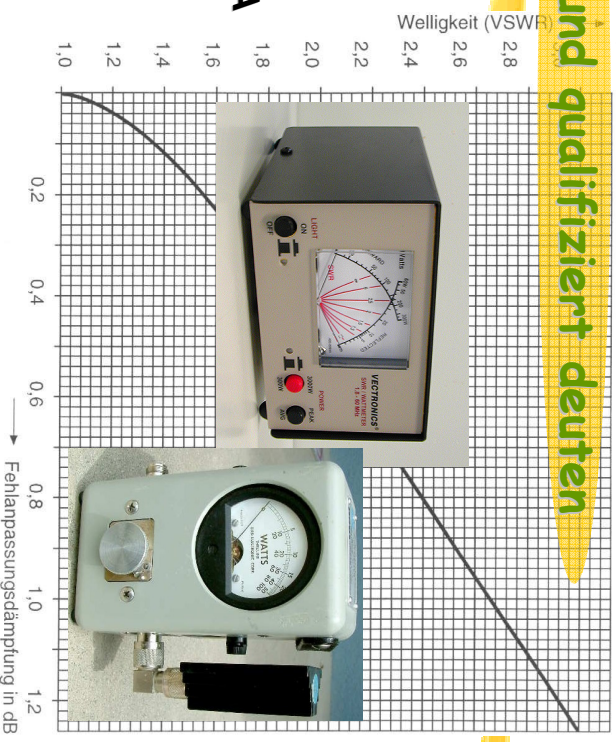


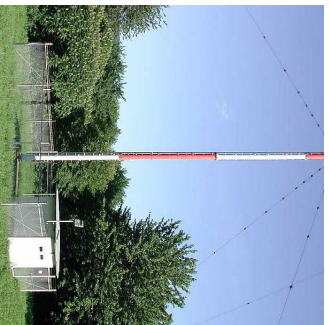
# (Fehl-)Anpassung, Stehwellen- verhältnis, Wellenwiderstand und Speise(punkt)impedanz -

verstehen und qualifiziert deuten



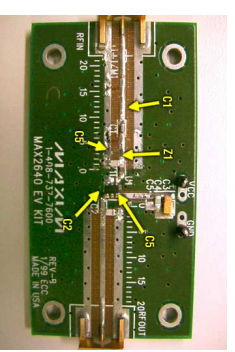
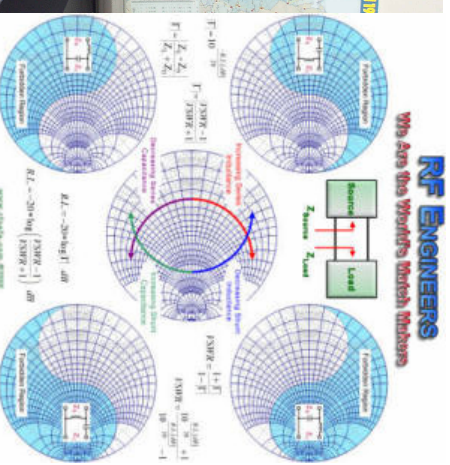
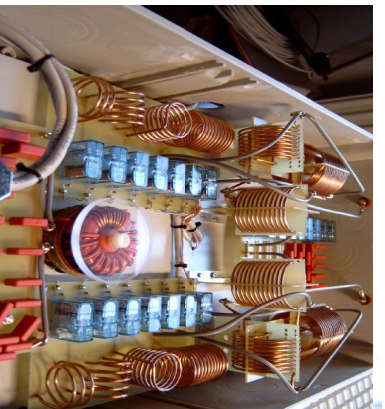
Ralf Rudersdorfer, OE3RAA  
Leitenweg 15  
A-4482 Ennsdorf  
e-mail: [oe3raa@oevsv.at](mailto:oe3raa@oevsv.at)

## Einleitung



ANTENNENTUNER

- Anpassbereich: 16,7 - 150,3 unsymmetrisch<sup>1)</sup> (KW-Bänder) 20 - 125 Ω unsymmetrisch<sup>2)</sup> (50-MHz-Band)
- <sup>1)</sup>VSWR < 3:1 ; <sup>2)</sup>VSWR < 2,5:1
- Minimal erforderliche Sendeleistung : 8 W
- Anpassresultat : VSWR < 1,5:1 oder besser
- Einfügedämpfung : < 1,0 dB (nach Anpassung)



(Fehl-)Anpassung, Stehwellenverhältnis, Wellenwiderstand und Speise(punkt)impedanz

Ralf Rudersdorfer, OE3RAA

# Übersicht

- *Reflexionen und deren Entstehung*
  - die Ausgangssituation
  - Leistungsanpassung & Fehlanpassung, was ist das?
  - Bedeutung von Anpassung für Signalübertragung auf Leitungen
  - Vier mögliche Situationen für eine fortschreitende Welle
- *Unterschiedliche Angaben mit ähnlicher Bedeutung*
  - SWR
  - Rückflussdämpfung(sma $\beta$ )
  - Reflexionsfaktor
  - Umrechnung möglich
- *Messproblematiken*
  - SWR-Messung an Antennen
  - Verluste durch Fehlanpassung
  - HF-Leistungsmessung bei Fehlanpassung
- *Offene Diskussion*

(Fehl-)Anpassung, Stehwellenverhältnis, Wellenwiderstand und Speise(punkt)impedanz

