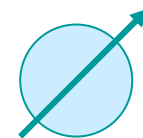
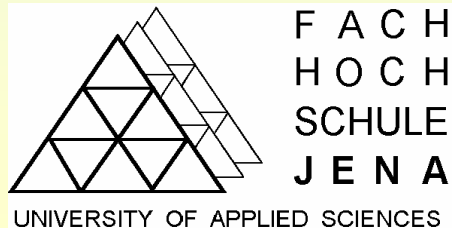


# Elektrische Messtechnik (5.3)

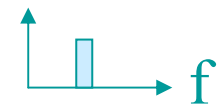
mod. SS 2009

Prof. Dr. sc. nat. Manfred Schmidt  
Fachhochschule Jena  
Fachbereich Elektrotechnik/  
Informationstechnik

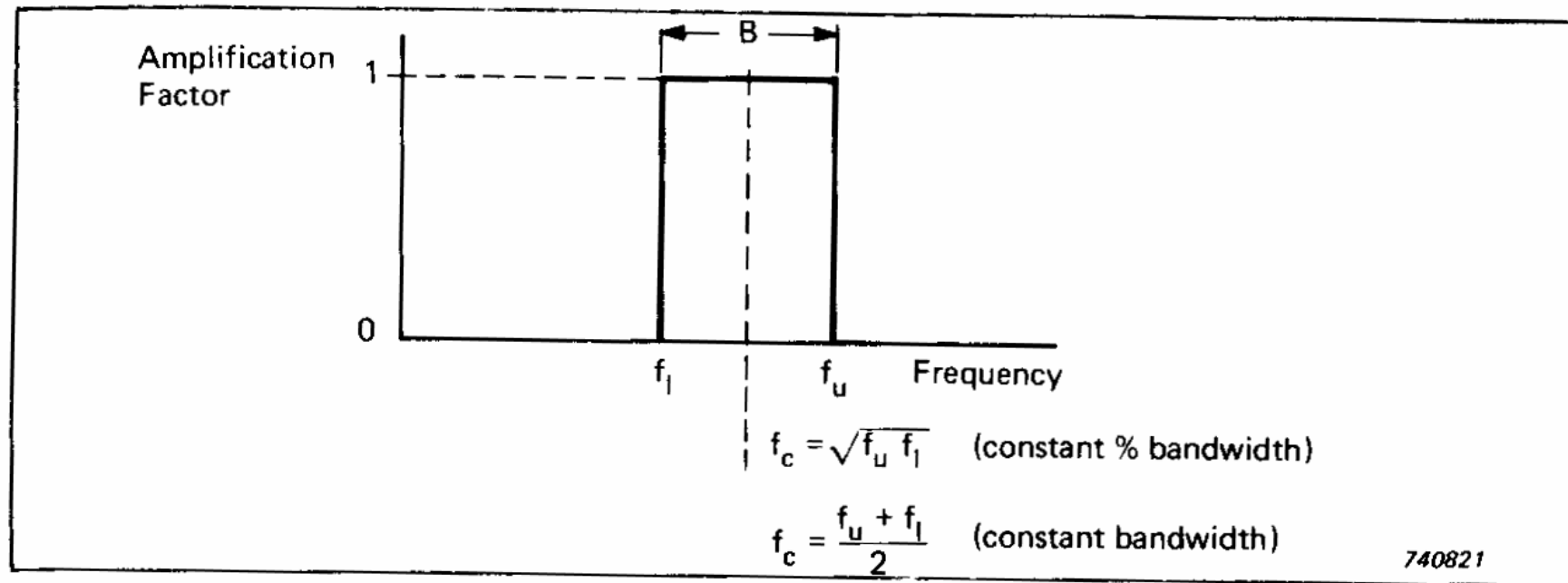


Dieses Material wurde ausschließlich für Lehrveranstaltungen am Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik der Fachhochschule Jena im SS 2003 konzipiert und zusammengestellt.

Die verwendeten Abbildungen sind zum Teil aus den angegebenen Literaturstellen entnommen.



# Bemerkungen zur Bandbreite



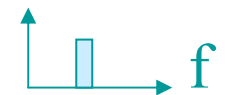


# Octav Filter

If  $f_l$  = lower limiting frequency  
 $f_u$  = upper limiting frequency  
 $f_o$  = nominal centre frequency

Then  $f_u = 2f_l$

and  $f_o$  = the geometric mean =  $\sqrt{f_u \cdot f_l} = \sqrt{2f_l^2} = \sqrt{2} f_l$



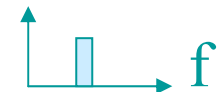
# Octav Filter

The absolute bandwidth =  $f_u - f_l = f_l$

and the relative bandwidth =  $\frac{f_u - f_l}{f_o}$

$$= \frac{f_l}{f_o} = \frac{f_l}{\sqrt{2}f_l} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 70,7\%$$

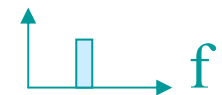
Internationally standardized centre frequencies for octave filters are laid down in IEC Recommendation 225 which specifies a set of contiguous filters based on a reference centre frequency of 1000 Hz.



# Relation

Internationally standardized centre frequencies for octave filters are laid down in IEC Recommendation 225 which specifies a set of contiguous filters based on a reference centre frequency of 1000 Hz.

Thus it can be seen that it is possible to cover 3 decades in frequency with 10 octave bands ranging from 22,5 Hz (lower limiting frequency for 31,5 Hz centre frequency) to 22,5 kHz (upper limiting frequency for 16 kHz centre frequency).





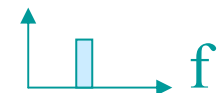
# Third Octave Filter

Third octave filters are obtained by dividing each octave band into three geometrically equal sub-sections, i.e.  $f_u = 2^{1/3} f_l$  and by coincidence this is equal to one-tenth of a decade since

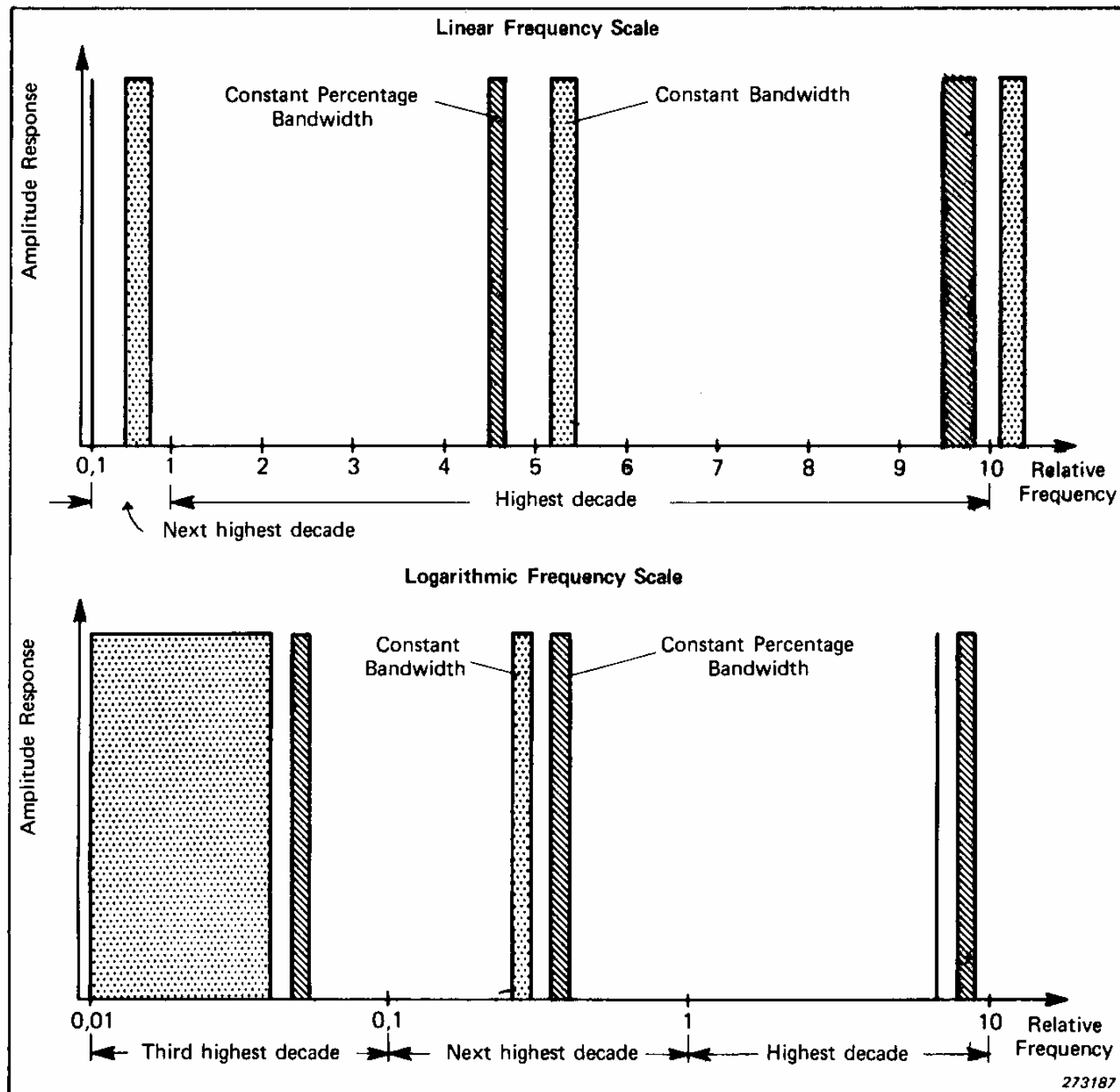
$$\log_{10} (2^{1/3}) = 1/3 \log_{10} (2) = 1/3 \cdot 0,3 = 0,1 = 1/10 \log_{10} (10) = \log_{10} (10^{1/10})$$

