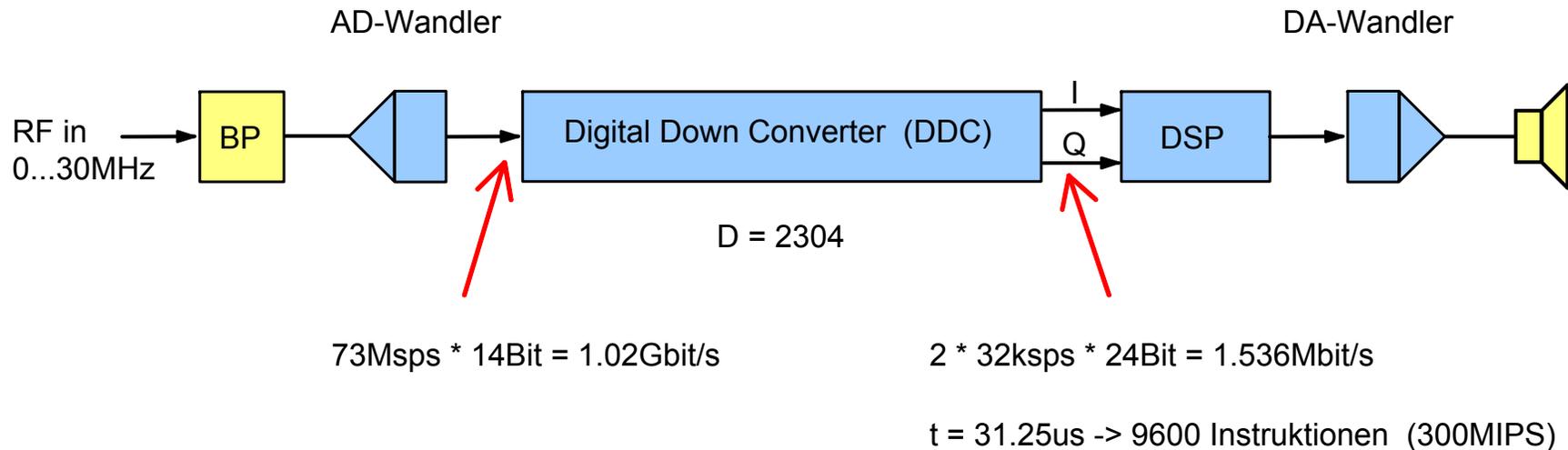


- Das Prinzip der digitalen Empfänger
  - AD-Wandler
  - IP3-Problematik
  - Direct\_Conversion Rx
- Die Funktionsblöcke des ADT-200A
  - DSP-Modul
  - PA-Modul
  - Preselector-Modul
- Das Bedienungskonzept des ADT-200A
- Wie weiter?

## Der Signalfluss im digitalen Empfänger



Aufgaben des DDC's:

- Quadratur-Mischung des interessierenden Frequenzbandes auf die ZF  $\approx 0\text{Hz}$
- Reduktion der Samplerate (Dezimation)
- Erhöhung des Rauschabstandes (Integration)

## Der Dynamikbereich des realen AD-Wandlers

Beispiel: 14Bit AD-Wandler AD6645 von Analog Devices:

Dynamikbereich (ideal) = 86dB ( = SNR bei max. Signal)

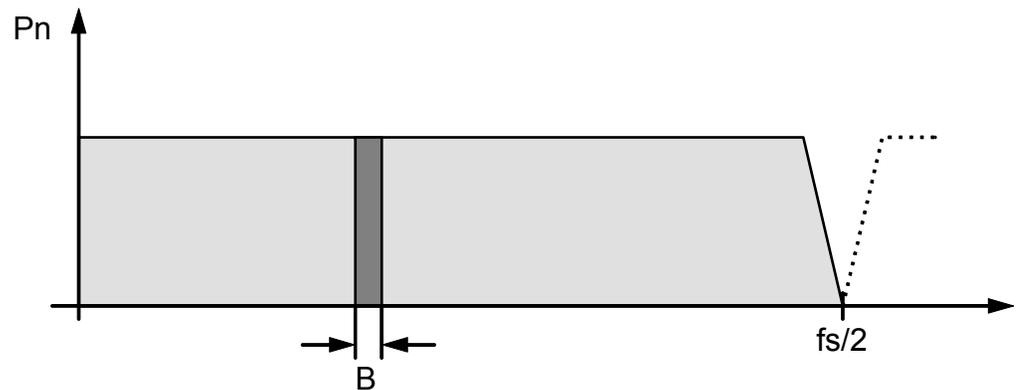
Dynamikbereich (real) = 75dB → 12 effektive Bits (ENOB)

Max. Eingangsleistung =  $(0.78V_{rms})^2 / 1000\Omega = -2.2dBm$

Noise Floor =  $-2.2dBm - 75dB = -77.2dBm$

Minimale Eingangsspannung an  $50\Omega = 30.8\mu V$

## Der Dynamikbereich des realen AD-Wandlers



Prozessgewinn:

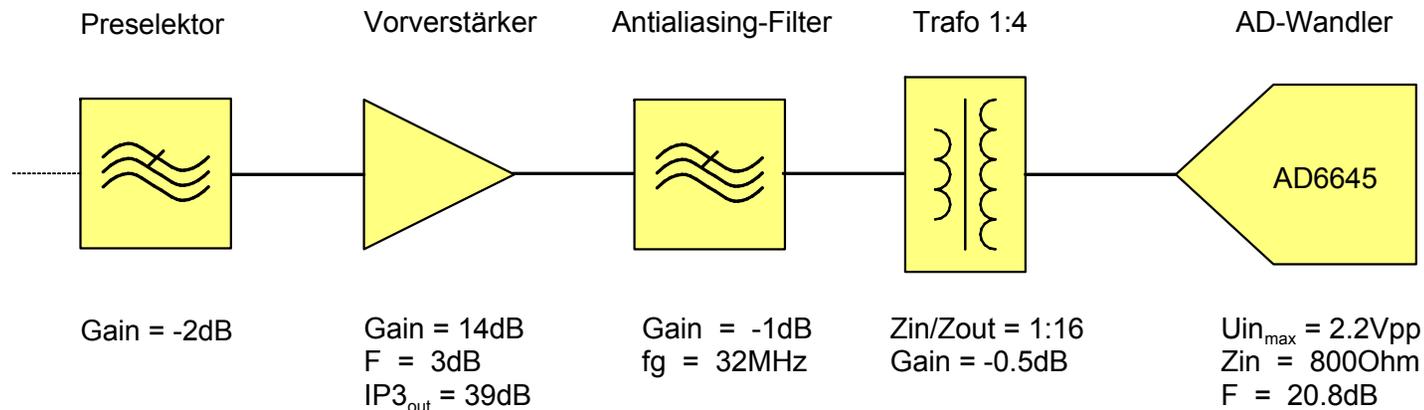
$$G_p = 10 \cdot \text{LOG}_{10} \left( \frac{f_s}{2 \cdot B} \right)$$

Bei  $B = 2.4\text{kHz}$  und  $f_s = 73\text{Mps}$  folgt:

$$G_p = 44.8\text{dB} \rightarrow \text{SNR} = 119.8\text{dB}$$

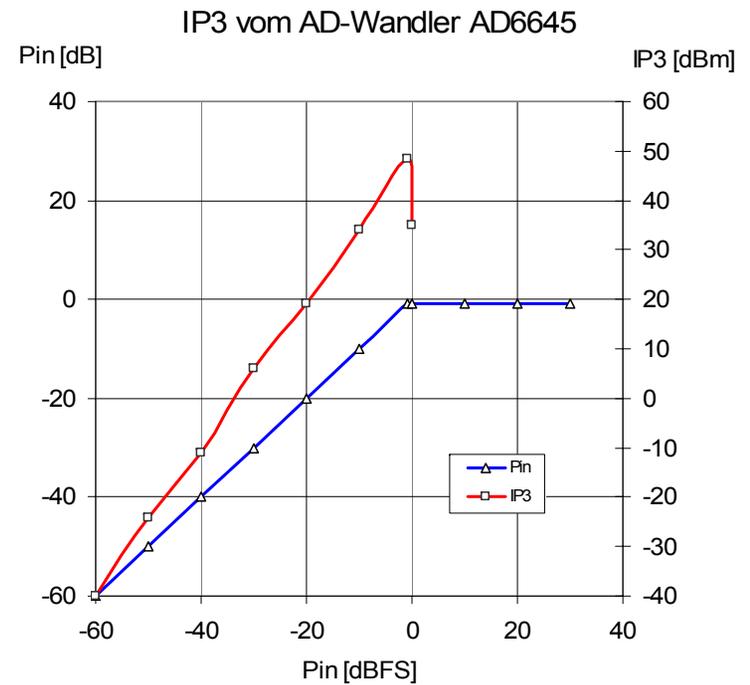
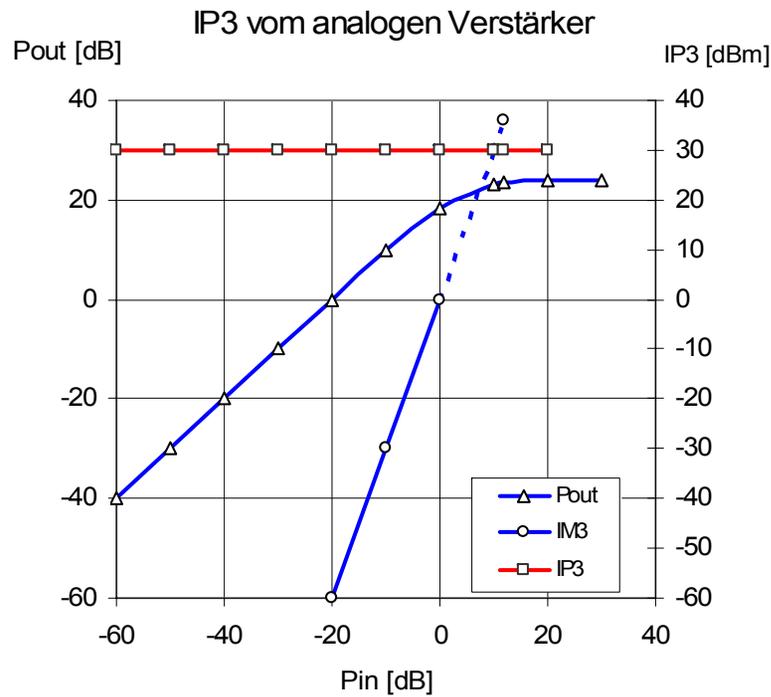
Minimale Eingangsspannung an  $50\Omega = 0.22\mu\text{V}$