Ralf Rudersdorfer, OE3RAA

# Reflexionen und deren Entstehung

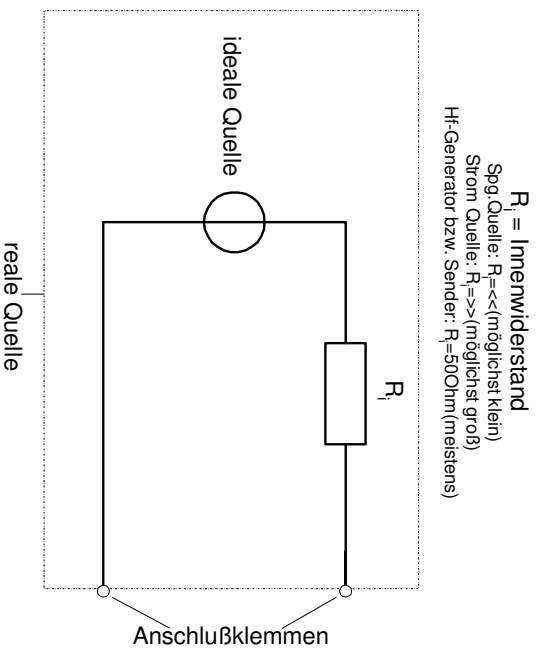
- Die Ausgangssituation
- Leistungsanpassung & Fehlanpassung, was ist das?
- Bedeutung von Anpassung für Signalübertragung auf Leitungen
- Vier mögliche Situationen für eine fortschreitende Welle

(Fehl-)Anpassung, Stehwellenverhältnis, Wellenwiderstand und Speise(punkt)impedanz

Ralf Rudersdorfer, OE3RAA

# Die Ausgangssituation

- In Serie zu einer idealen Signalquelle liegt deren Innenwiderstand, bei Belastung tritt daran ein Spannungsabfall auf



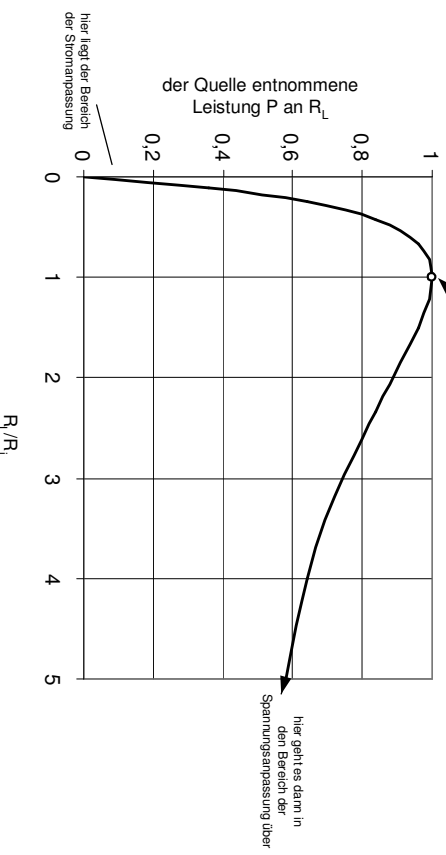
$R_i$  = Innenwiderstand  
SpG. Quelle:  $R_i \ll \ll$  (möglichst klein)  
Strom Quelle:  $R_i \Rightarrow$  (möglichst groß)  
Hf-Generator bzw. Sender:  $R_i = 50 \Omega$  (meistens)

(Fehl-)Anpassung, Stehwellenverhältnis, Wellenwiderstand und Speisepunkt)impedanz

Ralf Ruidersdorfer, OE3RAA

# Leistungsanpassung & Fehlanpassung, was ist das?

- Abhängig vom Verhältnis Innenwiderstand ( $R_i$ ) zu Lastwiderstand ( $R_L$ ) schwankt die der Signalquelle entnommene Leistung
- Die maximale „Ausbeute“ wird bei  $R_i = R_L$  erreicht → Leistungsanpassung ( $P_{max}$ )

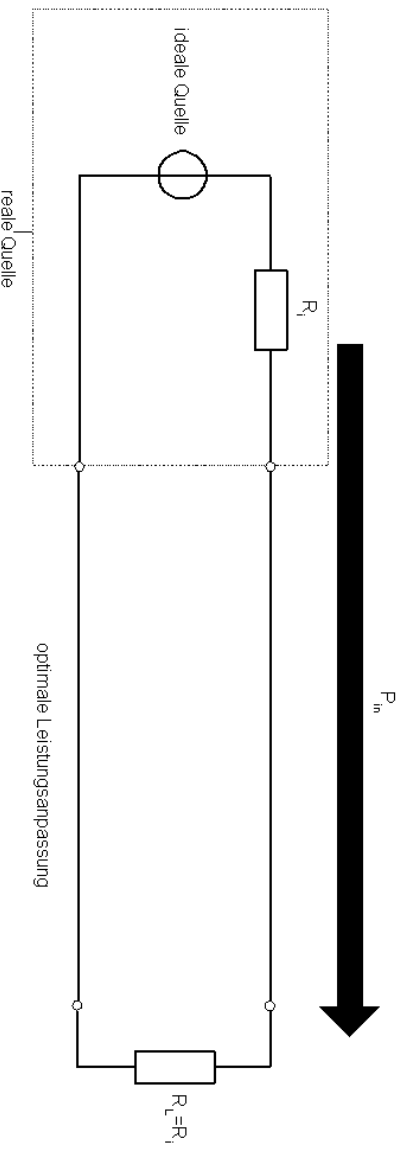


(Fehl-)Anpassung, Stehwellenverhältnis, Wellenwiderstand und Speisepunkt)impedanz

