + hohe linearität, einfacher Aufbau          - Niedrige Effizienz (max. 25%)</p>
<b>Klasse B</b>	 <p>Class B</p>	<p><b>Transistor leitet nur eine Halbwelle</b>          + Effizienz (&gt;70%)          - Hoher Grad an Verzerrungen</p>
<b>Klasse AB</b>	 <p>Class B push-pull</p>	<p><b>2 Transistoren leiten abwechselungsweise</b>          + Wesentlich effizienter als Klasse A          - Gewisse Verzerrungen beim Nulldurchgang</p>
<b>Klasse C</b>		<p><b>Transistor meist ganz ein oder ganz aus</b>          + Hohe Effizienz (bis 90% möglich)          - BPF am Ausgang nötig / schmalbandig</p>

# Verstärker

5.24.

HB9

In welcher Verstärkerklasse betreibt man die Endstufe eines FM-Senders, um einen optimalen Wirkungsgrad zu erreichen?

- a) Klasse A
- b) Klasse B
- c) Klasse C
- d) Klasse AB

Lösung: c)

5.25.

HB9

In welcher Verstärkerklasse fließt bei einer Endstufe der grösste Ruhestrom?

- a) Klasse A
- b) Klasse B
- c) Klasse C
- d) Klasse AB

Lösung: a)

# Verstärker

5.26.

HB9

Welche Verstärkerbetriebsart (Verstärkerklasse) hat den grössten Wirkungsgrad?

- a) Klasse A
- b) Klasse B
- c) Klasse C
- d) Klasse AB

Lösung: c)

5.27.

HB9

In welcher Verstärkerklasse fliesst bei einer Endstufe der kleinste Ruhestrom?

- a) Klasse A
- b) Klasse B
- c) Klasse C
- d) Klasse AB

Lösung: c)

**Fragen?**

**Beantworten wir gerne beim**

**Apéro**