## Die Berechnung der Empfängerdaten

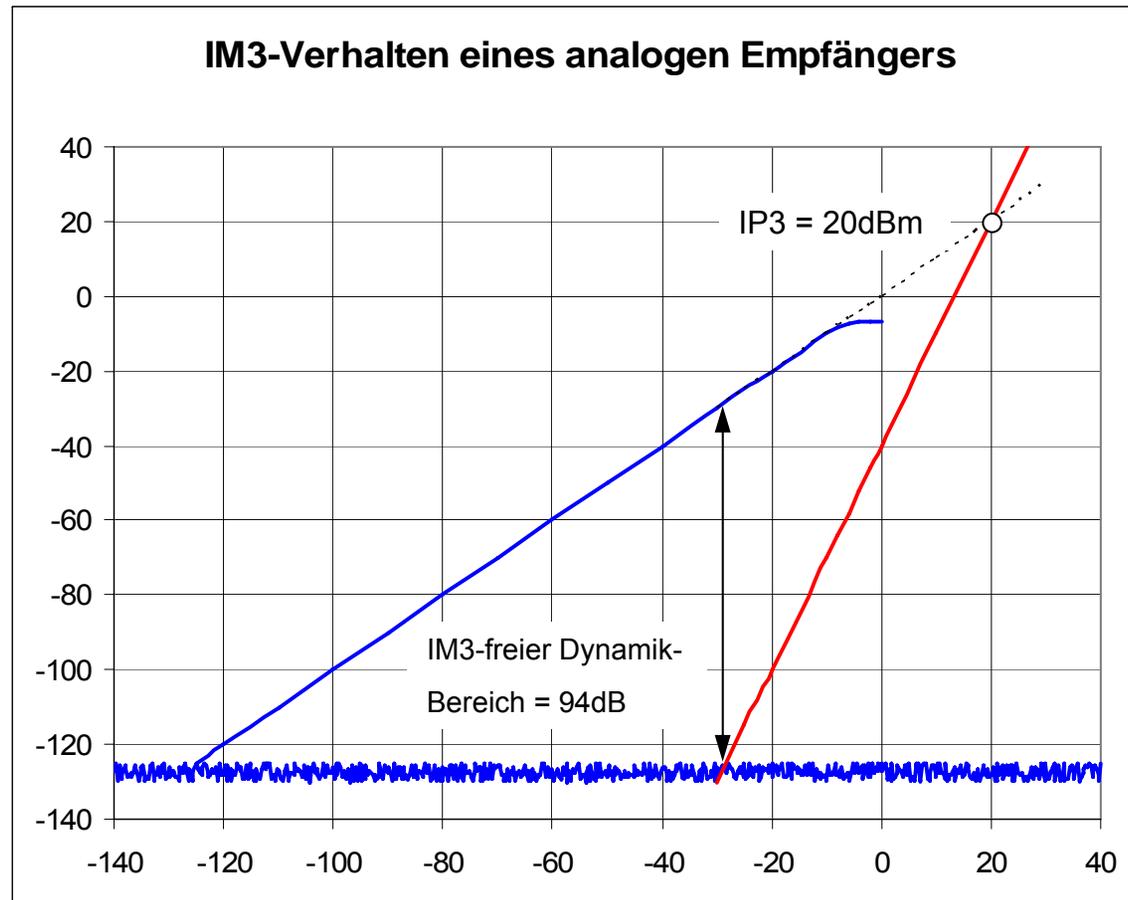


Rauschmass	Fges	=	11.4dB
Empfindlichkeit	MDS	=	-129dBm @ B=2.4kHz (0.08uV)
Dynamik-Bereich	DR	=	117dB
IM3 freie Dynamik	DR3	=	101dB
Max. Input Power	Pmax	=	-11.4dBm

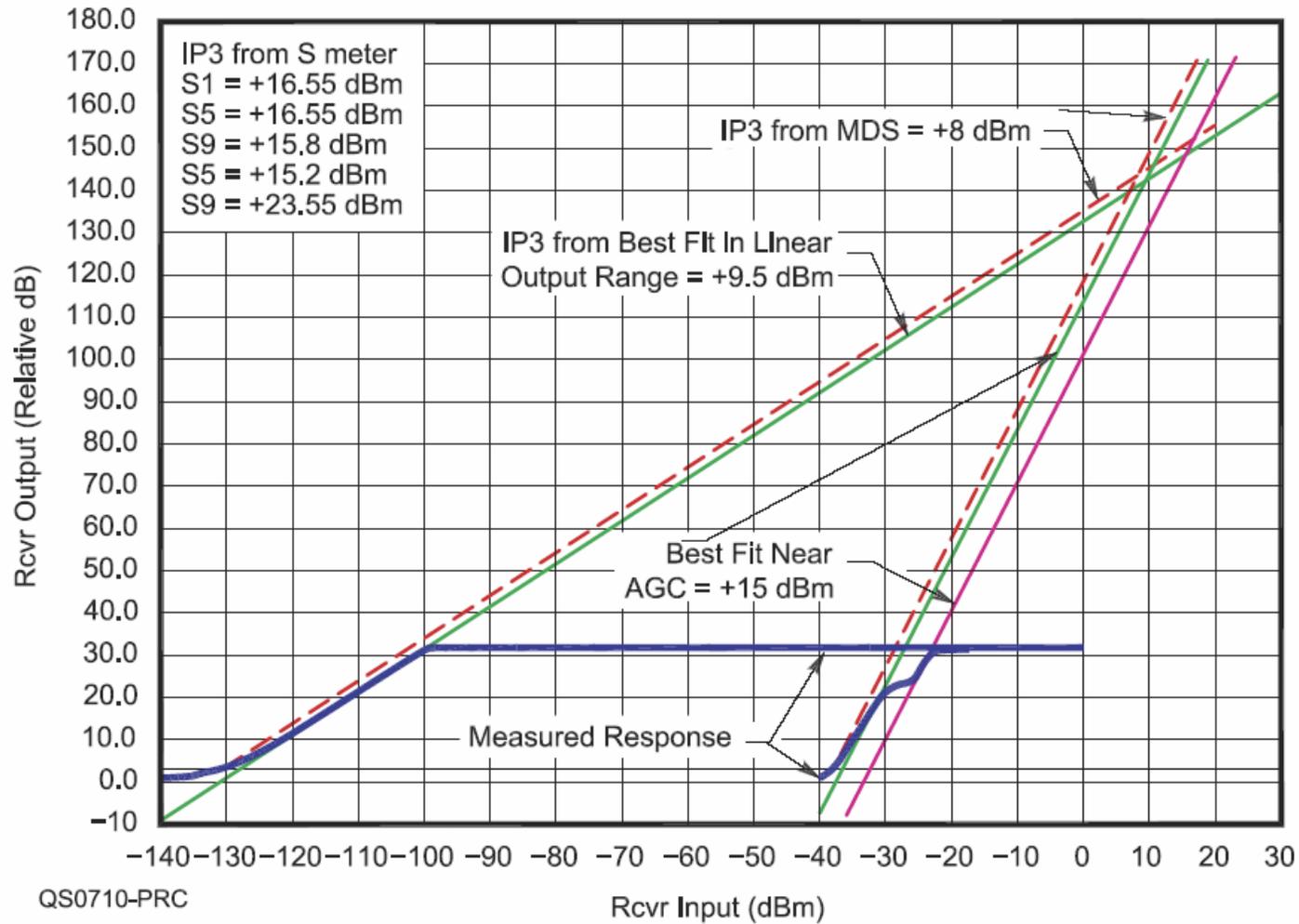
## Die Problematik bei der Messung des IP3



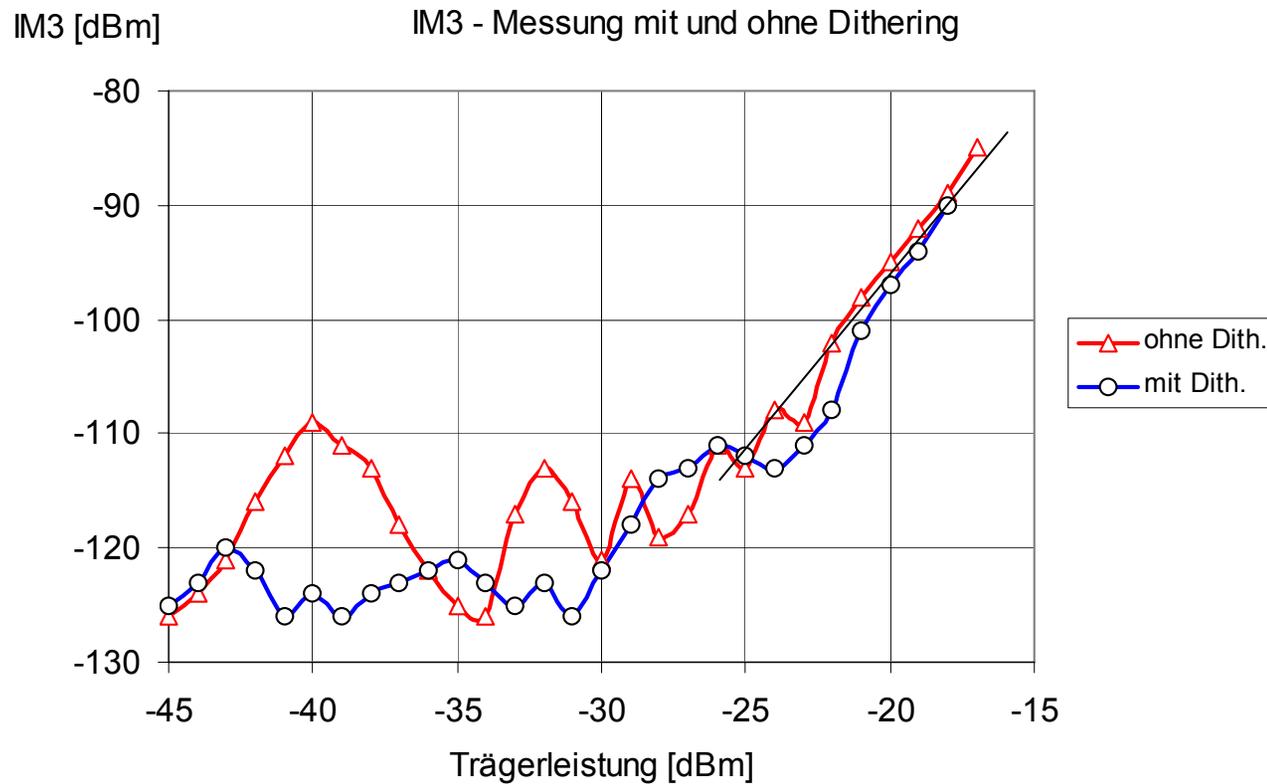
## Die Problematik bei der Messung des IP3



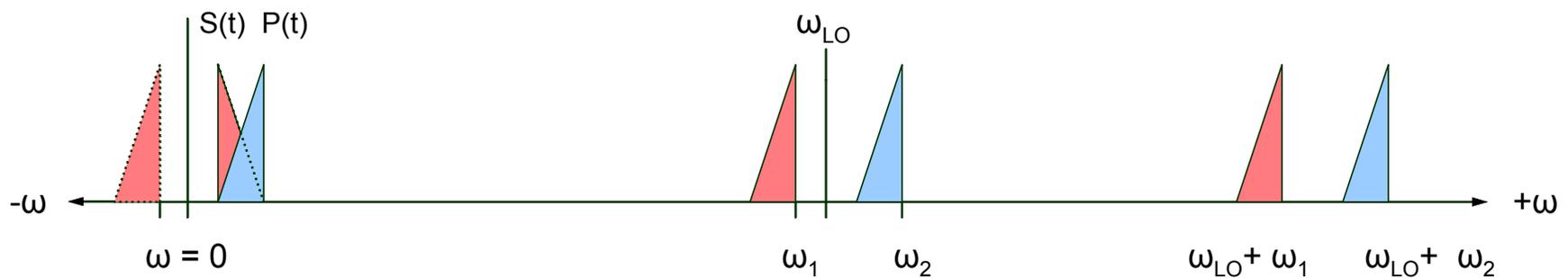
## Die Problematik bei der Messung des IP3