By the same procedure as for octave filters, the percentage bandwidth of third octave filters can be derived as:

$$\frac{2^{1/3} - 1}{2^{1/6}} = 23,1\%$$

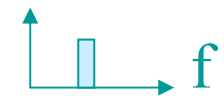
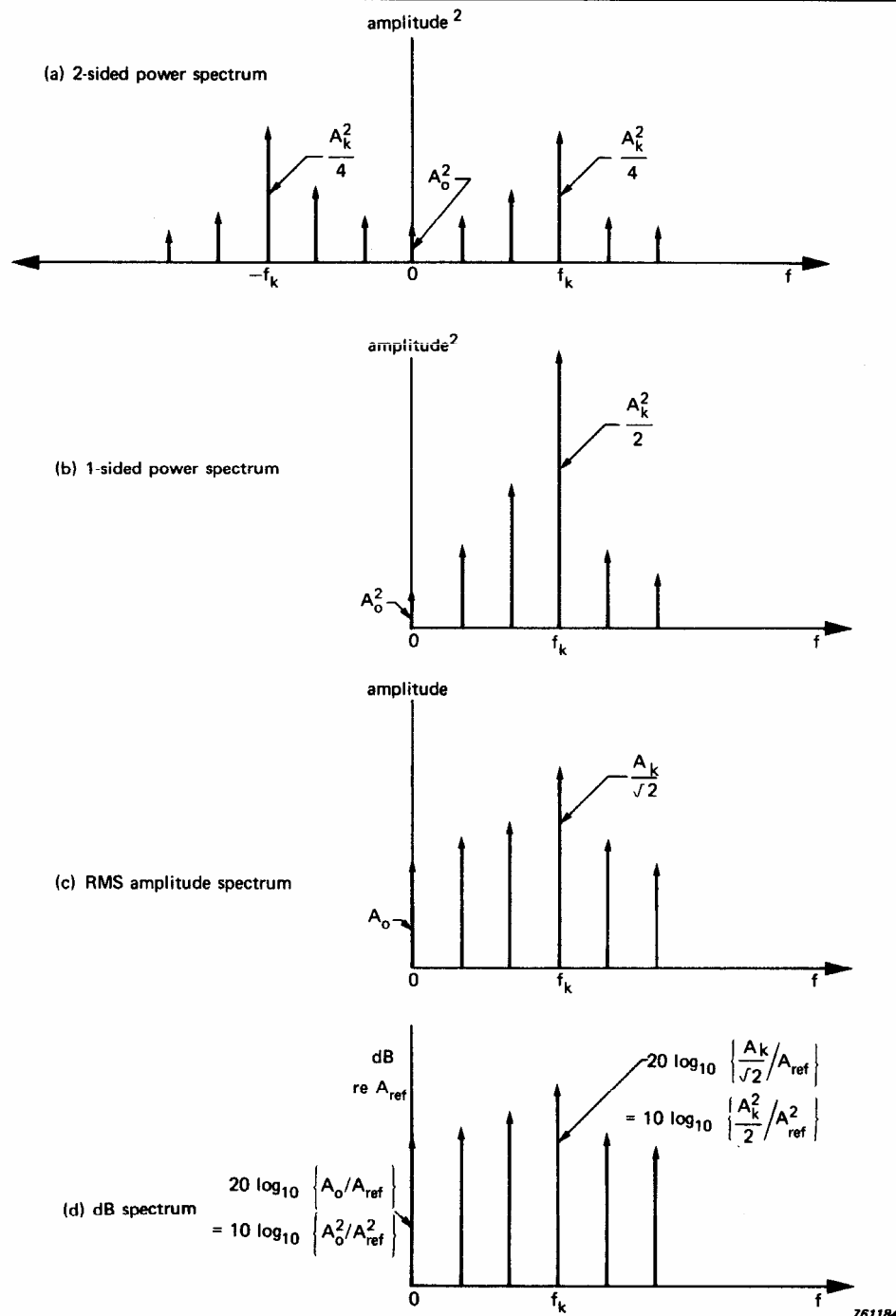


Konstante  
absolute  
bzw.  
relative  
Bandbreite

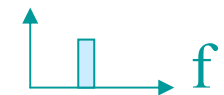
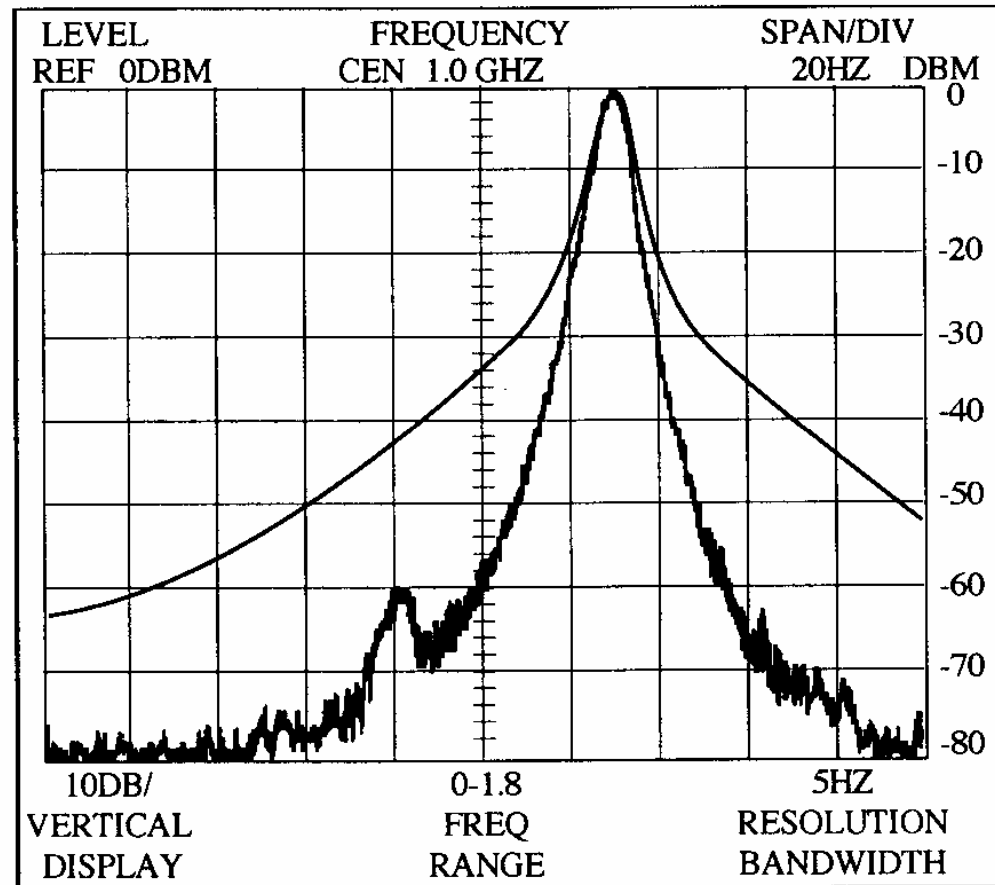
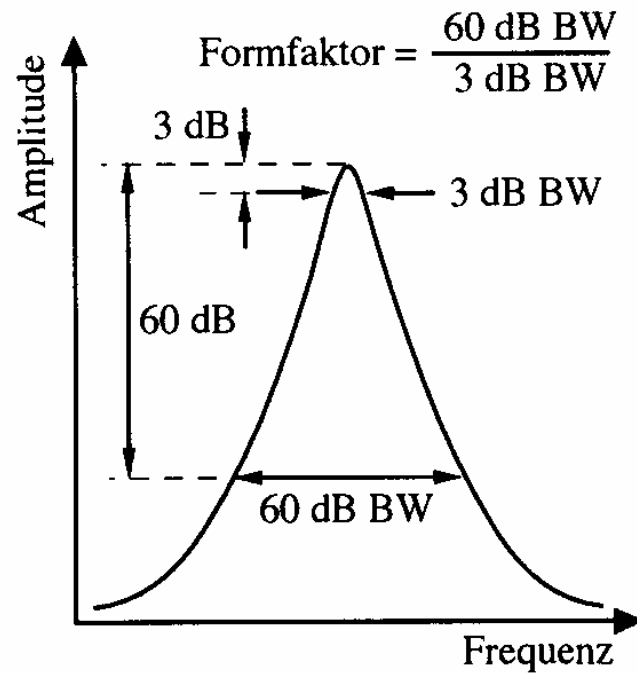