Ralf Ruidersdorfer, OE3RAA

# Leistungsanpassung & Fehlanpassung, was ist das?

- Für HF-technische Belange ist zusätzlich der Wellenwiderstand der Übertragungsleitung zu berücksichtigen, wodurch sich dann für Leistungsanpassung eine Forderung nach  $R_i = Z_w = R_L$  ergibt



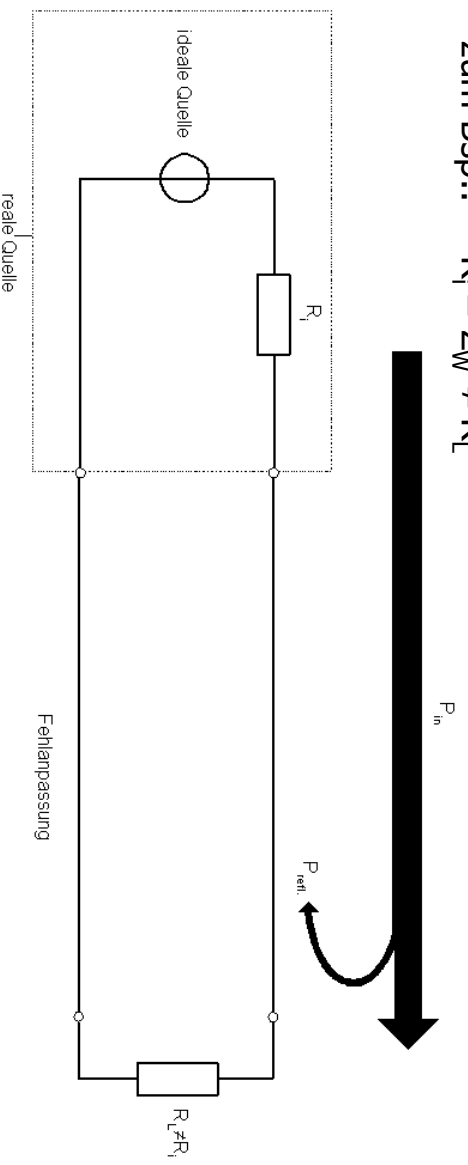
(Fehl-)Anpassung, Stehwellenverhältnis, Wellenwiderstand und Speise(punkt)impedanz

Ralf Ruedersdorfer, OE3RAA

# Leistungsanpassung & Fehlanpassung, was ist das?

- Kann der Fall  $R_i = Z_w = R_L$  nicht gewährleistet werden, so wird an der (den) Stosstelle(n) Leistung reflektiert

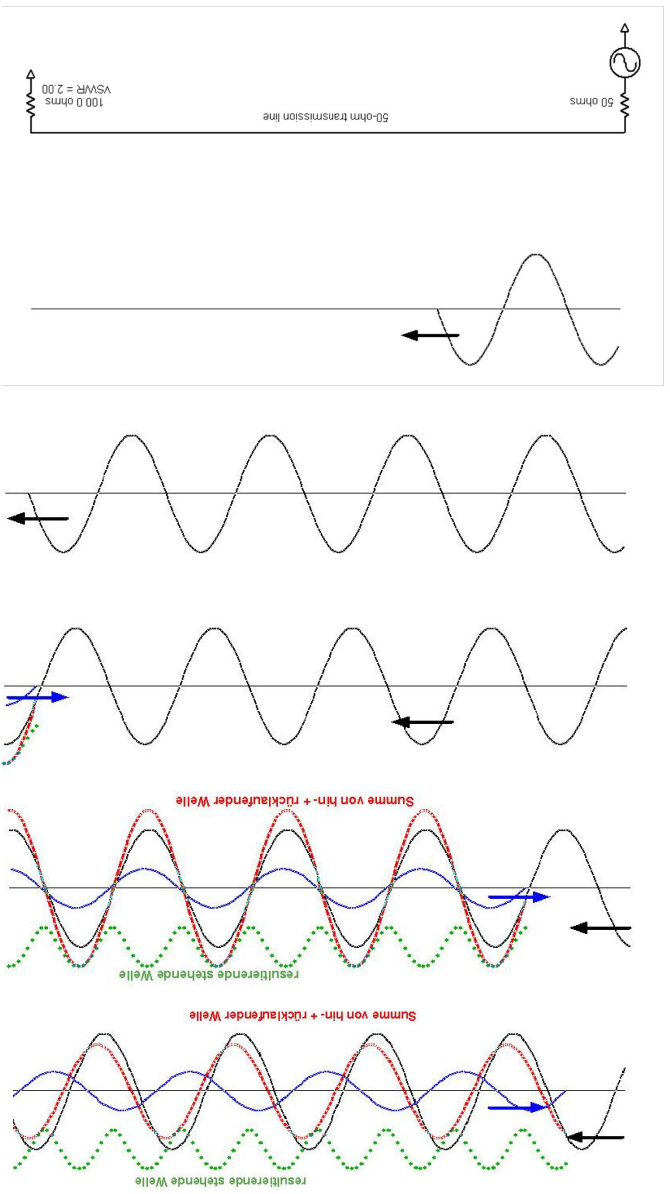
zum Bsp.:  $R_i = Z_w \neq R_L$



(Fehl-)Anpassung, Stehwellenverhältnis, Wellenwiderstand und Speise(punkt)impedanz

