

# AfuTUB-Kurs

## Technik Klasse A 18: Gerätetechnik

DL0XK

Amateurfunk Forschungs Gruppe der TU Kaiserslautern

<https://www.amateurfunk.uni-kl.de/home/>



This work is licensed under the *Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 License*.

Amateurfunkgruppe der Technische Universität Kaiserslautern, DL0XK, Stand: Sat Aug 24 03:05:11 2019 +0200  
basierend auf dem Kurs der Amateurfunkgruppe der Technische Universität Berlin (AfuTUB), DKØTU

Überblick

Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

HF-Regelung

AGC

Squelch

Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

Großsignalfestigkeit

Transceiver

Referenzen

# Überblick

Themen aus dem Kapitel *E15 - Sender- und Empfängertechnik* werden hier weiterführend behandelt.

Woraus bestehen Sender und Empfänger und welche Haupteigenschaften fallen euch ein?

AfuTUB-Kurs

Technik A 18

Überblick

Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

HF-Regelung

AGC

Squelch

Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

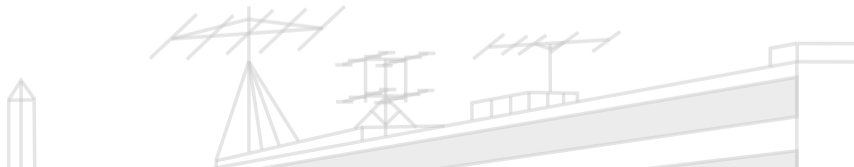
Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

Großsignalfestigkeit

Transceiver

Referenzen



# Wiederholung SNR

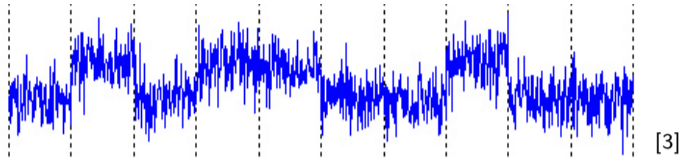


Abb. 1: Empfangenes Signal von 0101100100 mit einem SNR von 3dB

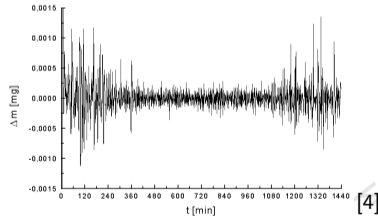


Abb. 2: Aufnahme einer Thermogravimetrischen Analyse mit schlechter Isolierung; nachts ist weniger Rauschen

Überblick

Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

HF-Regelung

AGC

Squelch

Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

Großsignalfestigkeit

Transceiver

Referenzen

# Empfindlichkeit

Empfindlichkeit gibt an, wie stark das Eingangssignal sein muss, um über dem thermischen Eigenrauschen zu liegen.

AfuTUB-Kurs

Technik A 18

Überblick

Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

HF-Regelung

AGC

Squelch

Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

Großsignalfestigkeit

Transceiver

Referenzen

# Rauschleistung

Rauschleistung  $\propto$  Bandbreite

Rauschleistung von gleichverteiltem Rauschen ist proportional zur Filterbandbreite.

AfuTUB-Kurs

Technik A 18

Überblick

Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

HF-Regelung

AGC

Squelch

Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

Großsignalfestigkeit

Transceiver

Referenzen

# Empfindlichkeit

## Rauschleistung (Formelsammlung)

$$P_R = k \cdot T_K \cdot B$$

mit  $k$ : Boltzmann-Konstante,  $T_K$ : Temperatur in Kelvin,  $B$ : Bandbreite

**Die Leistung eines gleichmäßig über einen Frequenzbereich verteilten Rauschens ist proportional zur Bandbreite!**

Wie verhält sich bei sonst gleich bleibenden Bedingungen die Rauschleistung nach Umschaltung von SSB auf CW?