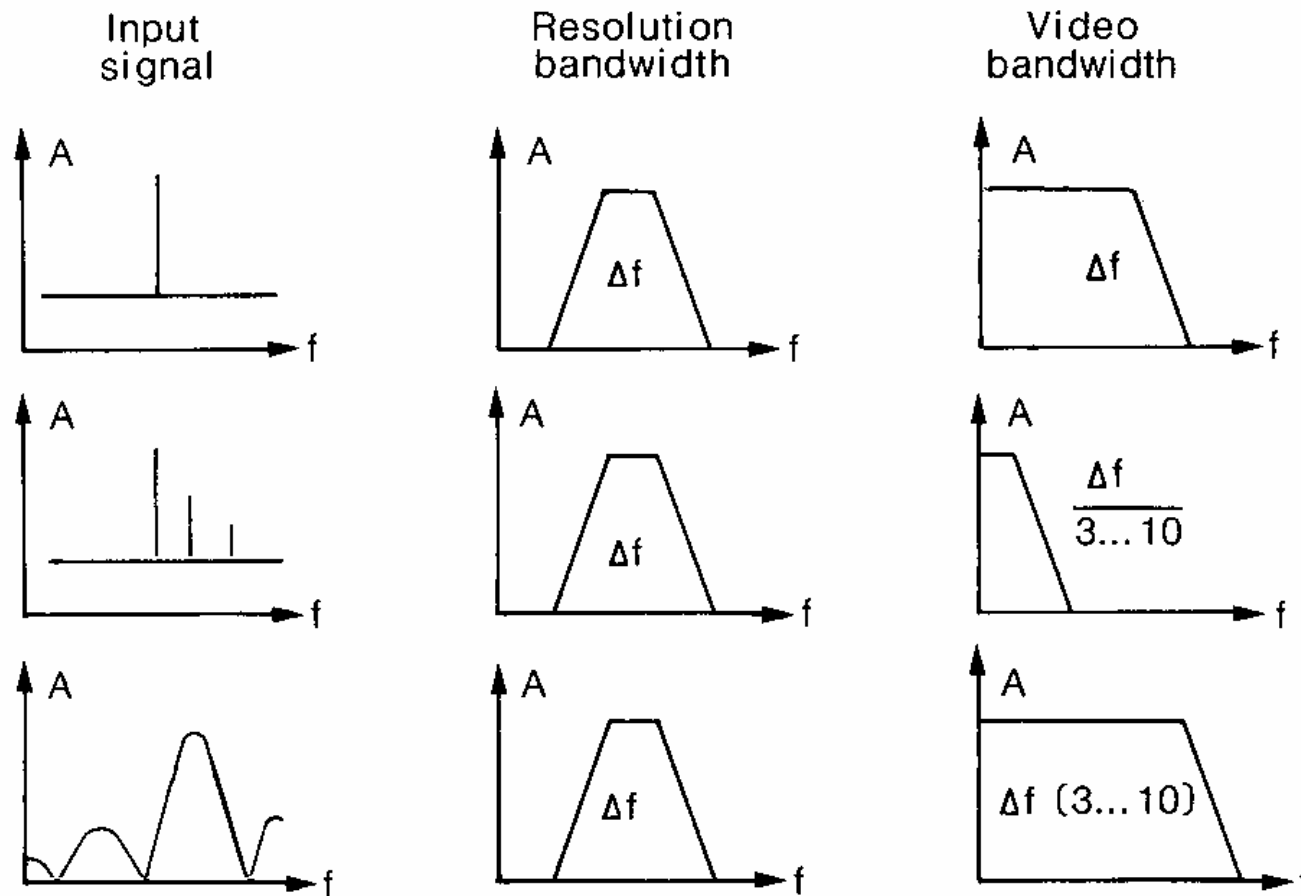
# Various Spectrum Representations



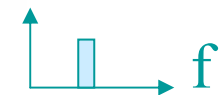
# Formfaktor



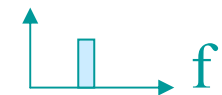
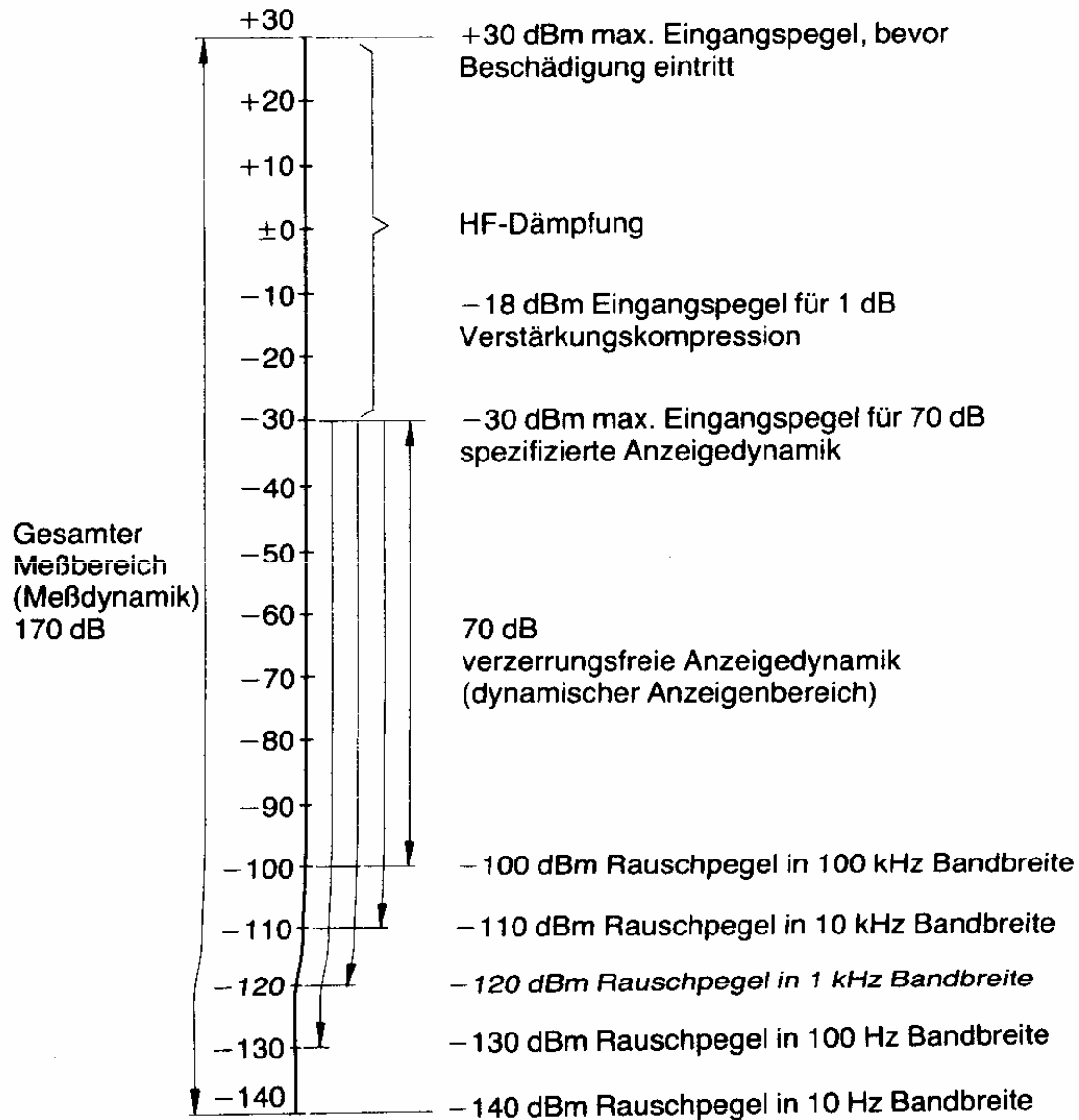
# Einstellung RBW, VBW



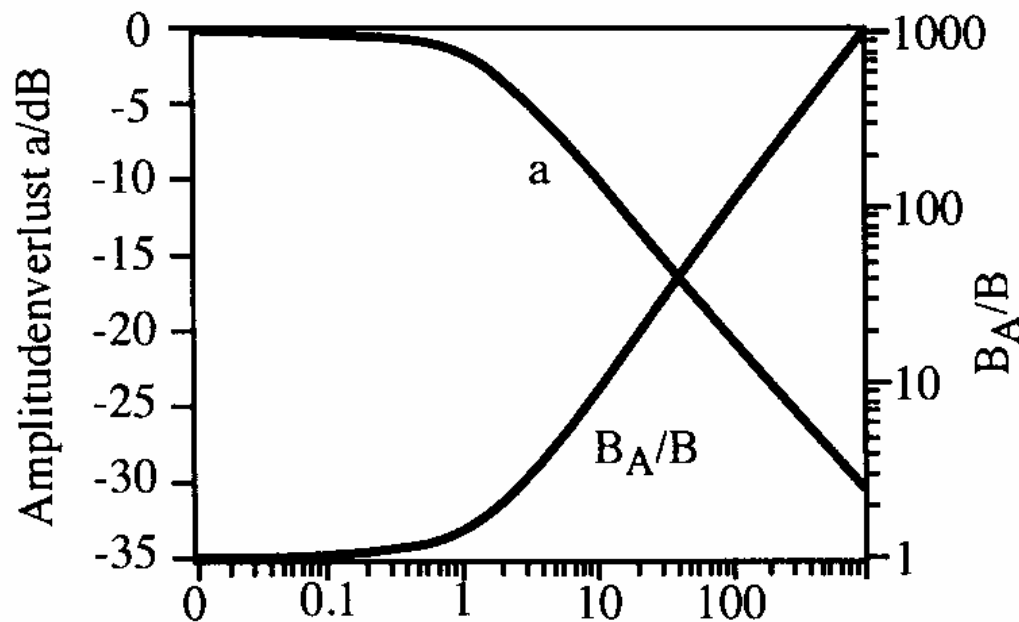
Quelle: R&S - Firmendruckschrift



# Dynamikbereich



# Wobbelung: Amplituden - und Bandbreiten"fehler"

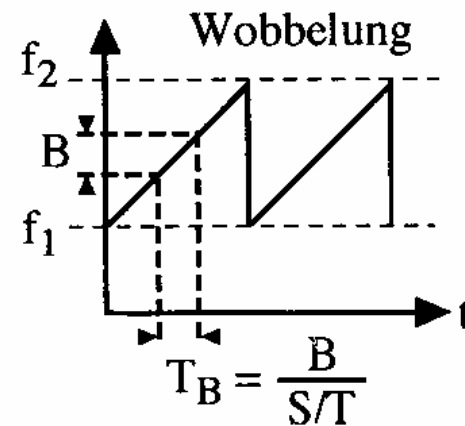


$$\frac{\sqrt{K}/B}{B/(S/T)} = \frac{T_E}{T_B}$$

Einschwingzeit (siehe Gln. (5.9))