Ralf Ruedersdorfer, OE3RAA

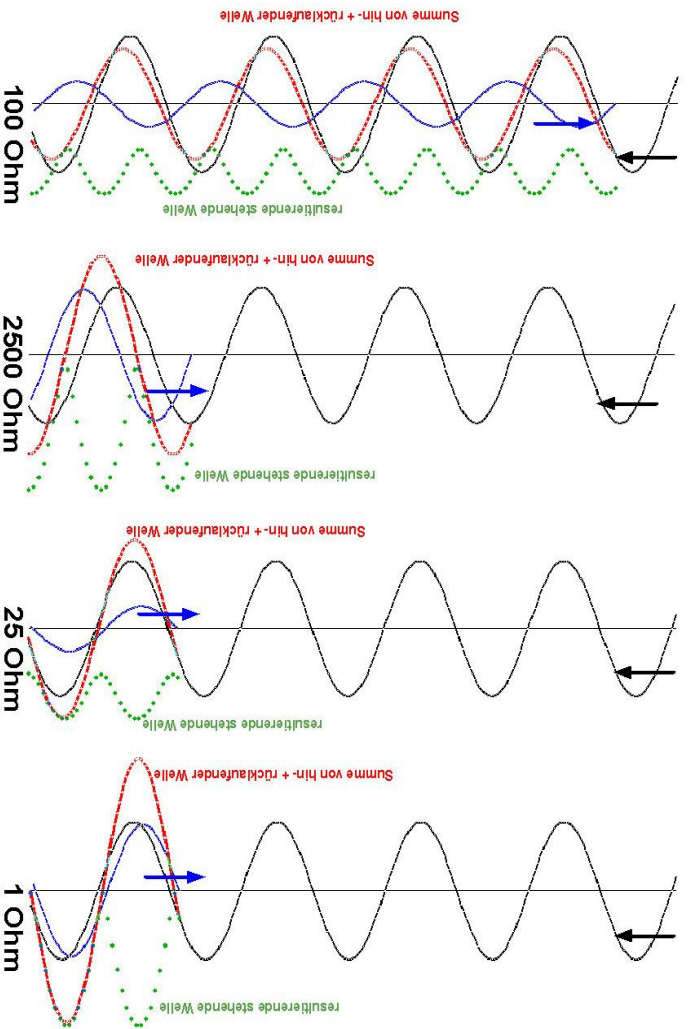
# Bedeutung von Anpassung für Signalübertragung auf Leitungen



(Fehl-)Anpassung, Stehwellenverhältnis, Wellenwiderstand und Speise(punkt)impedanz

Ralf Rudersdorfer, OE3RAA

# Bedeutung von Anpassung für Signalübertragung auf Leitungen



(Fehl-)Anpassung, Stehwellenverhältnis, Wellenwiderstand und Speise(punkt)impedanz

Ralf Rudersdorfer, OE3RAA

## Vier mögliche Situationen für eine fortschreitende Welle

- Es ergeben sich vier mögliche Zustände für einen leitungsgebundenen Übertragungsweg
  - $R_i = Z_w = R_L$  (Anpassung)
  - $R_i = Z_w \neq R_L$  (Lastfehlanpassung)
  - $R_i \neq Z_w = R_L$  (Quellenfehlanpassung)
  - $R_i \neq Z_w \neq R_L$  (Last- und Quellenfehlanpassung)

(Fehl-)Anpassung, Stehwellenverhältnis, Wellenwiderstand und Speise(punkt)impedanz

Ralf Rundersdorfer, OE3RAA

## Unterschiedliche Angaben mit ähnlicher Bedeutung

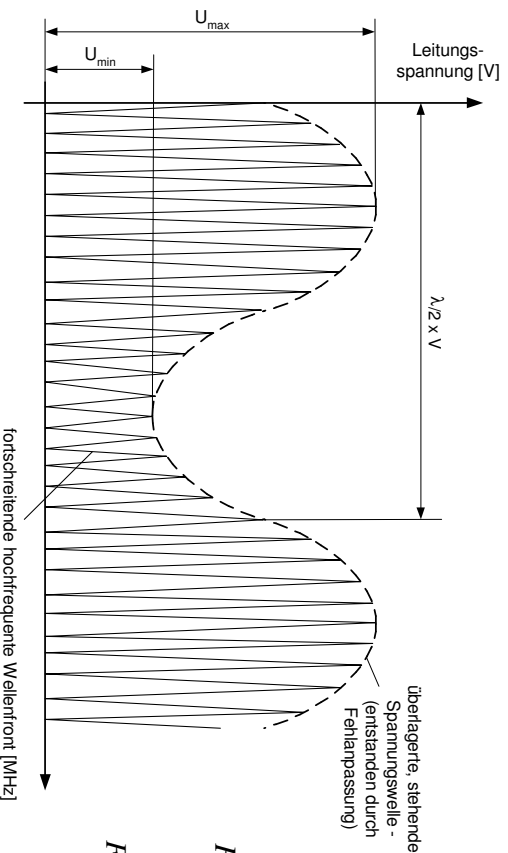
- Zur Darstellung der Qualität der Anpassung (am Messort), finden verschiedene Begriffe Verwendung
  - SWR, VSWR, s, Stehwellenverhältnis, ...
  - Rückflussdämpfung(smaß)
  - Reflexionsfaktor
  - Umrechnung möglich