## Die Problematik bei der Messung des IP3

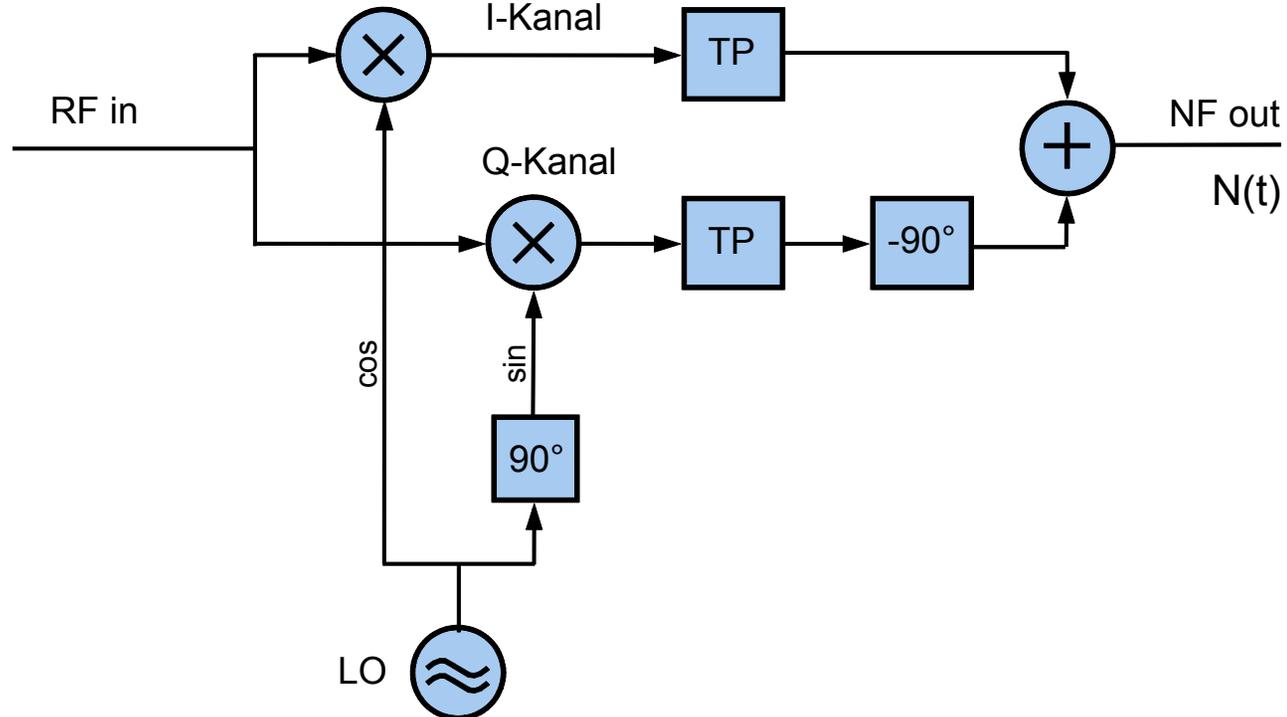


## Prinzip des Direct Conversion Empfängers



$$S(t) = A(t) \cdot e^{j\omega t} = A(t) \cdot \left[ \overset{\text{I-Kanal}}{\cos(\omega t)} + j \cdot \overset{\text{Q-Kanal}}{\sin(\omega t)} \right]$$

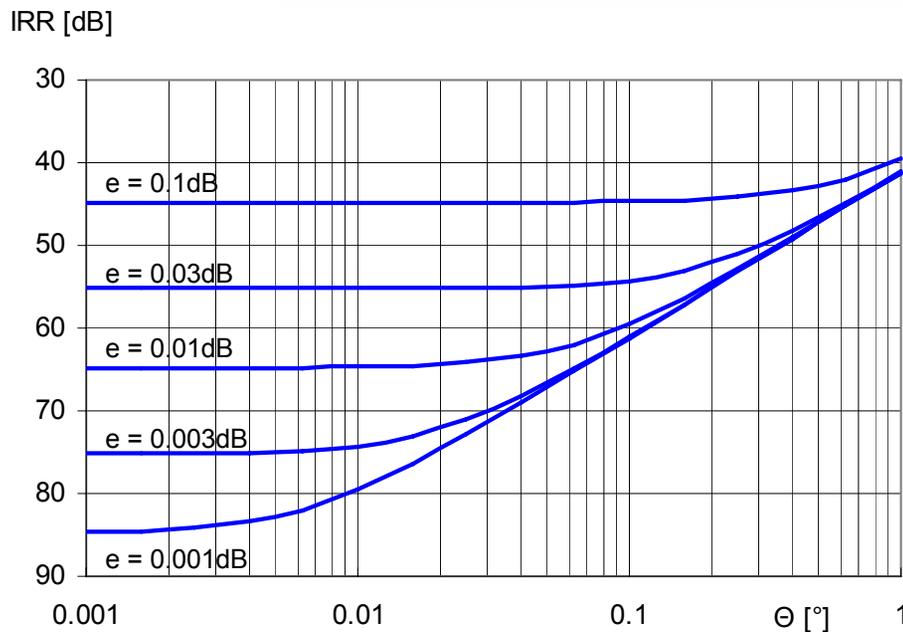
## Prinzip des Direct Conversion (Quadratur-) Empfängers



## Prinzip des Direct Conversion Empfängers

### Image Rejection Ratio (IRR)

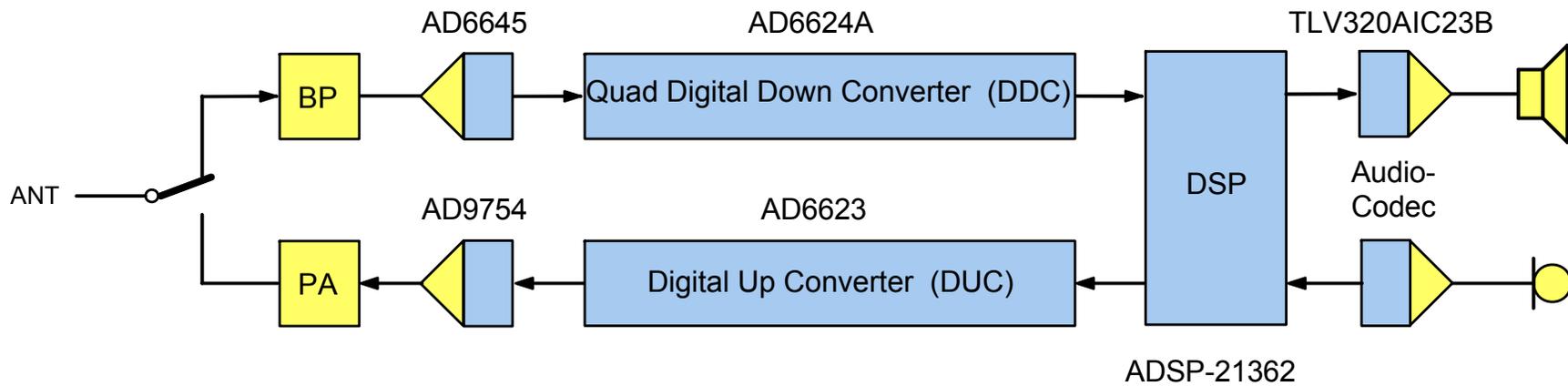
$$\text{IRR} = \frac{1 - 2(1 + \epsilon)\cos\theta + (1 + \epsilon)^2}{1 + 2(1 + \epsilon)\cos\theta + (1 + \epsilon)^2}$$



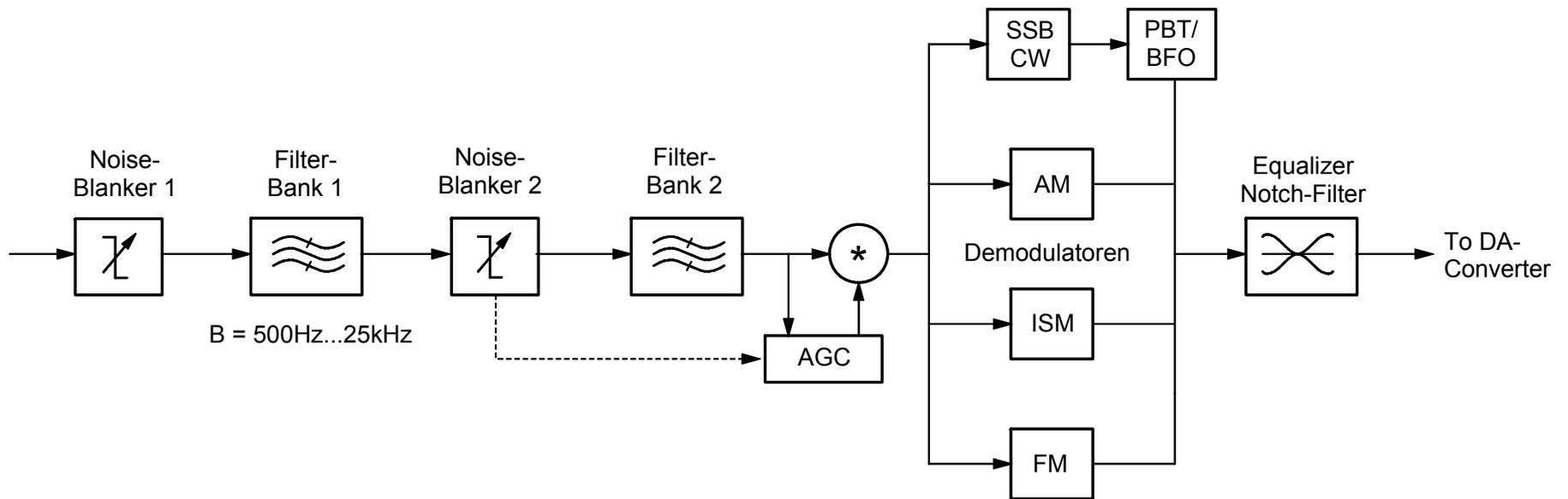
$\epsilon$  : Gain Error [-]  
 $\Theta$  : Phase Error [°]  
 $e = 20 * \log(\epsilon)$

### Welchen Wert bringt die SDR Technologie dem Funkamateuer?

- ein Gerät, das jederzeit mit neuen Funktionen nachgerüstet werden kann
- Eigenschaften, die weitgehend unabhängig sind von Toleranzen und Alterung
- eine Genauigkeit, die nahe bei Messinstrumenten liegt
- Spezialfunktionen wie Antennascope, Audio-Recorder, Remote Operation etc.
- eine zukunftsgerichtete Technologie, die mit einem Bruchteil von Bauelementen auskommt, verglichen mit heutigen Geräten
- diese Technologie hat das Potenzial zur rationellen Fertigung und einer entsprechenden Kostensenkung



verwendetes Chipset im DSP-Modul



Signalverarbeitung im DSP (pro Kanal)