Verweilzeit

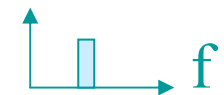
Zur Definition der Verweilzeit  $T_B$ :



Gln. (5.9):

$$K = (T_E B)^2$$

Quelle: Thumm, Wiesbeck, Kern



# Wobbelung: Amplituden - und Bandbreiten“fehler“

Bezeichnungen:

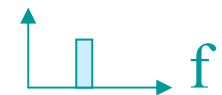
S	Span, Wobbelhub
T	Wobbeldauer
S/T	Wobbelgeschwindigkeit
B	Filterbandbreite
$B_A$	angezeigte Bandbreite
$R_0$	statische Auflösebandbreite
R	dynamische Auflösebandbreite



# Dynamische Auflösebandbreite

Es gibt eine minimale dynamische Auflösungsbandbreite  $R$ . Werden Signale mit kleinerer spektraler Breite  $B < R$  vermessen, so ist sowohl die angezeigte spektrale Breite als auch die angezeigte Signalamplitude mit systematischen Fehlern behaftet.

$$\text{Dynamische Auflösebandbreite } R = (S / T)^{1/2}$$

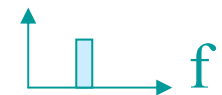


# Dynamische Auflösebandbreite

Statische Auflösebandbreite (RBW)  $R_0$   
wird bei zu schneller Wobbelung verschlechtert:

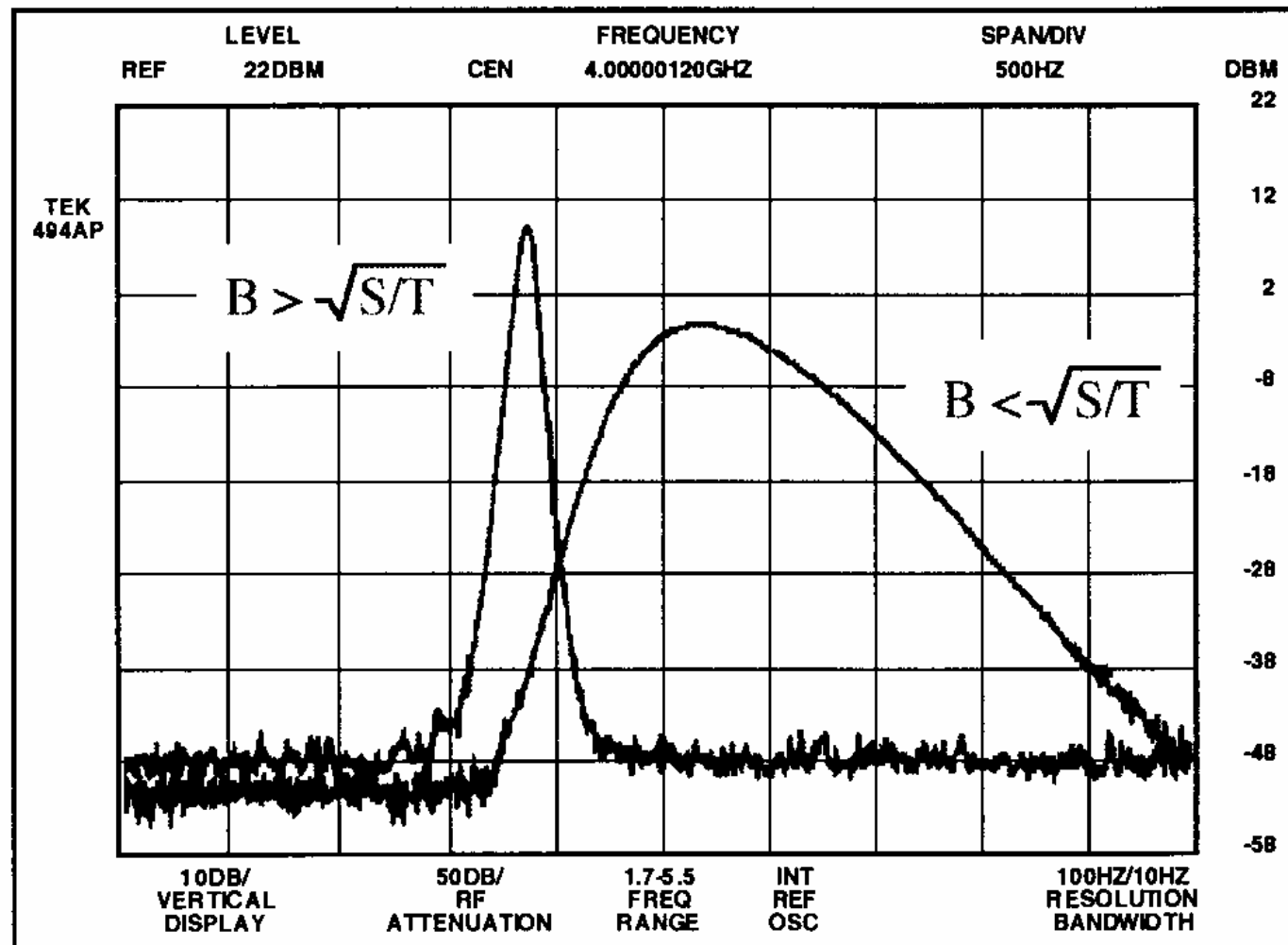
$$R_0 < (S / T)^{1/2}$$

außerdem: - Amplitudenverlust und  
- angezeigte Frequenz zu hoch oder  
zu tief (je nach „Richtung“ der Wobbelung)



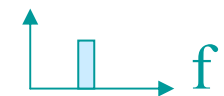


# Dynamische Auflösebandbreite

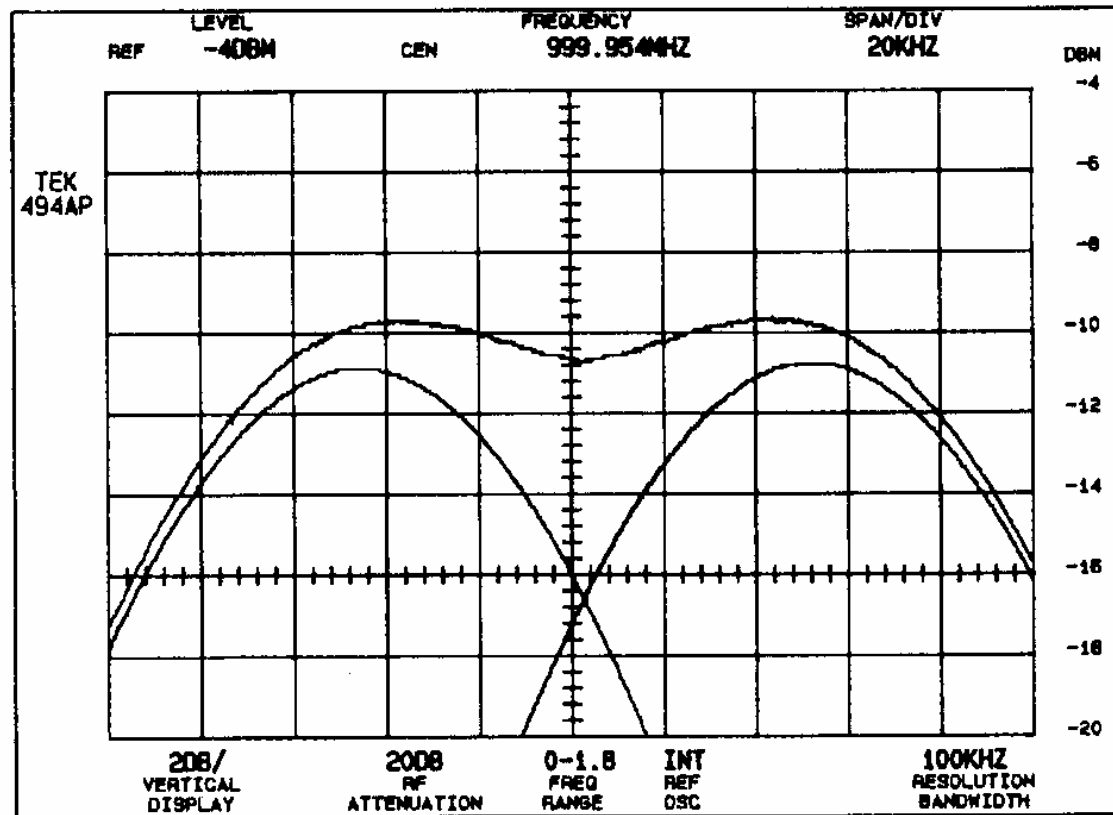


S – Span  
T – Wobbel-  
dauer

S/T – Wobbel-  
geschwindigkeit



# Auflösung (Definition)

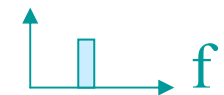


Kriterium:  
Einsattelung

$\Delta f = R$  bei 3dB

(hier auch  $\Delta f'$  bei  
1 dB eingezeichnet)