# Empfindlichkeit

## Rauschleistung (Formelsammlung)

$$P_R = k \cdot T_K \cdot B$$

mit  $k$ : Boltzmann-Konstante,  $T_K$ : Temperatur in Kelvin,  $B$ : Bandbreite

**Die Leistung eines gleichmäßig über einen Frequenzbereich verteilten Rauschens ist proportional zur Bandbreite!**

Wie verhält sich bei sonst gleich bleibenden Bedingungen die Rauschleistung nach Umschaltung von SSB auf CW?

$$\frac{2,5\text{kHz}}{0,5\text{kHz}} \approx \frac{1}{5}$$

# Rauschzahl

Jedes Gerät produziert Eigenrauschen. Die Rauschzahl  $F$  (noise figure) ist der Faktor, um den die theoretischen Rauschformeln gerätespezifisch erweitert werden.

Angaben sind als Faktor oder in  $dB$  möglich.

## Beispiele

$F = 1,8dB \rightarrow$  am Ausgang  $1,8dB$  geringeres SNR als am Eingang

$F = 2 \rightarrow$  am Ausgang ? SNR als am Eingang



# Rauschzahl

Jedes Gerät produziert Eigenrauschen. Die Rauschzahl  $F$  (noise figure) ist der Faktor, um den die theoretischen Rauschformeln gerätespezifisch erweitert werden.

Angaben sind als Faktor oder in  $dB$  möglich.

## Beispiele

$F = 1,8dB \rightarrow$  am Ausgang  $1,8dB$  geringeres SNR als am Eingang

$F = 2 \rightarrow$  am Ausgang  $3dB$  geringeres SNR als am Eingang

### Überblick

#### Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

#### HF-Regelung

AGC

Squelch

#### Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

#### Großsignalfestigkeit

#### Transceiver

#### Referenzen

# Rauschzahl

Für Kurzwelle und niedrigere Frequenzen spielt die Rauschzahl keine Rolle, da QRN und QRM das SNR bestimmen.

Empfindlichkeiten werden bei HF z.B. mit  $0,25\mu V$  Eingangsspannung für  $S/N = 10dB$  angegeben.

## Überblick

### Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

### HF-Regelung

AGC

Squelch

### Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

### Großsignalfestigkeit

### Transceiver

### Referenzen

# Rauschzahl

VHF/UHF-Vorverstärker möglichst direkt an der Antenne. Warum?

Empfindlichkeit kann auch durch starke HF-Signale auf einer nahen Frequenz beeinträchtigt werden → Selektivität.

## Überblick

### Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

### HF-Regelung

AGC

Squelch

### Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

### Großsignalfestigkeit

### Transceiver

### Referenzen

# Rauschzahl

VHF/UHF-Vorverstärker möglichst direkt an der Antenne. Warum?  
Ursache: (Langes) Kabel zwischen Antenne und Empfängereingang verschlechtert die Rauschzahl mit seiner Dämpfung

Empfindlichkeit kann auch durch starke HF-Signale auf einer nahen Frequenz beeinträchtigt werden → Selektivität.

## Überblick

### Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

### HF-Regelung

AGC

Squelch

### Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

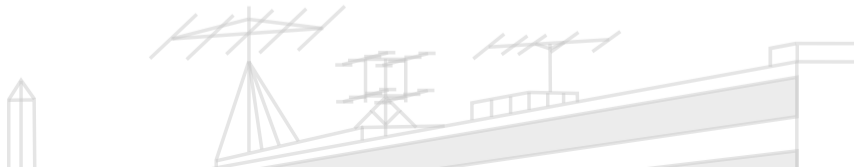
Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

### Großsignalfestigkeit

### Transceiver

### Referenzen



# Selektivität

## Überblick

### Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

### HF-Regelung

AGC

Squelch

### Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

### Großsignalfestigkeit

### Transceiver

### Referenzen

Fähigkeit, Signale mit steilen Filterflanken zu selektieren. Deshalb auch: Trennschärfe.

Grenzbandbreite bei -60 dB? Für welche Signale geeignet?