## Signalverarbeitung im DSP

```

/*****
**  FM_Demodulator
*****/

FM_Demodulator:

/*  first, we calculate the squared absolut carrier value */

    F3 = F1 * F1;          /* F1  -> I channel input  */
    F4 = F2 * F2;          /* F2  -> Q channel input  */
    F12 = F3 + F4;         /* F12 -> I^2 + Q^2 */
    F13 = RSQRTS F12;      /* F13 -> 1/SQR(I^2 + Q^2) */
    F1 = F1 * F13;         /* normalize F1 */
    F2 = F2 * F13;         /* normalize F2 */

/*  then, we get the phase info by delay modulation */

    F5 = DM(last_I);
    F5 = F1 - F5;          /* build d/dt -> I'      */
    F5 = F5 * F2;          /* product      -> I' * Q */

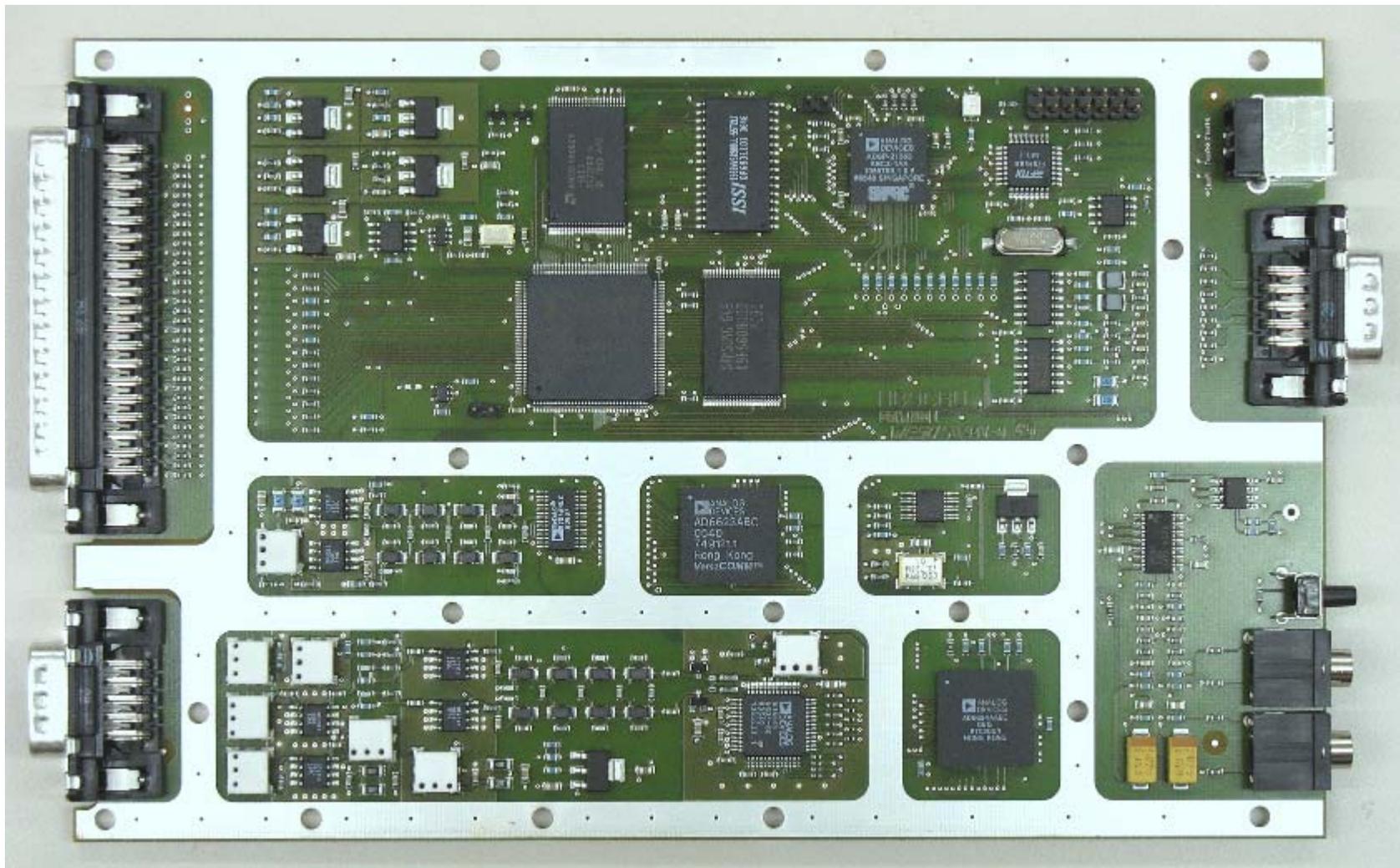
    F6 = DM(last_Q);
    F6 = F2 - F6;          /* build d/dt -> Q'      */
    F6 = F6 * F1;          /* product      -> Q' * I */

    DM(last_I) = F1;       /* save normalized last_I */
    DM(last_Q) = F2;       /* save normalized last_Q */

    F1 = F5 - F6;          /* I' * Q - Q' * I */
    CALL ARCSIN;
    DM(FM_out) = F3;

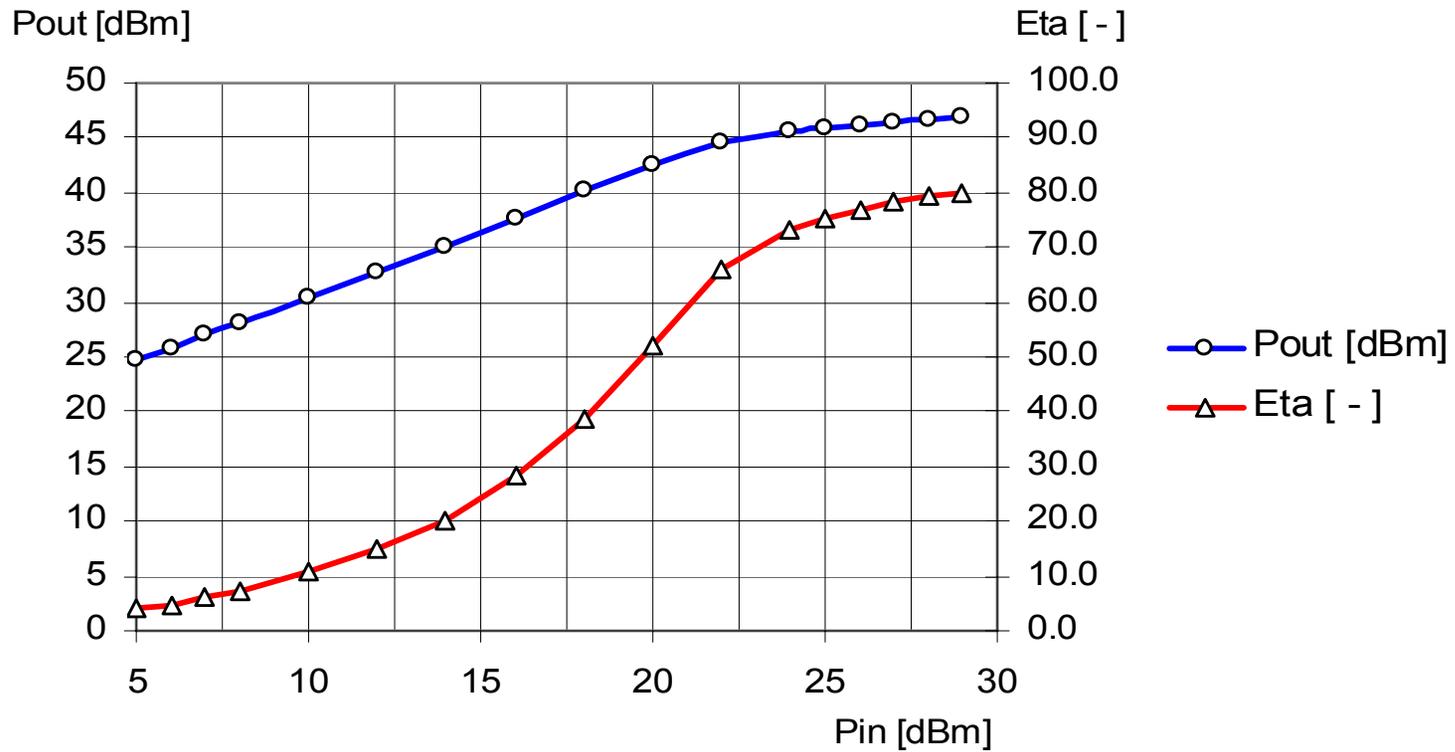
```

## Das DSP-Modul TRX3C



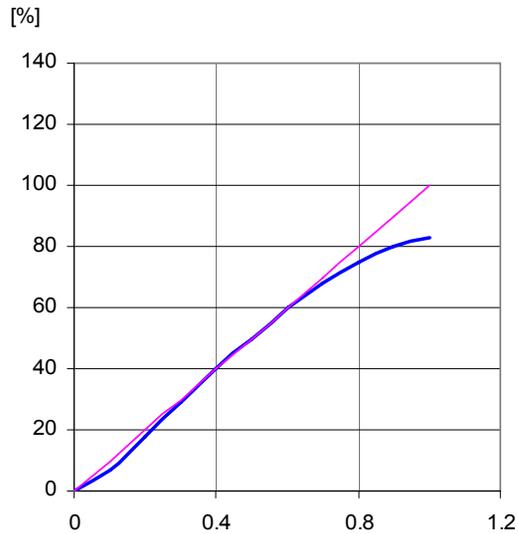
## Die Sender-Endstufe

Linearität bei  $f = 7\text{MHz}$

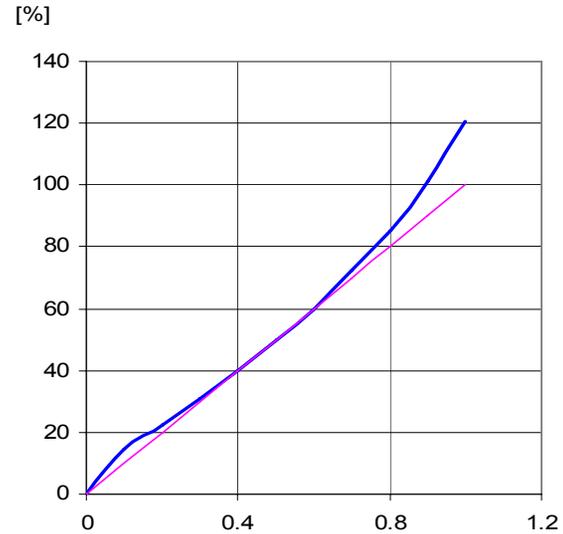


## Die Sender-Endstufe

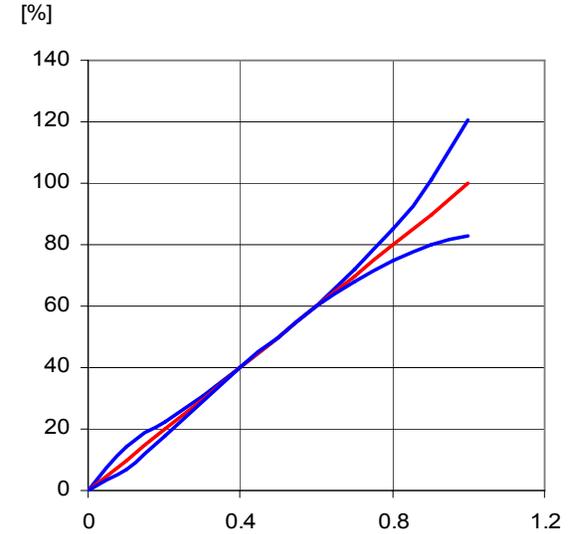
### Das Prinzip der adaptiven Vorverzerrung