Signalauflösung bei Signalen gleicher Amplitude



# Vergleich FFT-Analysator - Spektrumanalysator

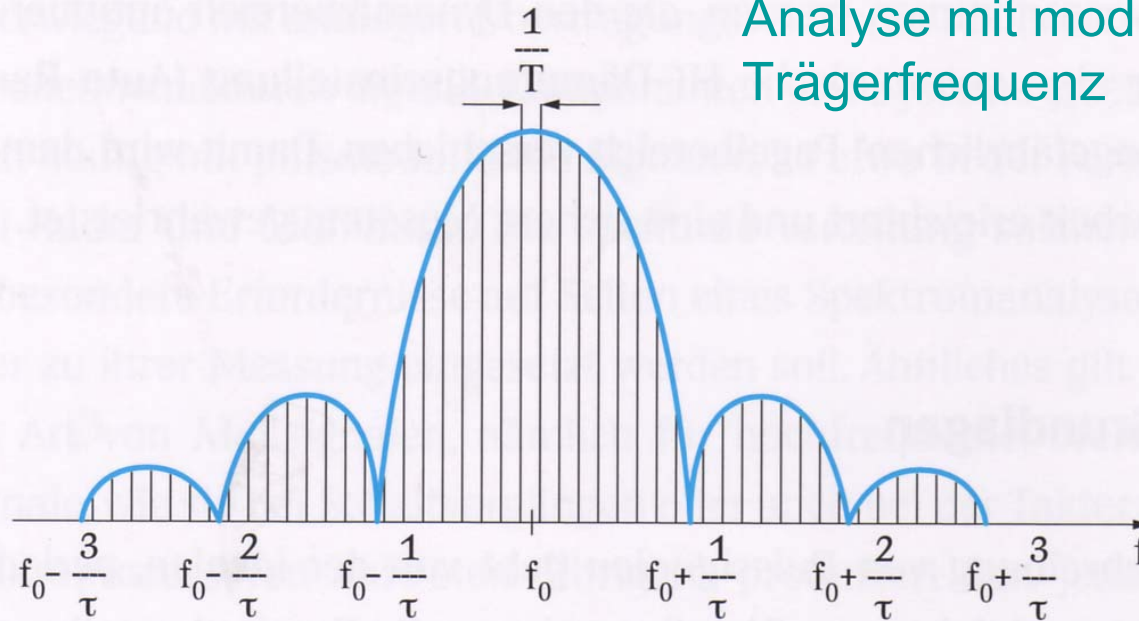
	FFT-Analysator	Spektrumanalysator
○ Frequenzabtastung	parallel	sequentiell
○ Frequenzmeßbereich	DC bis ca. 100 kHz (Spezialgeräte bis 10 MHz)	5 Hz bis 1200 GHz (keine Analyse nahe 0 Hz)
○ Amplitudenmeßbereich	+ 30 ... ca. -140 dBm	+ 30 ... ca. -150 dBm
○ kleinste spektrale Auflösung	$\ll 1$ Hz	3 Hz
○ fehlerfrei zu analysierende Signalform	transient	periodisch
○ Meßergebnis	Amplitude u. Phase über Frequenz	Amplitude über Frequenz
○ Berechnung von Signalab- hängigkeiten (z. B. Korre- lation)	ja	nein
○ Echtzeitanalyse	ja, mit eingeschränkter Band- breite	nein
○ Vergrößerung der Selektivität	Zeitfenster verlängern	Auflösungsbandbreite ver- kleinern
○ Unterdrückung von Ne- benschwingern	geeignete Fensterfunktion wählen	Reduzierung der Abtastge- schwindigkeit (sweep rate)



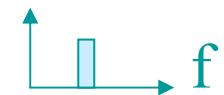
# Messung an gepulsten Signalen

$$U_n = 2\hat{U} \frac{\tau}{T} \frac{\sin \frac{n\pi\tau}{T}}{\frac{n\pi\tau}{T}}$$

Allgemeine Signaldarstellung  
(si-Funktion) nach FOURIER-  
Analyse mit modulierter  
Trägerfrequenz

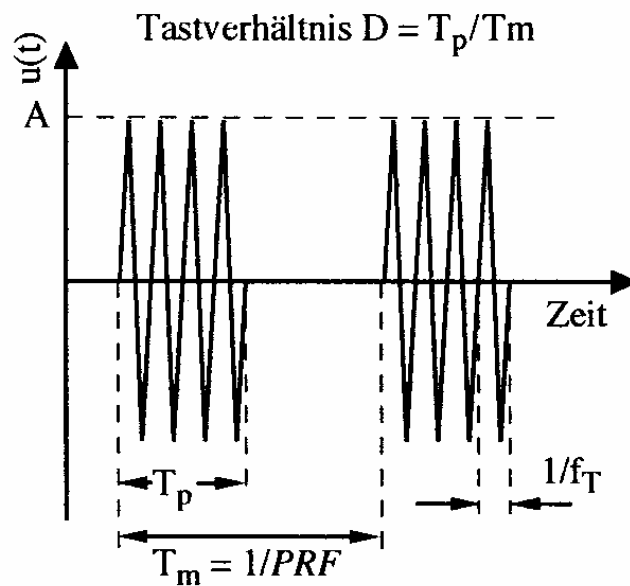


Quelle: RAUSCHER, R&S

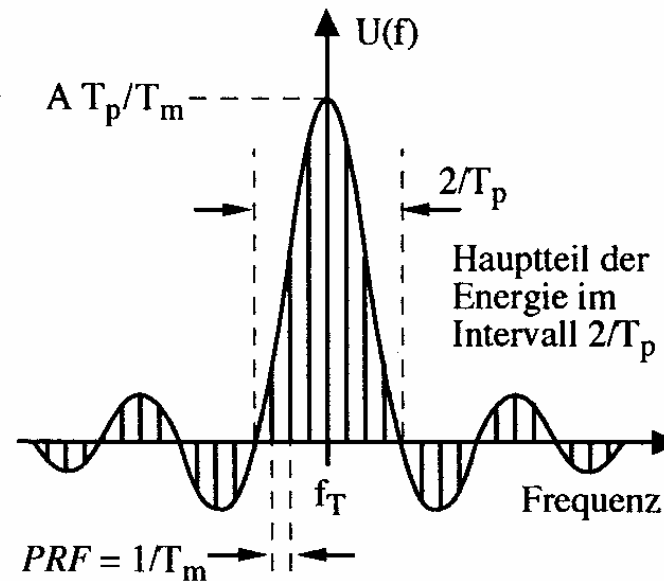


# Messung an gepulsten Signalen

a) Pulssignal im Zeitbereich

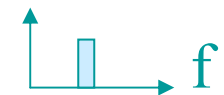


b) Pulssignal im Frequenzbereich



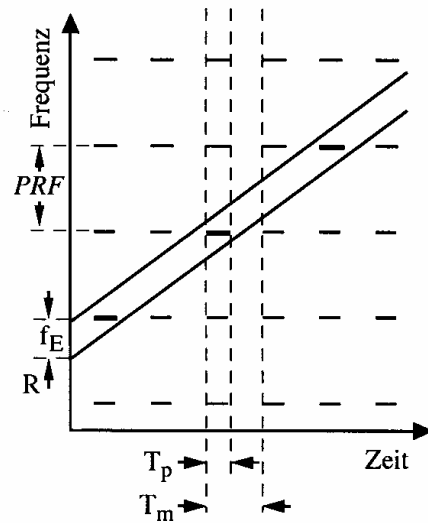
Kohärent gepulstes Signal

Pulswiederholfrequenz PRF (pulse repetition frequency)



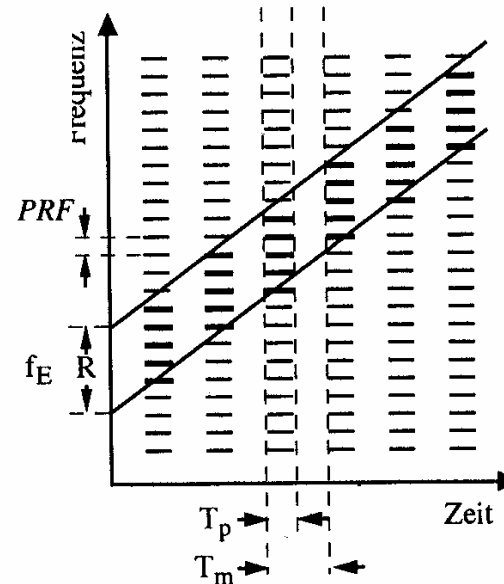
# Messung an gepulsten Signalen

## Frequenzplan zur schmalbandigen Messung eines Pulsspektrums



$PRF > R$ :  
Linienspektrum

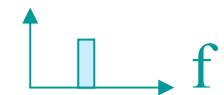
hier: nur bei jedem zweiten Impuls wird eine Linie erfaßt.