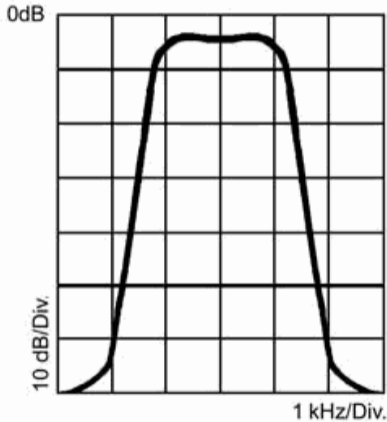


Abb. 3: TF410-411

# Selektivität

## Überblick

### Empfindlichkeit

Rauschzahl  
Selektivität

### HF-Regelung

AGC  
Squelch

### Störungsverm.

Passband-Tuning  
Bandwidth-Tuning  
Notchfilter  
Störbegrenzer/-austaster

### Großsignalfestigkeit

### Transceiver

### Referenzen

Fähigkeit, Signale mit steilen Filterflanken zu selektieren. Deshalb auch: Trennschärfe.

Grenzbandbreite bei -60 dB? Für welche Signale geeignet?

4 kHz, SSB

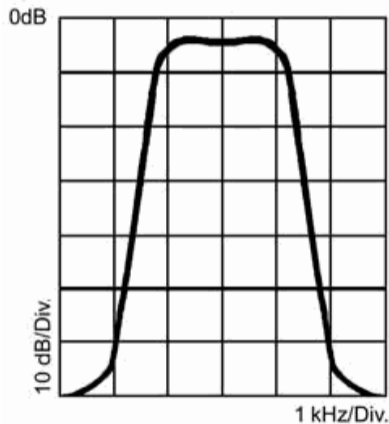


Abb. 3: TF410-411

# Selektivität

Für einen steilen und schmalen Bandpass eignen sich am besten Quarzkristalle.  
Welche Filterbandbreiten würdet ihr für J3E, F1B (RTTY Shift 170 Hz),  
F3E nutzen?

## Überblick

### Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

### HF-Regelung

AGC

Squelch

### Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

### Großsignalfestigkeit

### Transceiver

### Referenzen

# Selektivität

Für einen steilen und schmalen Bandpass eignen sich am besten Quarzkristalle.

Welche Filterbandbreiten würdet ihr für J3E, F1B (RTTY Shift 170 Hz), F3E nutzen?

J3E 2,2 kHz

F1B 500 Hz

F3E 12 kHz

## Überblick

### Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

### HF-Regelung

AGC

Squelch

### Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

### Großsignalfestigkeit

### Transceiver

### Referenzen



## AGC

Automatic Gain Control (AGC) sorgt für konstante NF auch bei schwankendem HF-Eingang.

→ Bei starkem Eingangssignal wird die Verstärkung der HF- und ZF-Stufen reduziert.

AfuTUB-Kurs

Technik A 18

Überblick

Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

HF-Regelung

AGC

Squelch

Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

Großsignalfestigkeit

Transceiver

Referenzen

# Squelch

Steuert die ZF- oder NF-Signale, um Grundrauschen auszublenden.

Einstellung des Levels etwas über den Rauschen und unterhalb des erwarteten Eingangssignals.

AfuTUB-Kurs

Technik A 18

Überblick

Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

HF-Regelung

AGC

Squelch

Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

Großsignalfestigkeit

Transceiver

Referenzen



# Störungsverminderung

Es werden kurz Beispiele zur Störungsverminderung angerissen.

Prüfungsrelevant ist lediglich der Notchfilter.

## Überblick

### Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

### HF-Regelung

AGC

Squelch

### Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

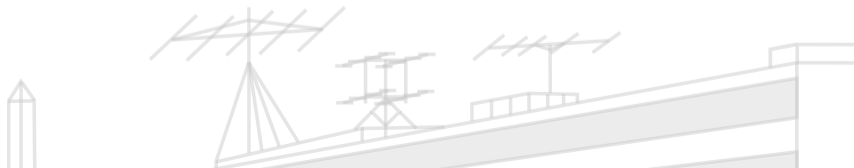
Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

### Großsignalfestigkeit

### Transceiver

### Referenzen



# Passband-Tuning

Durch IF/ZF-Shift wird die Filterkurve soweit verschoben, dass das Störsignal ausgeblendet wird.