(Fehl-)Anpassung, Stehwellenverhältnis, Wellenwiderstand und Speise(punkt)impedanz

Ralf Rundersdorfer, OE3RAA

# SWR, VSWR, S, Stehwellenverhältnis, ...

- Setzt man die maximale mit der minimalen Spannung, auf einer Leitung, ins Verhältnis so ergibt sich das Stehwellenverhältnis



$$SWR = \frac{U_{\max}}{U_{\min}}$$

$$Fall1: SWR = \frac{50\Omega}{25\Omega} = 2,0$$

$$Fall2: SWR = \frac{100\Omega}{50\Omega} = 2,0$$

(Fehl-)Anpassung, Stehwellenverhältnis, Wellenwiderstand und Speise(punkt)impedanz

Ralf Rudersdorfer, OE3RAA

# SWR, VSWR, S, Stehwellenverhältnis, ...

- Wie gezeigt, ist das SWR zweideutig: daher lassen sich stets mehrere Widerstandswerte finden, welche auf ein und das selbe Stehwellenverhältnis führen (skalare Analyse)
- Soll eine echte Impedanzbestimmung durchgeführt werden, so ist dies nur mit einer Impedanzmessbrücke oder einem vektoriiellen Netzwerkanalysator möglich
- Es reicht, von SWR 2 zu sprechen (und nicht von SWR 2:1)
- Für SWR finden sich auch die Begriffe VSWR, s, Welligkeit und Welligkeitsfaktor

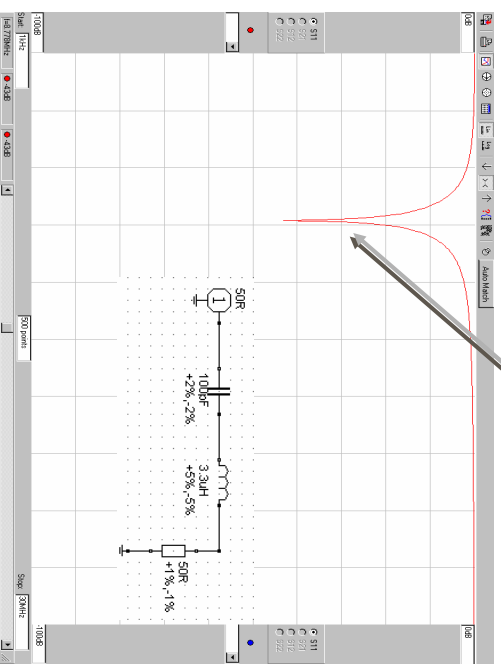
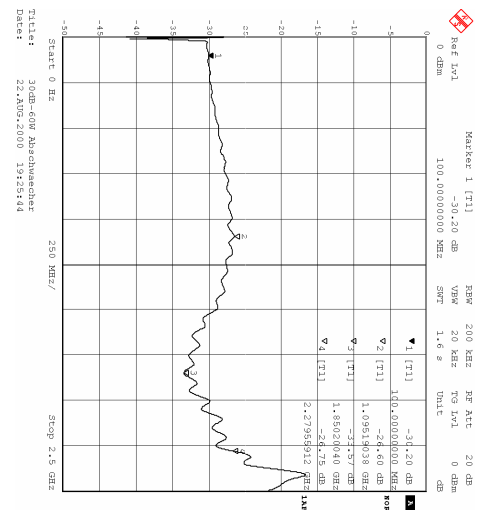
(Fehl-)Anpassung, Stehwellenverhältnis, Wellenwiderstand und Speise(punkt)impedanz

Ralf Rudersdorfer, OE3RAA

# Rückflussdämpfung(smaß)

- Gibt an, um wie viel *dB* die reflektierte Leistung, (also der Rückfluss) am Messort, gegenüber der eingespeisten Leistung kleiner ist

## Resonanz



(Fehl-)Anpassung, Stehwellenverhältnis, Wellenwiderstand und Speise(punkt)impedanz

Ralf Rudersdorfer, OE3RAA

# Rückflussdämpfung(smaß)

- Für das Rückflussdämpfungsmaß findet sich auch der Begriff Reflexionsdämpfung(smaß)
- Auch das Rückflussdämpfungsmaß lässt keine Aussage über die, die Fehlanpassung bewirkende „Impedanzsituation“, zu (wiederum skalare Analyse)
- Es handelt sich um eine Größe, welche sich zur Charakterisierung von besonders guter Anpassung bzw. geringen Reflexionen eignet. (Oft zeigen selbst hochwertige Koaxialsteckverbinder kein besseres Rückflussdämpfungsmaß als 20 dB, bei höheren Frequenzen!)