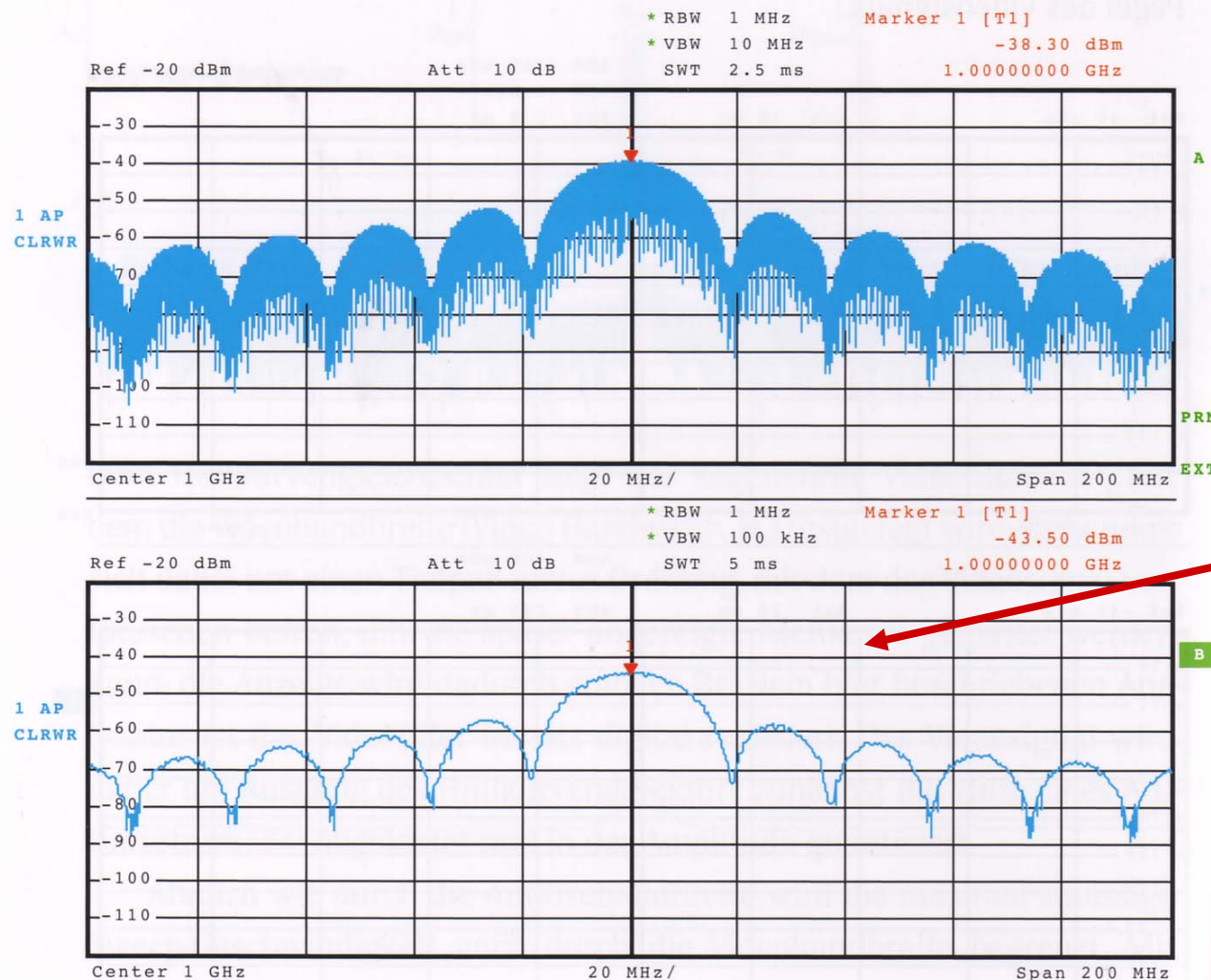
$PRF < R$ :  
Hüllkurvenanzeige

hier: Bei jedem Impuls werden 5 Linien erfaßt.

Breitbandige Messung



# Messung an gepulsten Signalen: große und kleine Videobandbreite

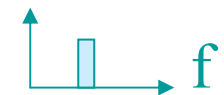
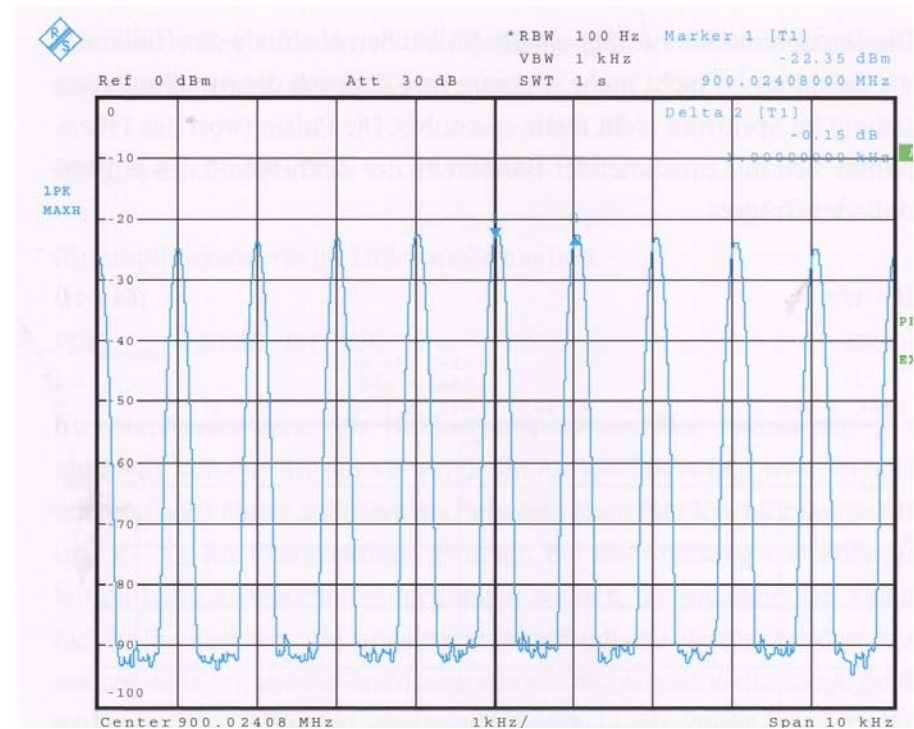
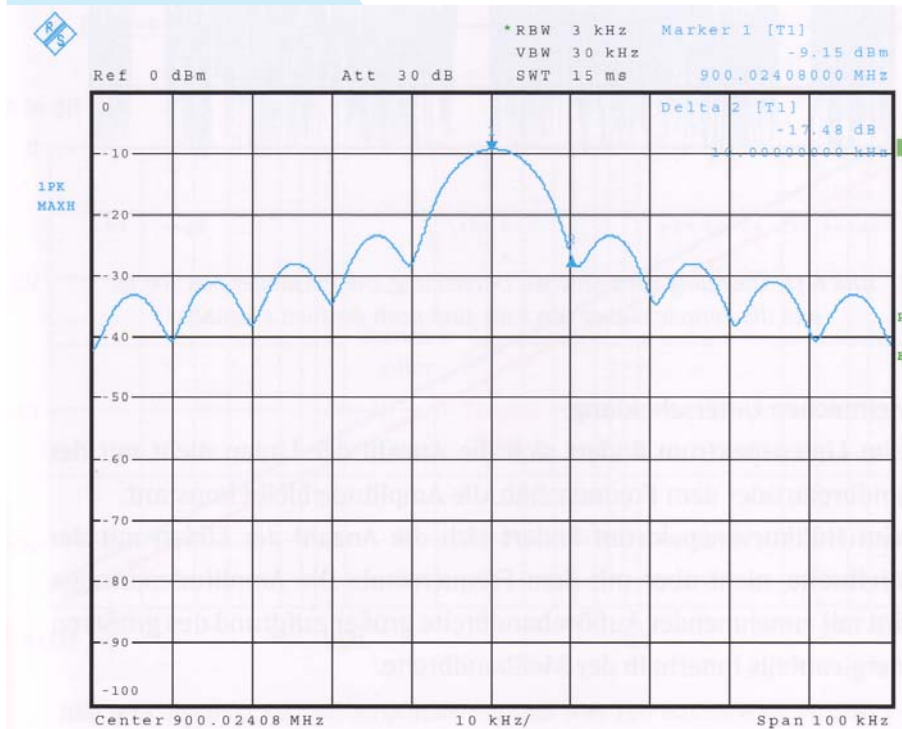