*Beispiel:  $\Rightarrow$  Passband Tuning vs. IF Shift*

## Überblick

### Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

### HF-Regelung

AGC

Squelch

### Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

### Großsignalfestigkeit

### Transceiver

### Referenzen

# Bandwidth-Tuning

Übereinanderschieben von steiflankigen Filtern, sodass der Durchlassbereich kleiner wird.

Wie verhält sich das SNR?

AfuTUB-Kurs

Technik A 18

Überblick

Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

HF-Regelung

AGC

Squelch

Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

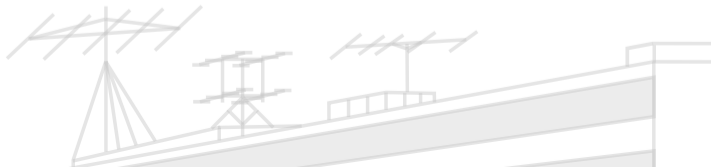
Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

Großsignalfestigkeit

Transceiver

Referenzen



# Bandwidth-Tuning

Übereinanderschieben von steiflankigen Filtern, sodass der Durchlassbereich kleiner wird.

Wie verhält sich das SNR? Proportional zur Bandbreite. Remember?

## Überblick

### Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

### HF-Regelung

AGC

Squelch

### Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

### Großsignalfestigkeit

### Transceiver

### Referenzen

# Notchfilter

## Überblick

### Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

### HF-Regelung

AGC

Squelch

### Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

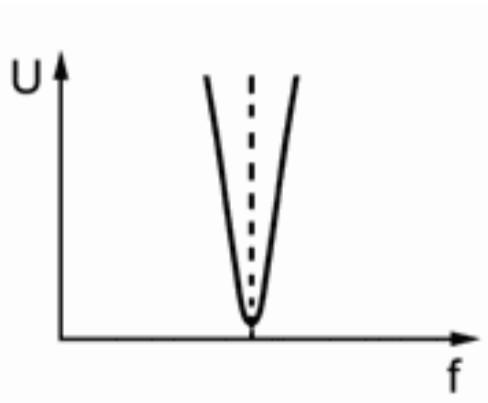
Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

### Großsignalfestigkeit

### Transceiver

### Referenzen



Auch: Kerbfilter mit “Loch” im IF-Durchlassbereich zum Ausblenden schmalbandiger Störungen.

[6]

Abb. 4: TF326

# Störbegrenzer/-austaster

Störbegrenzer schneidet Spitzenspannungen ab gewissem NF-Pegel ab → Clipping.

Störaustaster regelt bei Störungen ZF oder NF komplett herunter → Noise Blanker.

## Überblick

### Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

### HF-Regelung

AGC

Squelch

### Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

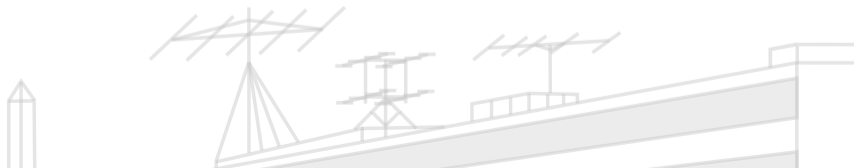
Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

### Großsignalfestigkeit

### Transceiver

### Referenzen





# Großsignalfestigkeit

Starke Signale führen zu Intermodulations- oder Kreuzmodulationsprodukten, auch wenn sie außerhalb des Afu-Bandes liegen.