Kennlinie der Endstufe



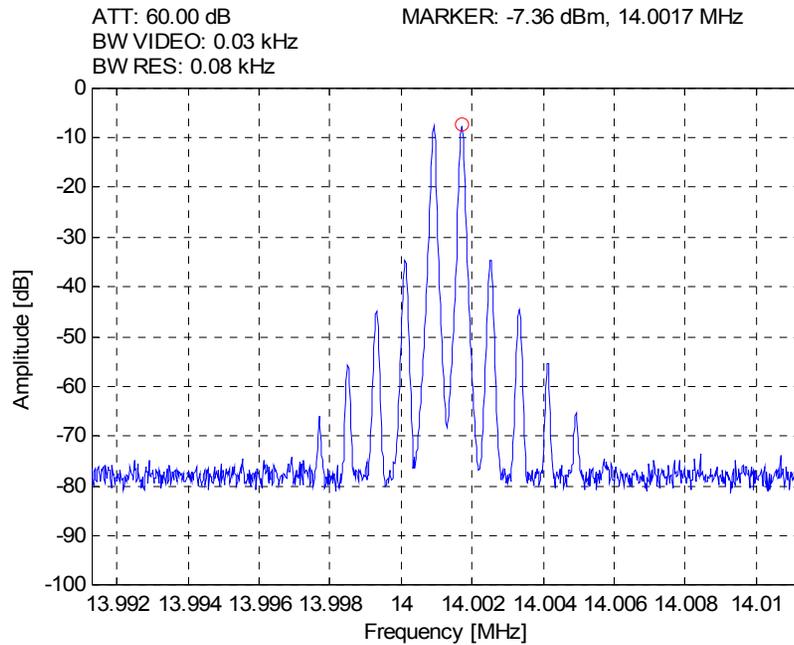
Linearitätsfehler



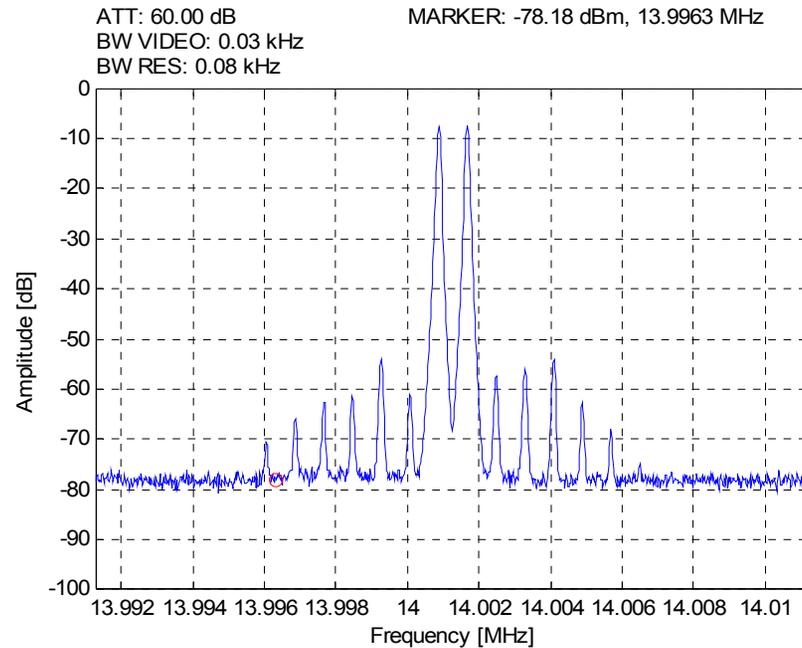
Kompensierter Amplitudengang

## Spektrum der Sender-Endstufe mit adaptiver Vorverzerrung

### 2-Ton Modulation mit 1100Hz und 1900Hz



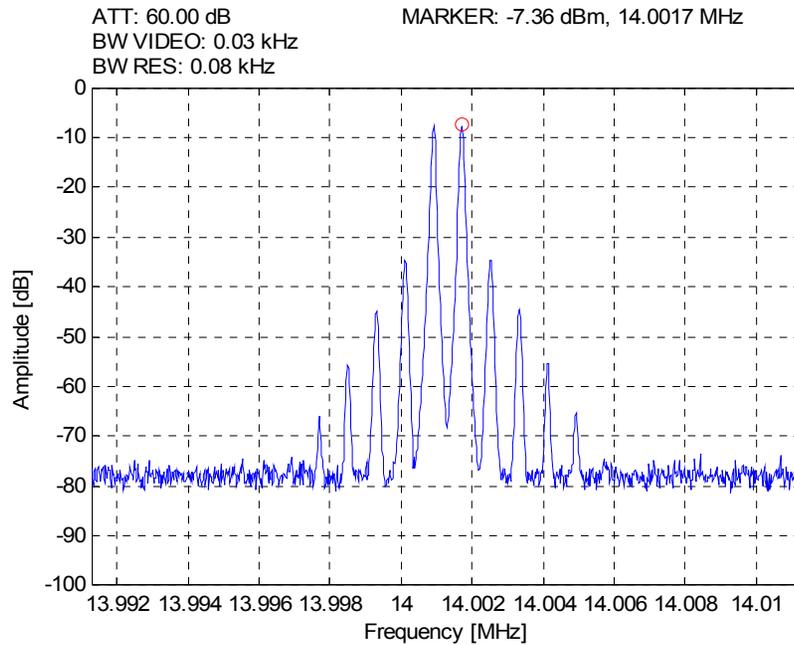
ohne Vorverzerrung



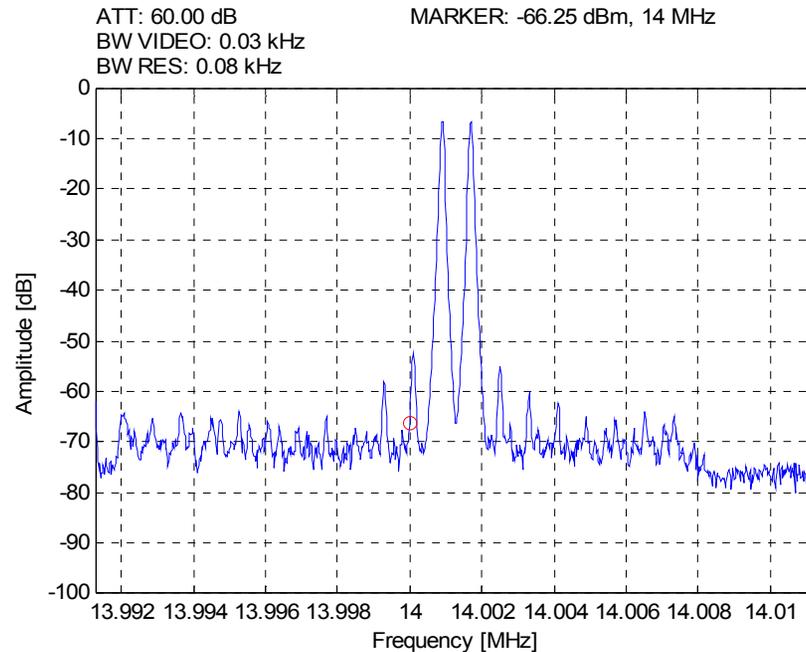
mit schmalbandiger Vorverzerrung

## Spektrum der Sender-Endstufe mit adaptiver Vorverzerrung

### 2-Ton Modulation mit 1100Hz und 1900Hz



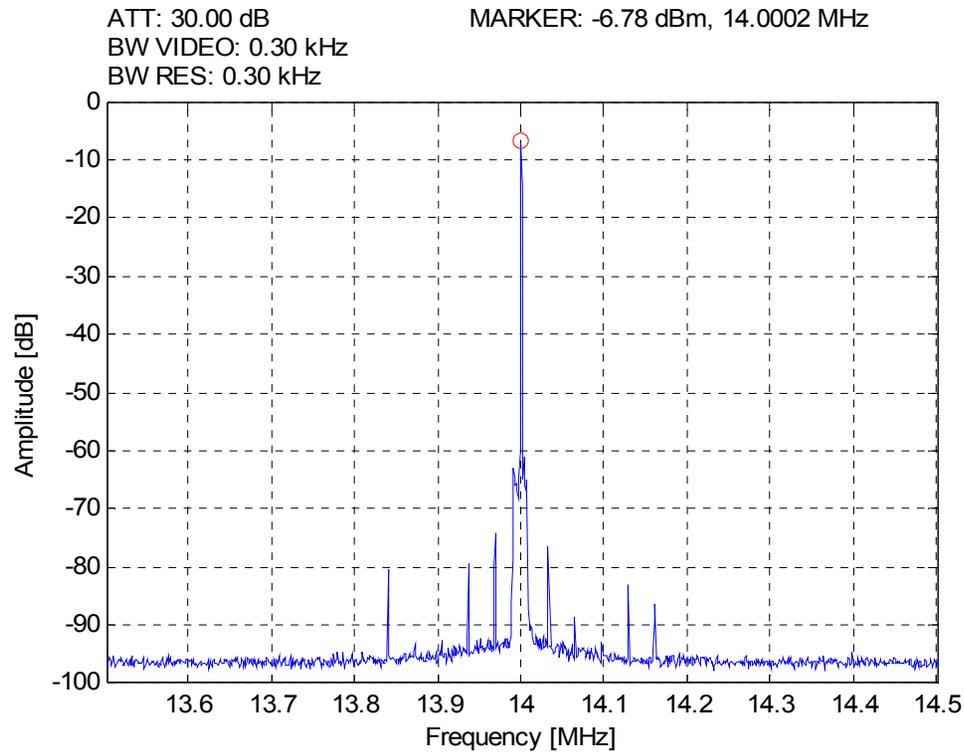
ohne Vorverzerrung



mit breitbandiger Vorverzerrung

## Spektrum der Sender-Endstufe mit adaptiver Vorverzerrung

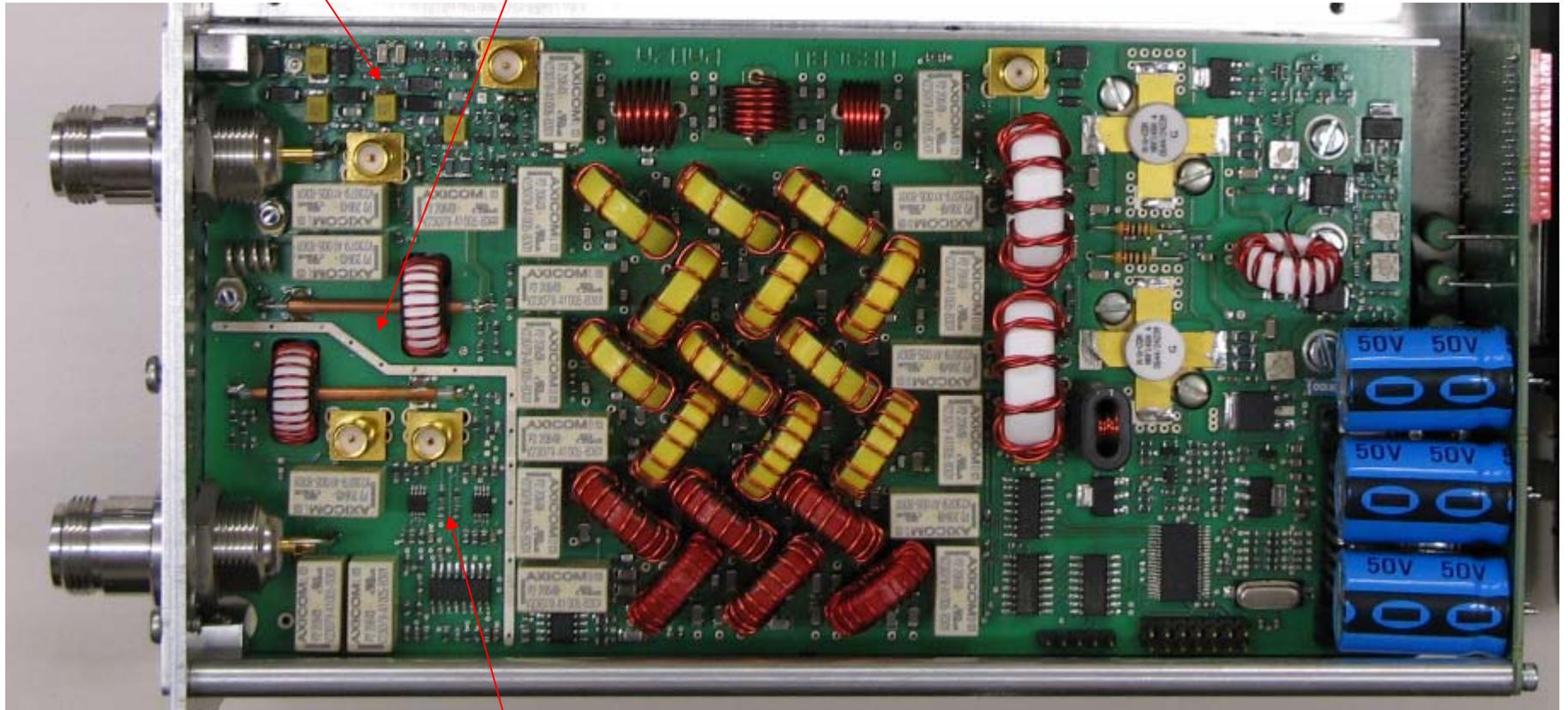
Sendespektrum über 1MHz gemessen