Amplitudenverlust

bei kleiner  
Videobandbreite



# Messung an gepulsten Signalen: große und kleine RBW

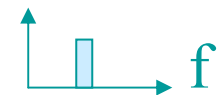




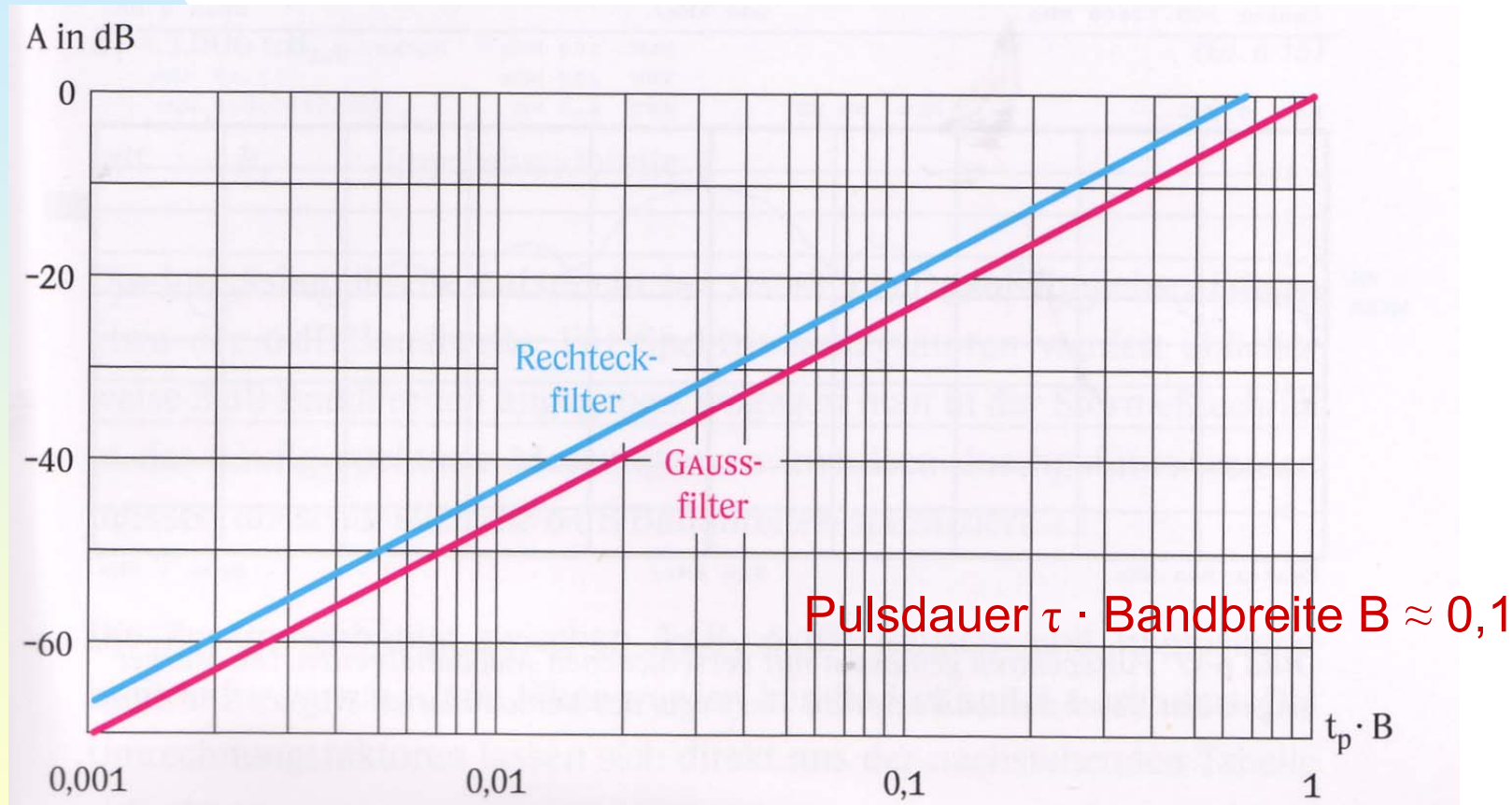
# Messung an gepulsten Signalen: Pulsabsenkung (pulse desensitisation)

	angezeigte Amplitude:
CW-Signal	$U(f_T) = A$
Puls, Hüllkurvendarstellung $(R > PRF)$	$U(f_T) = A \cdot T_p \cdot R$
Puls, Liniendarstellung $(R < PRF)$	$U(f_T) = A \cdot T_p \cdot PRF = A \cdot T_p / T_m$

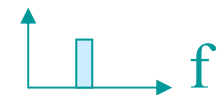
Quelle: R&S - Firmendruckschrift



# Messung an gepulsten Signalen: Pulsabsenkung (pulse desensitisation)



Quelle: Rauscher, R&S



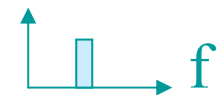
# Messung an gepulsten Signalen: Pulsabsenkung (pulse desensitisation)

Puls-Desensifikationsfaktor PDF

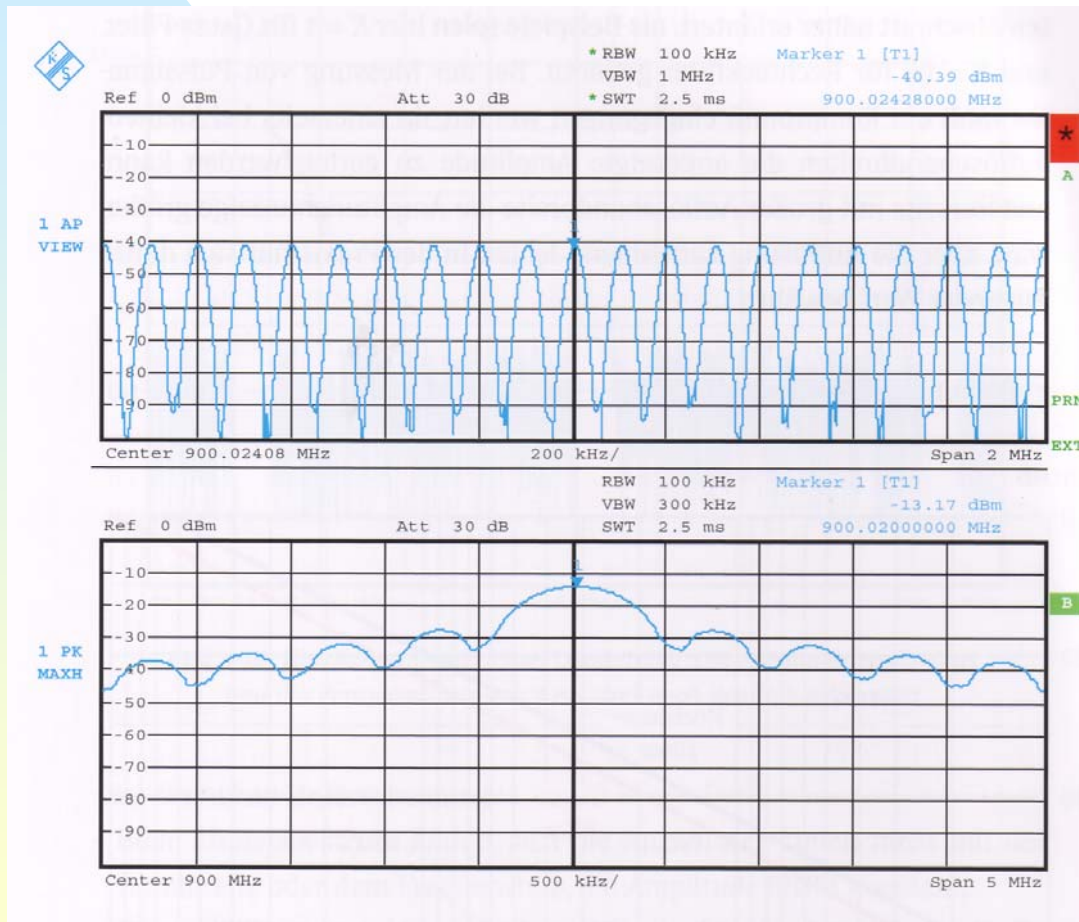
$$PDF_{\text{line}} = 20 \text{ dB } \lg (\tau / T)$$

$$PDF_{\text{envelope}} = 20 \text{ dB } \lg (\tau KB)$$

Quelle: R&S - Firmendruckschrift



# Messung an gepulsten Signalen: Pulsabsenkung (pulse desensitisation)

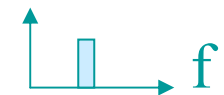


Unmodulierter Träger: 0dBm

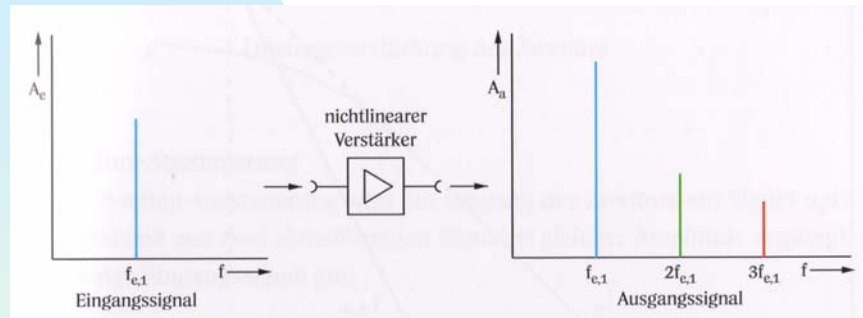
Linienpektrum: - 40 dBm

Envelope: - 14 dBm

Quelle: RAUSCHER, R&S

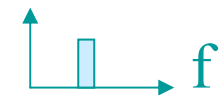
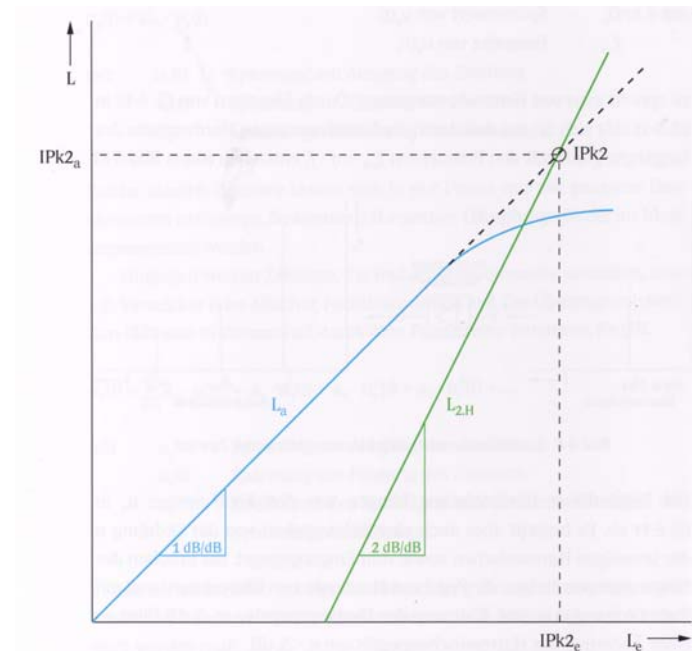