Hauptursache für Intermodulationsprodukte sind Nichtlinearitäten in den HF-Stufen.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup>Für Mischstufen praktisch, bei Verstärkern unerwünscht

## Überblick

### Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

### HF-Regelung

AGC

Squelch

### Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

### Großsignalfestigkeit

### Transceiver

### Referenzen

# Interception Point

Ungeradzahlige Intermodulationsprodukte sollen so gering wie möglich auftreten  
→ Intermodulationsabstand.

Aufhebung zu Null an den "Interception Points."<sup>2</sup>

Beurteilung Intermodulation: Meist mit Interception Point  $IP_3$

Bei fehlender Großsignalfestigkeit kann Dämpfungsglied am Empfängereingang helfen.

<sup>2</sup>Siehe [https://de.wikipedia.org/wiki/Intercept\\_Point](https://de.wikipedia.org/wiki/Intercept_Point)

# Transceiver

In diesem Teil wird kurz auf praktische Merkmale von Transceivern eingegangen.

AfuTUB-Kurs

Technik A 18

Überblick

Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

HF-Regelung

AGC

Squelch

Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

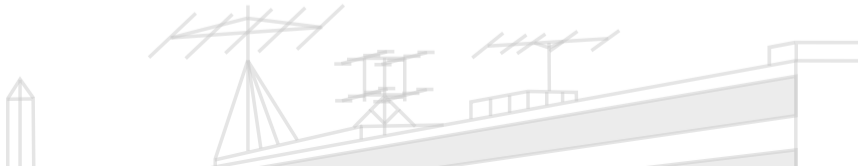
Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

Großsignalfestigkeit

Transceiver

Referenzen



# Leistung

QRP ... QRO

AfuTUB-Kurs

Technik A 18

Überblick

Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

HF-Regelung

AGC

Squelch

Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

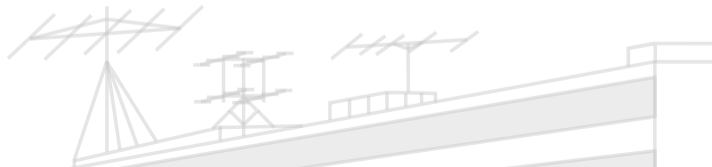
Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

Großsignalfestigkeit

Transceiver

Referenzen



# Leistung

## QRP ... QRO

5 W – 20 W QRP-TRX für HF

≈ 100 W übliche Ausgangsleistung für Desktop- und Portabel-HF-TRX

750 W Hochleistungs-TRX mit zusätzlichem Verstärker

4 W – 50 W TRX für UKW

AfuTUB-Kurs

Technik A 18

Überblick

Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

HF-Regelung

AGC

Squelch

Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

Großsignalfestigkeit

Transceiver

Referenzen

# Betriebsarten

USB, LSB, FM, RTTY, CW, ...

AfuTUB-Kurs

Technik A 18

Überblick

Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

HF-Regelung

AGC

Squelch

Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

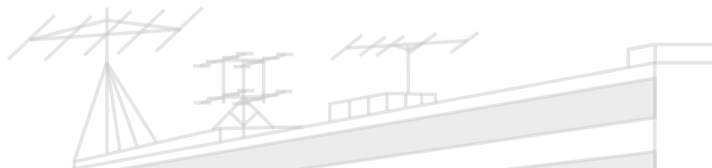
Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

Großsignalfestigkeit

Transceiver

Referenzen



# Frequenzbereiche

HF-TRX meist 160m–10m, ggf. 6m

UKW-TRX meist 2m + 70cm, ggf. 23cm und 6m

AfuTUB-Kurs

Technik A 18

Überblick

Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

HF-Regelung

AGC

Squelch

Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

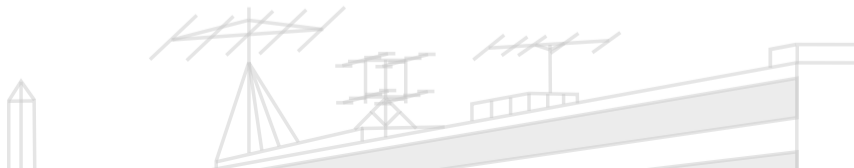
Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

Großsignalfestigkeit

Transceiver

Referenzen



# Frequenzanzeige

Ältere Empfänger können meist nicht genauer als  $\pm 100\text{Hz}$  eingestellt werden. Die Anzeige kann mit einem quarzgesteuerten Frequenzmarken-Generator geprüft werden – heute nicht mehr notwendig.