(Fehl-)Anpassung, Stehwellenverhältnis, Wellenwiderstand und Speise(punkt)impedanz

Ralf Rudersdorfer, OE3RAA



# Reflexionsfaktor

- Informiert wiederum darüber, wie hoch Spannung bzw. Strom der reflektierten Welle gegenüber der ankommenden ist *und zusätzlich*, ob bei der Reflexion (Spannungs- oder Strominversion) *Phasenumkehr* erfolgt (vektorielle Analyse)
- Er kann zwischen  $-1 \dots +1$  liegen, wobei 0 Anpassung, also keine Reflexion, und  $\pm 1$  Totalreflexion bedeuten
- Häufig entfällt bei Angaben das Vorzeichen, da der Reflexionsfaktor durch Berechnung aus skalaren Messungen bzw. Darstellungen bestimmt wird → solche Angaben sind wiederum mehrdeutig und es entfällt der Zugewinn an Information

(Fehl-)Anpassung, Stehwellenverhältnis, Wellenwiderstand und Speise(punkt)impedanz

Ralf Ruidersdorfer, OE3RAA

# Reflexionsfaktor

- Eine solche, lediglich betragsmäßige Ermittlung des Reflexionsfaktors ist z. Bsp. über  
möglich

$$|r| = \frac{SWR - 1}{SWR + 1}$$

- Die messtechnische Bestimmung von  $r$  (mit Vorzeichen, Phaseninformation) erfolgt entweder mit einem vektorialen Netzwerkanalysator oder durch Ermittlung der komplexen Impedanz mit einer Impedanzmessbrücke und anschließender Berechnung nach

$$r = \frac{Z_a - Z_0}{Z_a + Z_0}$$



$r$  ... Refelexionsfaktor  
SWR ... Stehwellenverhältnis

$Z_a$  ... Eingangsimpedanz des Prüflings  
 $Z_0$  ... Wellenwiderstand (Systemimpedanz)

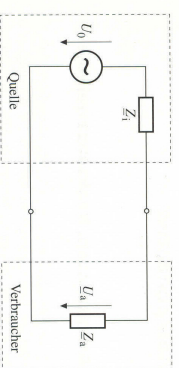
(Fehl-)Anpassung, Stehwellenverhältnis, Wellenwiderstand und Speise(punkt)impedanz

Ralf Ruidersdorfer, OE3RAA

# Umrechnung möglich

- Im Grunde geben sämtliche Darstellungsarten (bis auf die zusätzliche Vorzeicheninformation) ähnlich Auskunft über den Grad einer Fehlanpassung – sie lassen sich ineinander umrechnen

	$f(Z_a, Z_i)$	$f(U_R, U_V)$	$f(r)$	$f(a_r)$
Reflexionsfaktor $r$	$\frac{Z_a - Z_i}{Z_a + Z_i}$	$\frac{U_R}{U_V}$	$r$	$10 \frac{a_r}{20}$
Reflexionsdämpfung $a_r$ [dB]	$20 \cdot \lg \frac{Z_a + Z_i}{Z_a - Z_i}$	$20 \cdot \lg \frac{U_V}{U_R}$	$-20 \cdot \lg r$	$a_r$
Welligkeitsfaktor $s$	$\frac{Z_a}{Z_i}$	$\frac{U_V + U_R}{U_V - U_R}$	$\frac{1+r}{1-r}$	$10 \frac{a_r}{20} + 1$ $\frac{a_r}{20} - 1$

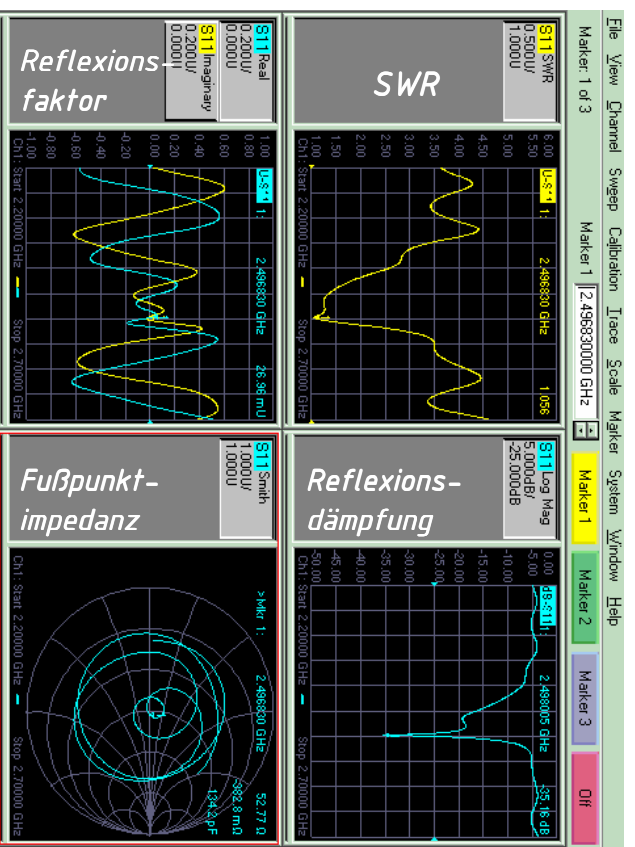


(Fehl-)Anpassung, Stehwellenverhältnis, Wellenwiderstand und Speisepunkt)impedanz