## Aufbau der Endstufe

electronic Rx/Tx-Switch

Directional Coupler



### Daten der Endstufe:

Max. Ausgangsleistung	50W
Min. Ausgangsleistung	100mW
Nebenwellenabstand	>70dBc

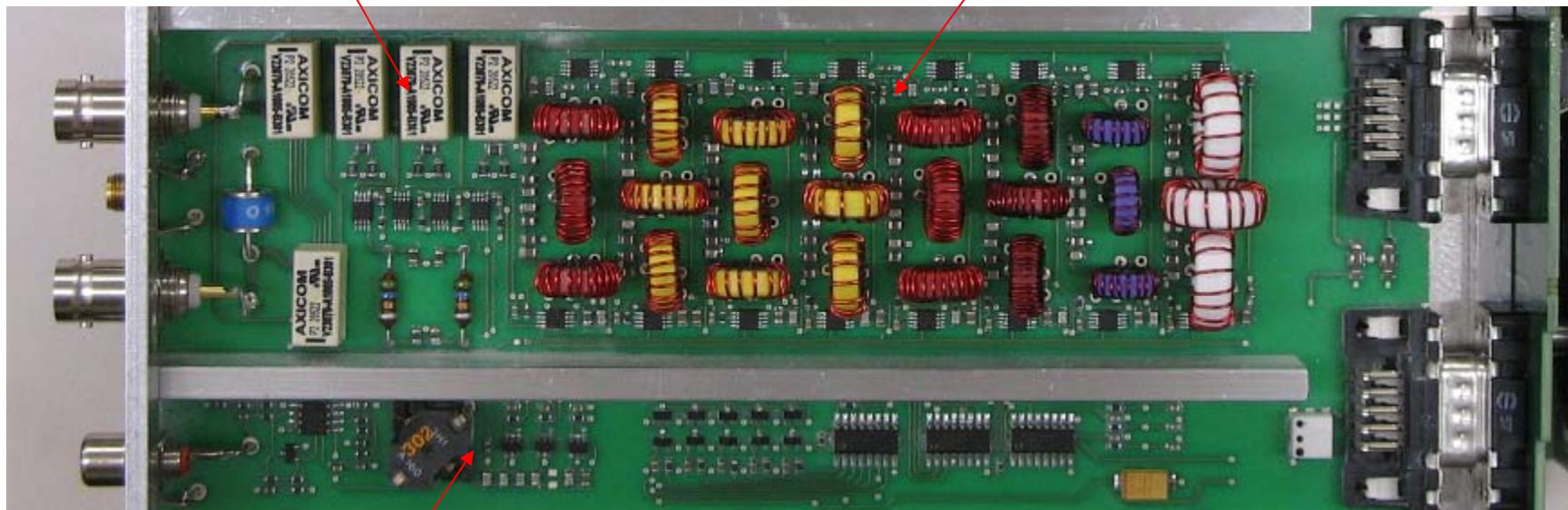
### Besonderheiten:

- Adaptive Predistortion
- Power-Meter für den Bereich 0.1 ... 50W
- VSWR-Meter mit hoher Dynamik, misst ab 0.1W
- Antennascope zur Bestimmung der komplexen Impedanz direkt am TRX oder am Fusspunkt der Antenne als Option

## Der Preselector

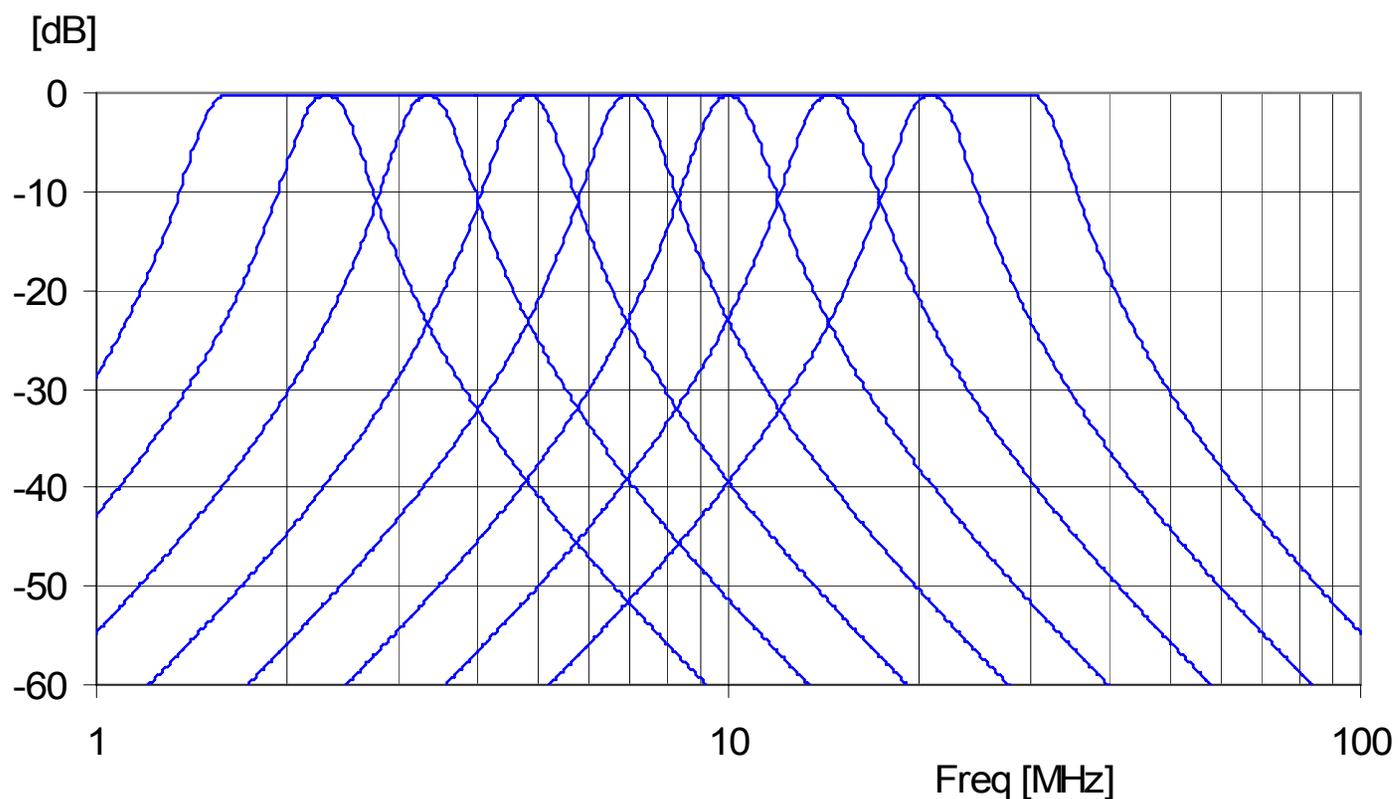
Attenuator, 0...35dB  
in 5dB-Schritten

Halboktavfilter, mit  
Hochstrom-FET's  
geschaltet



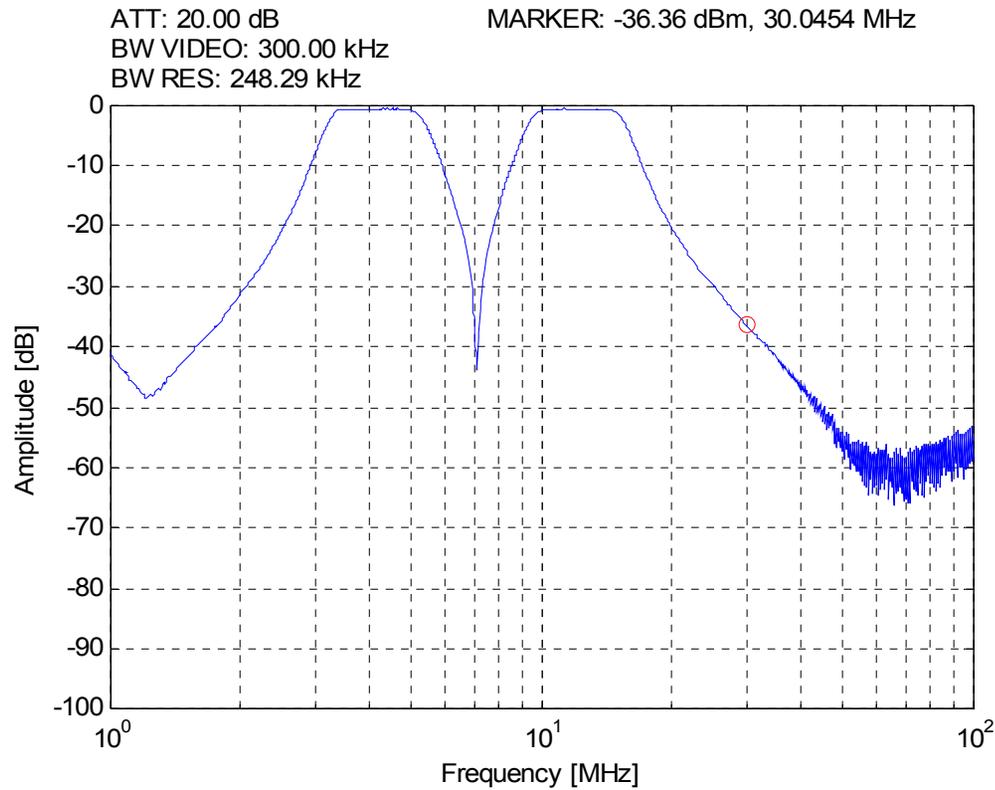
VLF-Frontend, für 60, 75,  
77.5 und 137kHz schaltbar