Ansonsten wie bei der Messtechnik immer an die Ambivalenz digitaler Anzeigen denken: Auflösung  $\neq$  Anzeigegenauigkeit. Im Datenblatt in *ppm* angegeben.

## Überblick

### Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

### HF-Regelung

AGC

Squelch

### Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

### Großsignalfestigkeit

### Transceiver

### Referenzen



# RIT und Split

Receiver Incremental Tuning (RIT) zur geringfügigen Veränderung der Empfangsfrequenz gegenüber der Sende-QRG. Praktisch z.B. bei TX-Drift.

Split ermöglicht die Einstellung einer völlig anderen Frequenz für Empfang und Senden. Wird bei Pile-Ups, im Satellitenbetrieb oder zur besseren Anpassung des Hilfsträgers in Digimodes (JT65/JT9) verwendet.

AfuTUB-Kurs

Technik A 18

Überblick

Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

HF-Regelung

AGC

Squelch

Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

Großsignalfestigkeit

Transceiver

Referenzen

# Kompressor

Audiokompression der Stimme zur vollen Aussteuerung des Senders, damit sie “satter” rüberkommt und verständlicher wird, allerdings ihre Färbung verliert.

AfuTUB-Kurs

Technik A 18

Überblick

Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

HF-Regelung

AGC

Squelch

Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

Großsignalfestigkeit

Transceiver

Referenzen

# Clipper

Signal wird voll ausgesteuert und vom Clipper begrenzt. Zu Vermeidung von Oberwellen weitere Tiefpassfilterung.

Dies geschieht natürlich alles auf Kosten von Audioinformationen.

## Überblick

### Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

### HF-Regelung

AGC

Squelch

### Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

### Großsignalfestigkeit

### Transceiver

### Referenzen

# DSP

Digital Signal Processing (DSP) als Überbegriff für jegliche digitale Audioverarbeitung. Alle o. g. Beispiele werden heute durch DSPs umgesetzt.

Das Signal muss vor dem DSP digitalisiert und anschließend wieder in ein analoges Signal umgeformt werden → AD—DA-Wandlung

## Überblick

### Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

### HF-Regelung

AGC

Squelch

### Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

### Großsignalfestigkeit

### Transceiver

### Referenzen

# PTT und VOX

Push To Talk (PTT) wurde bereits oft angesprochen – es handelt sich um eine einfache Sende-/Empfangsumschaltung.

Mit einer Voice Control (VOX) lässt sich die Umschaltung durch den NF-Pegel der eigenen Sprache auslösen. Nachteile: Störgeräusche können ggf. auch umschalten.

## Überblick

### Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

### HF-Regelung

AGC

Squelch

### Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

### Großsignalfestigkeit

### Transceiver

### Referenzen

# Referenzen/Links

[1] DARC Online-Lehrgang Lektion A18:

<https://www.darc.de/der-club/referate/ajw/lehrgang-ta/a18/>

[2] Vortrag von Andreas DJ3EI: "Spaziergang durch den Funkgerätewald":

<https://media.ccc.de/v/afu-001>

Abbildungen:

[3] Empfangenes Signal: 

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Received\\_message.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Received_message.jpg)

[4] Rauschen: 

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Analyse\\_thermo\\_gravimetrique\\_bruit.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Analyse_thermo_gravimetrique_bruit.png)

[5] TF410:

<https://www.bundesnetzagentur.de/amateurfunk/>

[6] TF326:

<https://www.bundesnetzagentur.de/amateurfunk/>

AfuTUB-Kurs

Technik A 18

Überblick

Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

HF-Regelung

AGC

Squelch

Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

Großsignalfestigkeit

Transceiver

Referenzen