# Signalverzerrungen durch Nichtlinearitäten

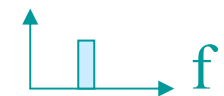
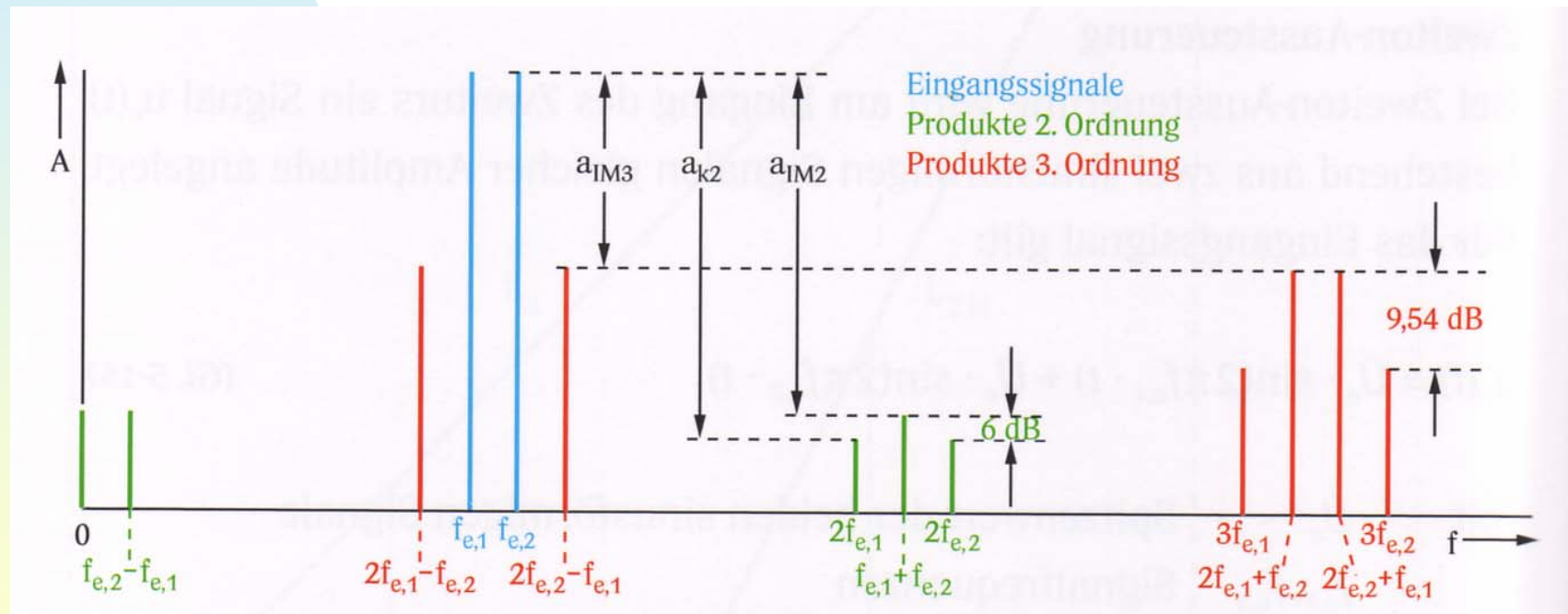


Überproportionales Anwachsen  
der Intermodulationsprodukte

Test mittels Eichleitung



# Signalverzerrungen durch Nichtlinearitäten: Zweitonaussteuerung

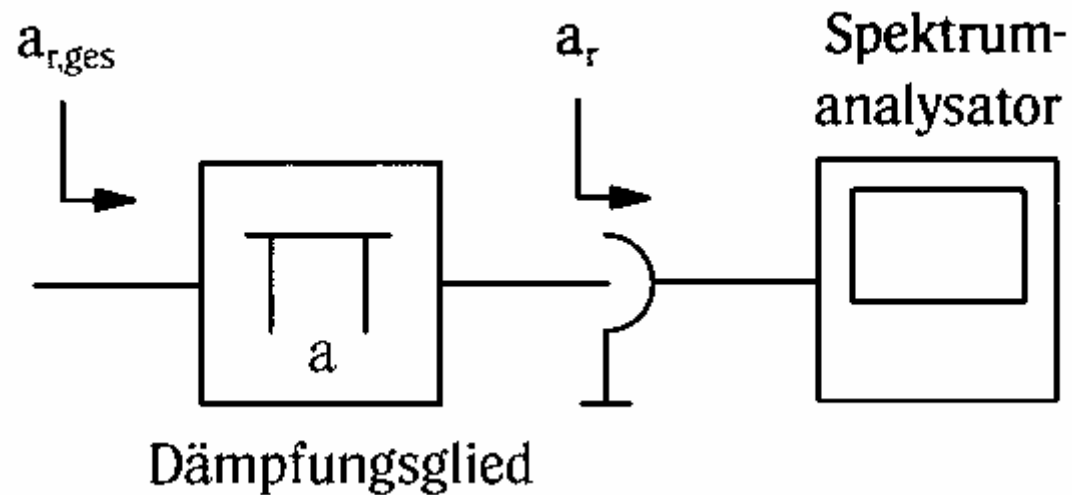


# Signalverzerrungen durch Nichtlinearitäten: Zweitonaussteuerung

Gleichspannungsanteil	$a_2 \cdot 0,5 (\hat{U}_{e,1}^2 + \hat{U}_{e,2}^2)$
Grundwellen (1. Harmonische)	$a_1 \cdot \hat{U}_{e,1} \cdot \sin(\omega_1 t)$ $a_1 \cdot \hat{U}_{e,2} \cdot \sin(\omega_2 t)$
2. Harmonische	$a_2 \cdot 0,5 \cdot \hat{U}_{e,1}^2 \cdot \cos(2 \cdot \omega_1 t)$ $a_2 \cdot 0,5 \cdot \hat{U}_{e,2}^2 \cdot \cos(2 \cdot \omega_2 t)$
Intermodulationsprodukte 2. Ordnung	$a_2 \cdot \hat{U}_{e,1} \cdot \hat{U}_{e,2} \cdot \cos(\omega_1 - \omega_2)t$ $a_2 \cdot \hat{U}_{e,1} \cdot \hat{U}_{e,2} \cdot \cos(\omega_1 + \omega_2)t$
3. Harmonische	$a_3 \cdot 0,25 \cdot \hat{U}_{e,1}^3 \cdot \sin(3 \cdot \omega_1 t)$ $a_3 \cdot 0,25 \cdot \hat{U}_{e,2}^3 \cdot \cos(3 \cdot \omega_2 t)$
Intermodulationsprodukte 3. Ordnung	$a_3 \cdot \hat{U}_{e,1}^2 \cdot \hat{U}_{e,2} \cdot 0,75 \cdot \sin(2\omega_1 + \omega_2)t$ $a_3 \cdot \hat{U}_{e,1}^2 \cdot \hat{U}_{e,2} \cdot 0,75 \cdot \sin(2\omega_2 + \omega_1)t$ $a_3 \cdot \hat{U}_{e,1}^2 \cdot \hat{U}_{e,2} \cdot 0,75 \cdot \sin(2\omega_1 - \omega_2)t$ $a_3 \cdot \hat{U}_{e,1}^2 \cdot \hat{U}_{e,2} \cdot 0,75 \cdot \sin(2\omega_2 - \omega_1)t$

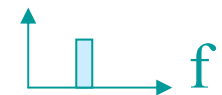


# Verbesserung der Eingangsanpassung durch Vorschalten eines Dämpfungsgliedes



$$a = 6 \text{ dB} \quad a_r = 10 \text{ dB}$$

$$a_{r,ges} = a_r + 2a = 22 \text{ dB}$$





# Messunsicherheiten (1)

Fehlergrenzen (max. Abweichungen)	Berechnung der Varianz
Max. Pegelabweichung bei der Referenzfrequenz	$\sigma^2 = \frac{a^2}{3} \text{ bzw. } \sigma^2 = \left(\frac{a_{cl}}{y}\right)^2$
Frequenzgang	
Abweichung der Eichleitung	
Abweichung der ZF-Verstärkung	
Nichtlinearität	
Bandbreitenumschaltung	
Bandbreite	$\sigma^2 = \frac{\left(10 \text{ dB} \cdot \lg\left(1 + \frac{\Delta B_R}{100\%}\right)\right)^2}{3}$
Anpassung	$\sigma^2 = \frac{\left(20 \text{ dB} \cdot \lg(1 - r_s \cdot r_l)\right)^2}{2}$

Rechteckverteilung

U-Verteilung

# Messunsicherheiten (2)

	angegebene max. Meßabweichung (Fehlergrenze)	Varianz ( $\sigma_i/\text{dB}$ ) <sup>2</sup>
Max. Pegelabweichung bei der Referenzfrequenz	0,2 dB	0,0133
Frequenzgang	0,5 dB	0,0833
Abweichung der Eichleitung	0,2 dB	0,0133
ZF-Verstärkungsabweichung	0,2 dB	0,0133
Nichtlinearität	0,2 dB	0,0133
Pegelabweichung bei Bandbreitenumschaltung	0,1 dB	0,0033
<b>Fehlanpassung</b>		
VSWR am Eingang des Spektrum- analysators	1,5	
VSWR am Ausgang der Signalquelle	1,2	0,0127



Vogel Fachbuch

Meßtechnik

Werner Schnorrenberg

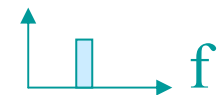
# Spektrumanalyse



 VOGEL

## Literatur

Thumm, M.; Wiesbeck, W.;  
Kern, St.:  
Hochfrequenzmeßtechnik.  
Stuttgart: Teubner, 1997



# Literatur

Firmenschriften: Agilent  
Rohde & Schwarz

Application Notes: Agilent  
Rohde & Schwarz

RAUSCHER, Chr.: Grundlagen der  
Spektralanalyse  
R&S München 2004