## Die Halboktav-Filter des Preselektors



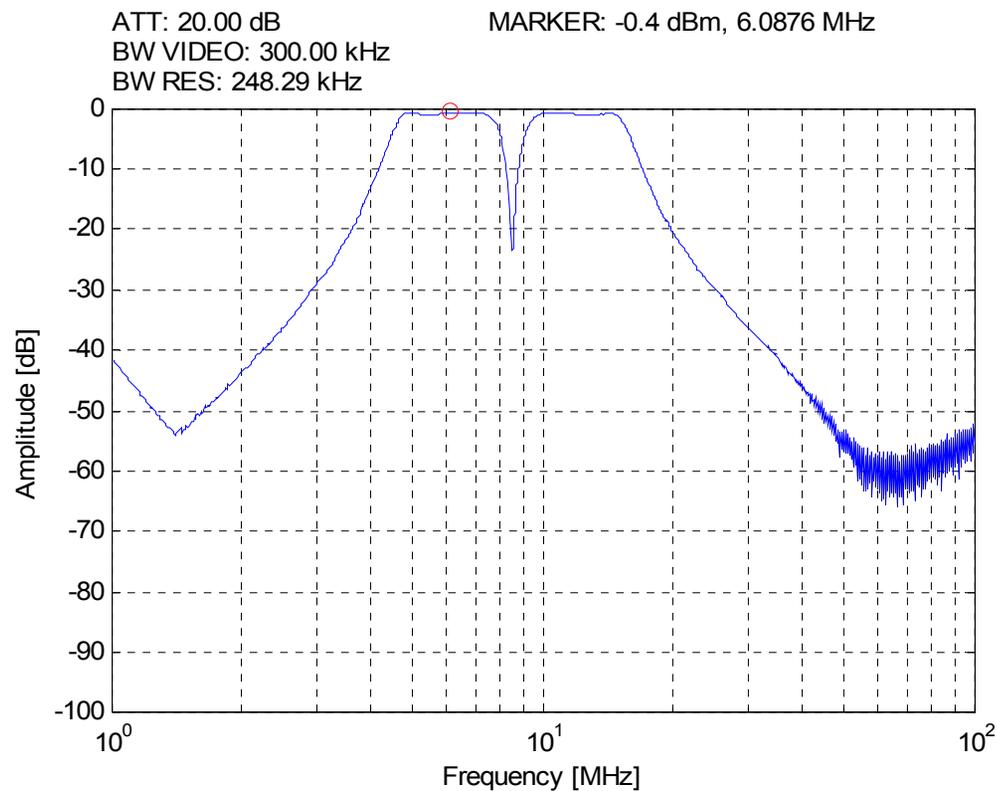
## Der Preselektor

gleichzeitiger Empfang auf dem 80m- und 30/20m-Band

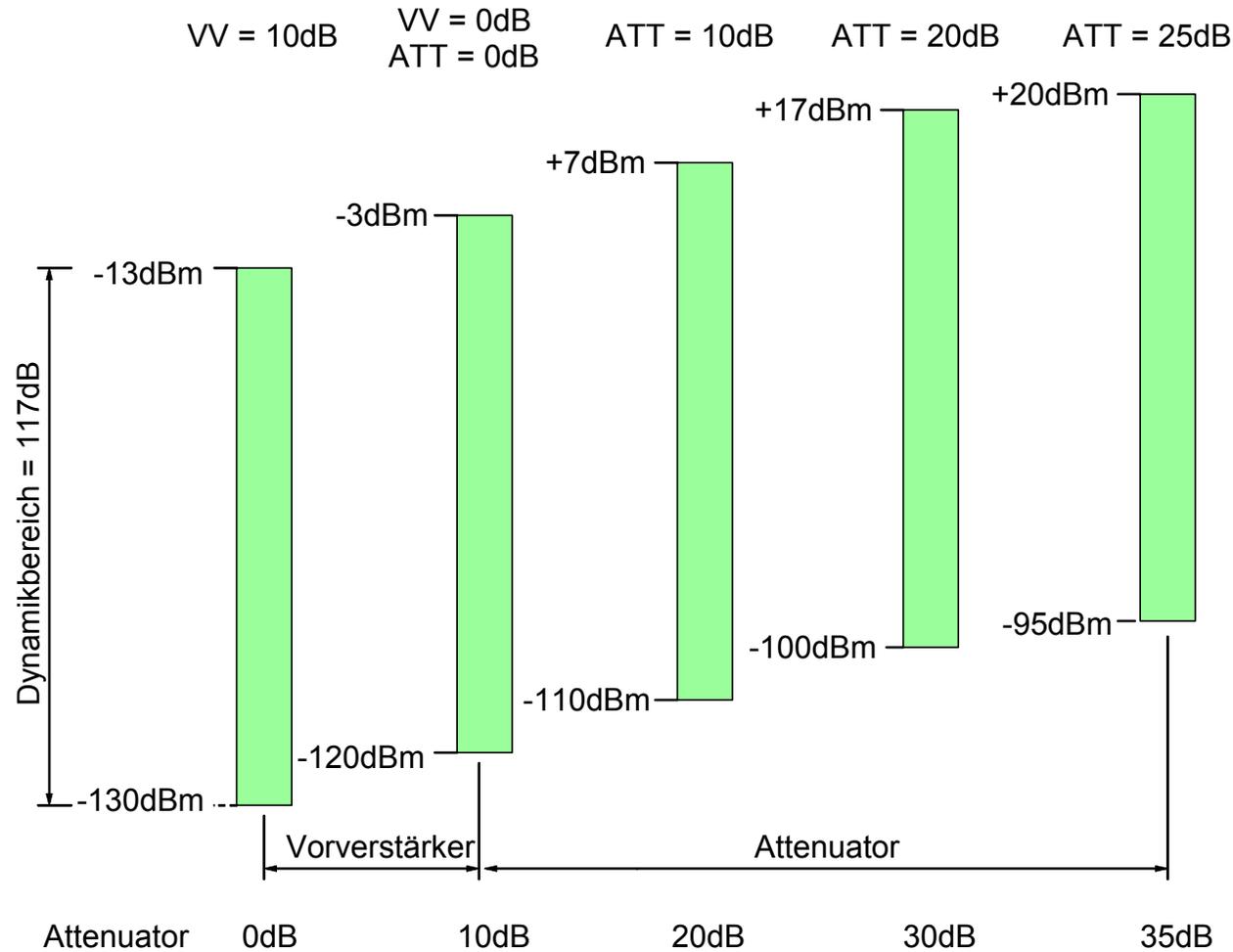


## Der Preselektor

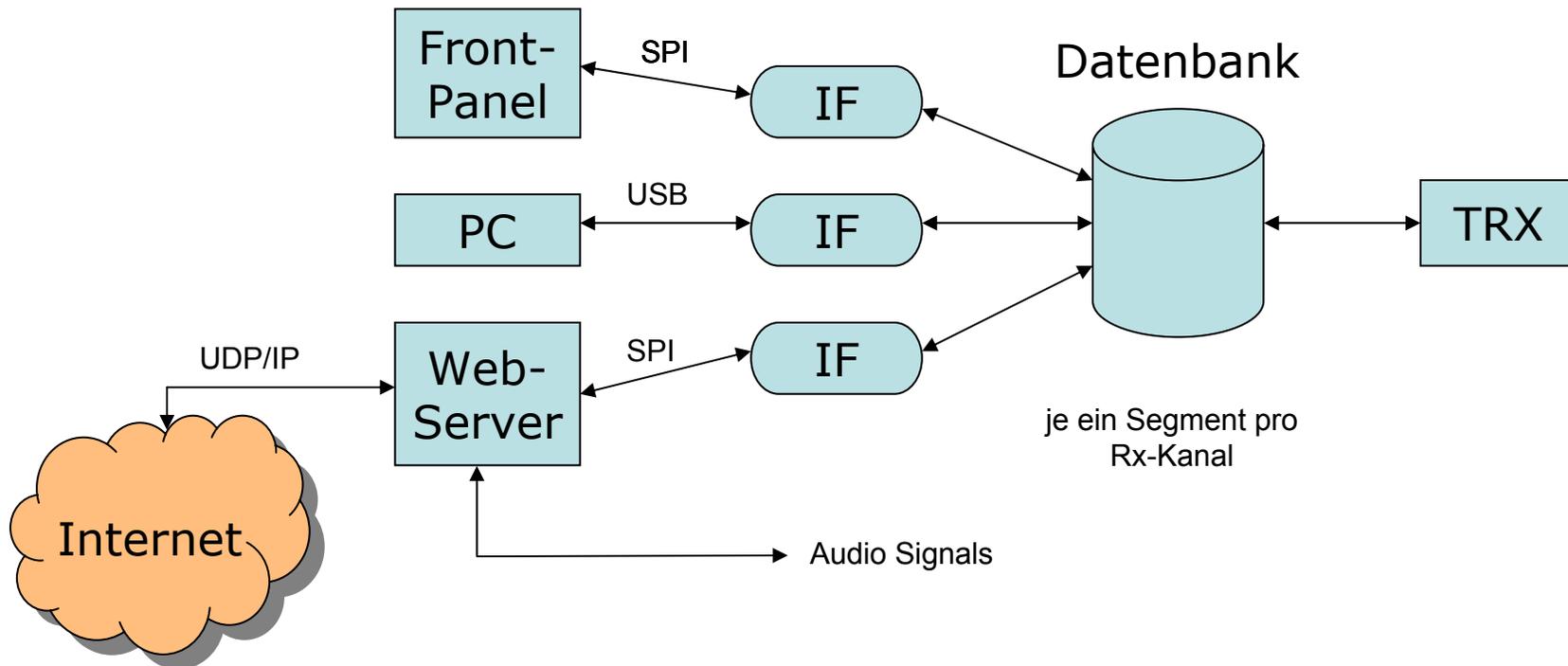
gleichzeitiger Empfang auf dem 40m- und 30/20m-Band