Ralf Rudersdorfer, OE3RAA

# Umrechnung möglich

- Sämtliche dargestellten Diagramme zeigen die Anpassung, am Fußpunkt *einer* Antenne (über einen bestimmten Frequenzbereich) - lediglich die Darstellungsarten unterscheiden sich



(Fehl-)Anpassung, Stehwellenverhältnis, Wellenwiderstand und Speisepunkt)impedanz

Ralf Rudersdorfer, OE3RAA

# Messproblematiken

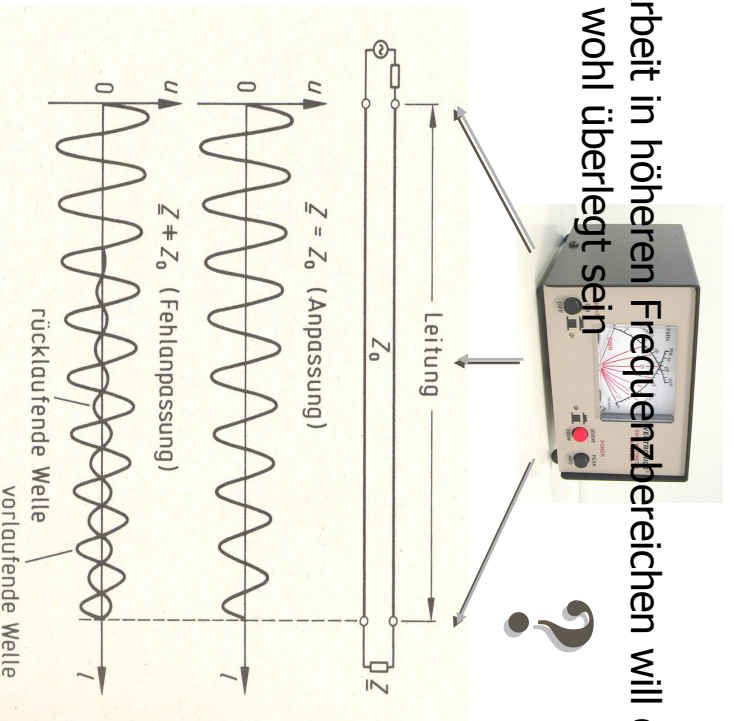
- Behandlung konkreter Problemstellungen
- SWR-Messung an Antennen
- Verluste durch Fehlanpassung
- HF-Leistungsmessung bei Fehlanpassung

(Fehl-)Anpassung, Stehwellenverhältnis, Wellenwiderstand und Speisepunktimpedanz

Ralf Rudsdorf, OE3RAA

# SWR-Messung an Antennen

- Bei der Arbeit in höheren Frequenzbereichen will die Wahl des Messorts wohl überlegt sein

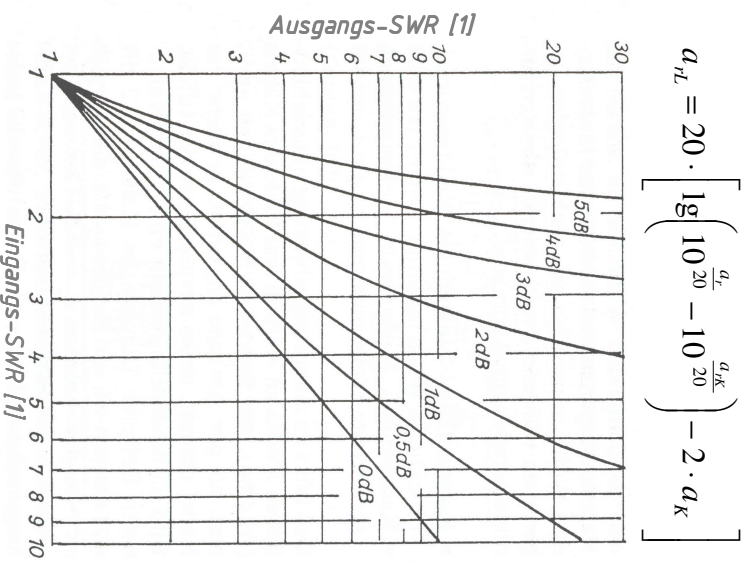


(Fehl-)Anpassung, Stehwellenverhältnis, Wellenwiderstand und Speisepunktimpedanz

Ralf Rudsdorf, OE3RAA

# SWR-Messung an Antennen

- Die gemessene Welligkeit am Einspeisepunkt ist infolge von Dämpfung stets kleiner als die sich an der Last darstellende Welligkeit
- Parameter der Kurvenschar ist das Dämpfungsmaß des zugrunde liegenden 2-Tors (z. Bsp. Kabel)



(Fehl-)Anpassung, Stehwellenverhältnis, Wellenwiderstand und Speisepunktimpedanz

Ralf Rudersdorfer, OE3RAA

$a_r$  ... Rückflussdämpfung am Speiseleitungsanfang       $a_{rL}$  ... Rückflussdämpfung der Last  
 $a_{rK}$  ... Rückflussdämpfung des Kabels mit 50-Ohm-Abschluss       $a_K$  ... Kabeldämpfung