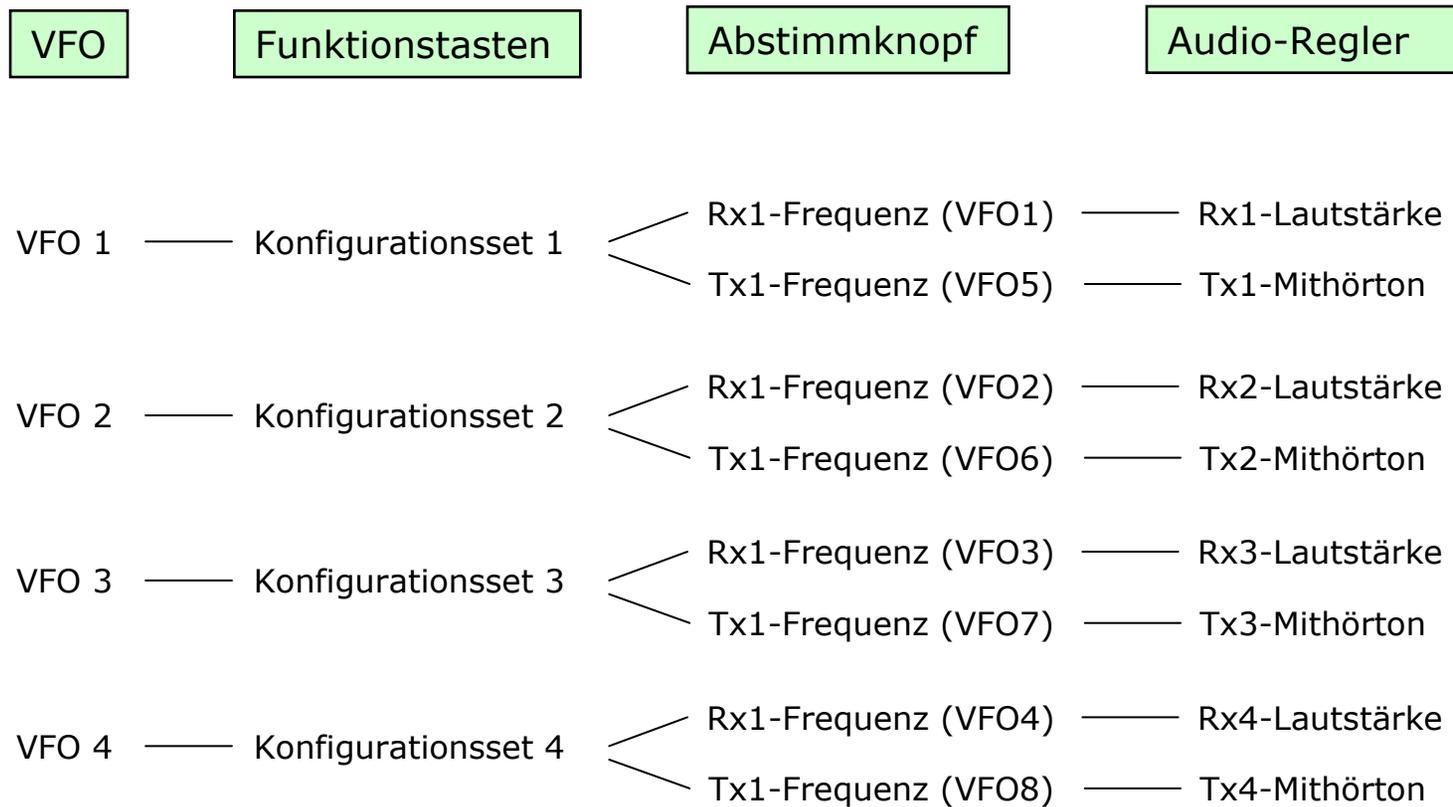
## Konzept des Attenuators



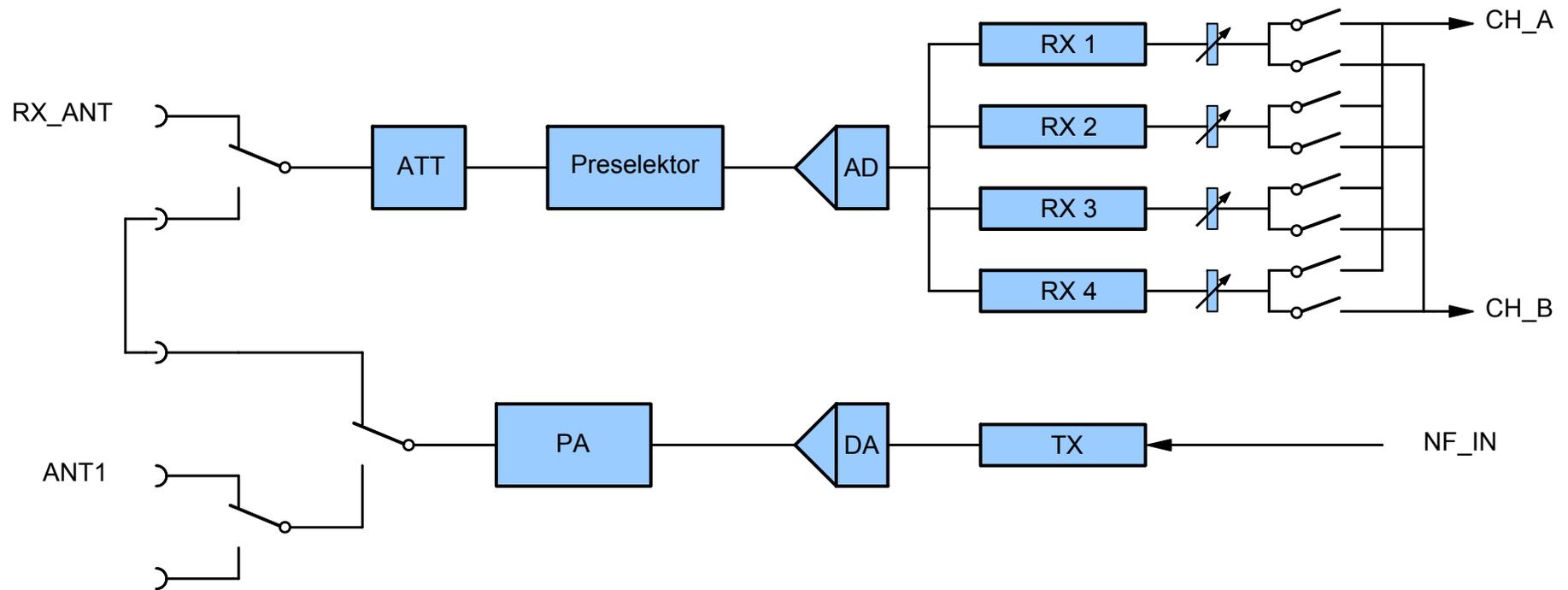
## Konzept der Transceiver-Steuerung



## Konzept der Transceiver-Steuerung



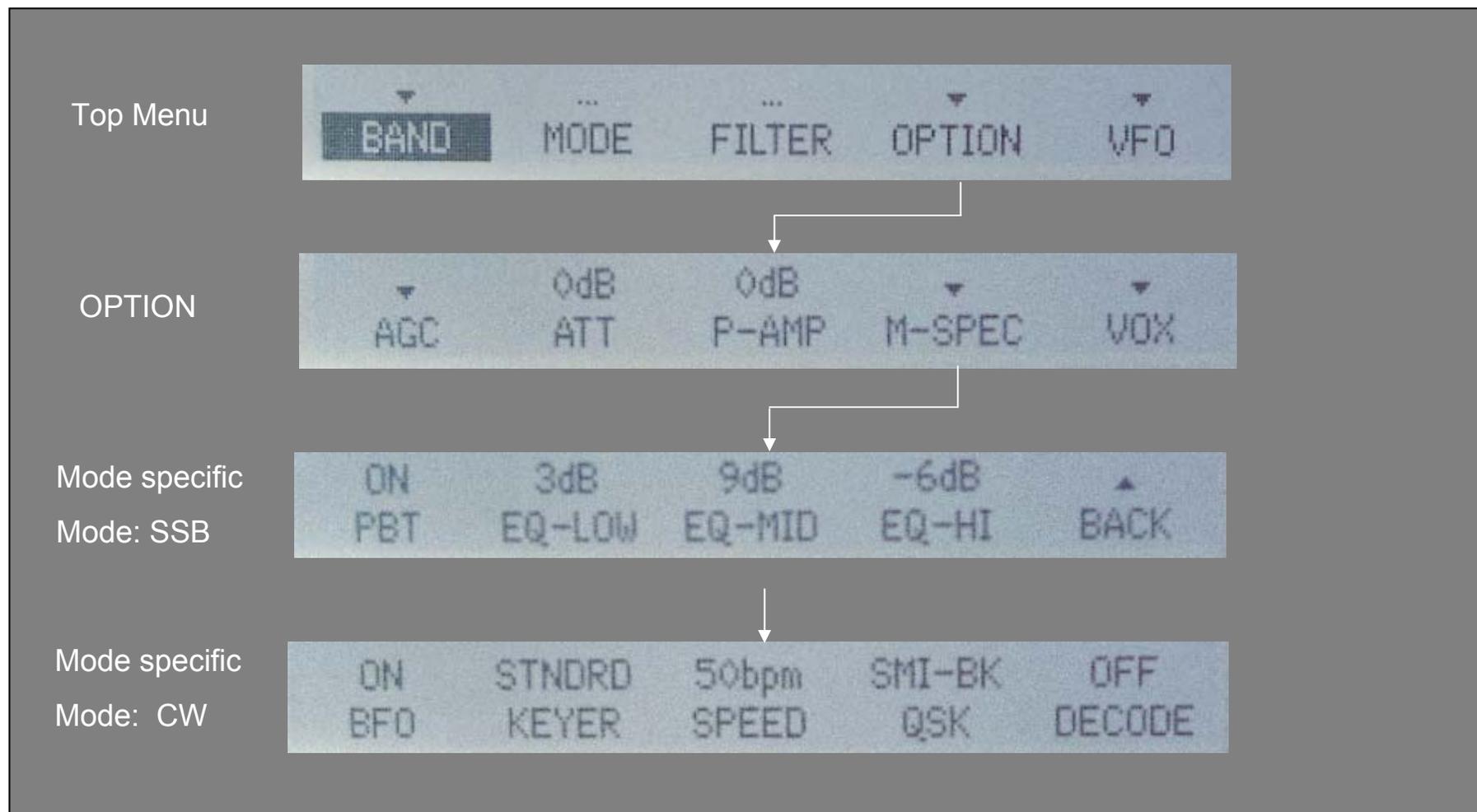
## Konzept der Transceiver-Steuerung



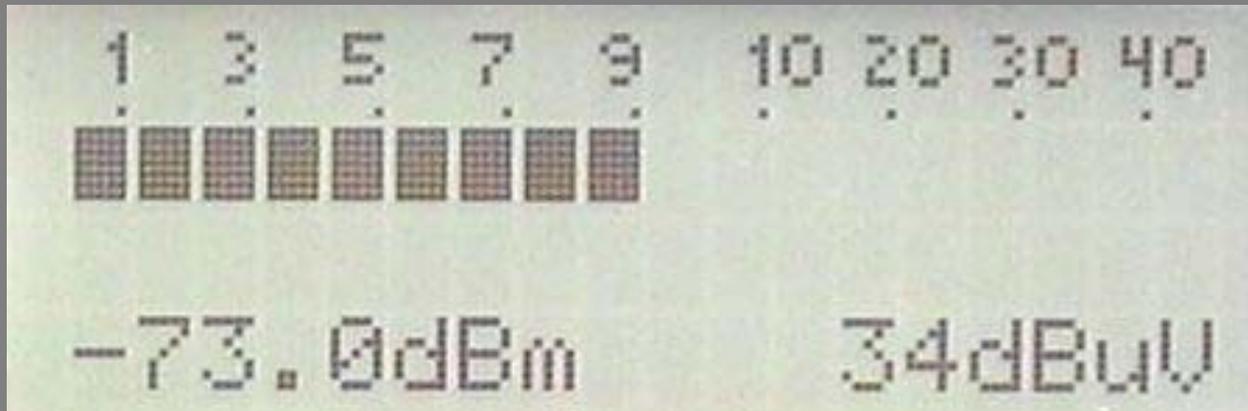
## Konzept der Transceiver-Steuerung



## Die Menu-Struktur



## Die Menu-Struktur



## Wie geht es weiter?

Verfügbarkeit der ersten Geräte: ab Januar 07  
Preis des ADT-200A : ca. CHF 4500

### Weitere Ausbauten (Optionen):

- Antennascope
- Web-Server Modul für den Fernbetrieb eines ADT-200A
- Benutzeroberfläche für Steuerung durch einen PC
- Spektrumanalyse
- 2m/70cm Transceiver Modul mit je ca. 10W Ausgangsleistung
- Diversity - Empfang