# SWR-Messung an Antennen

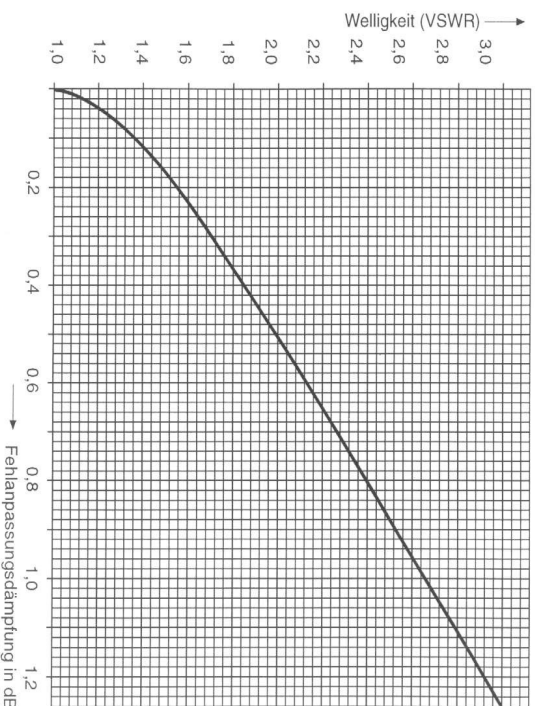
- Faustregel: ein  $> 20 \lambda$  langes Koaxialkabel zeigt unabhängig des Leitungsabschlusses am Ende ein hervorragendes Eingangs-SWR
- Ein gutes Stehwellenverhältnis sagt noch lange **nichts** über die Leistungsfähigkeit einer Antenne aus
- Begründung: Wäre dies so, dann wäre ein 50-Ohm-Abschlusswiderstand (auch Kunstantenne) die beste Antenne

(Fehl-)Anpassung, Stehwellenverhältnis, Wellenwiderstand und Speisepunktimpedanz

Ralf Rudersdorfer, OE3RAA

# Verluste durch Fehlanpassung

- Durch Fehlanpassung reflektierte Leistung steht dem Verbraucher nicht mehr zur Verfügung
- Diese Pegelminderung wird als *Fehlanpassungs-dämpfung* (*smaß*) bezeichnet

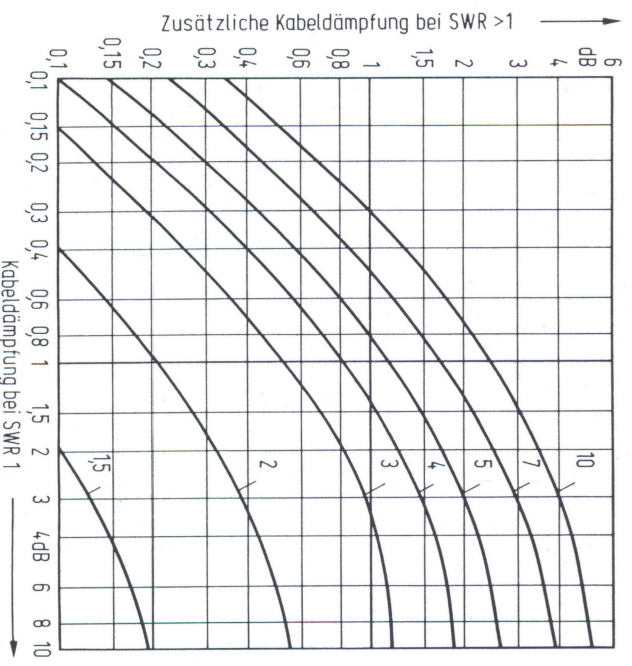


(Fehl-)Anpassung, Stehwellenverhältnis, Wellenwiderstand und Speise(punkt)impedanz

Ralf Rudsdorf, OE3RAA

# Verluste durch Fehlanpassung

- Durch Fehlanpassung tritt weiters eine zusätzliche Dämpfung, zu der laut Herstellerangaben spezifizierten Kabeldämpfung, in Erscheinung
- Diese wird häufig auch mit den so genannten „Zusatzverlusten“ benannt

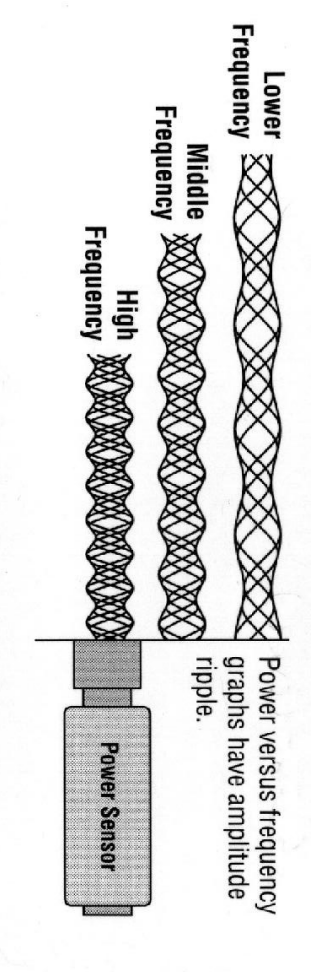


(Fehl-)Anpassung, Stehwellenverhältnis, Wellenwiderstand und Speise(punkt)impedanz

Ralf Rudsdorf, OE3RAA

# HF-Leistungsmessung bei Fehlanpassung

- Soll eine Leistungsermittlung innerhalb schlecht angepasster Übertragungsstrecken durchgeführt werden, so können ungewollte Messfehler auftreten



- Bei Variation der Messfrequenz wandern zusätzlich die auf der Übertragungsleitung auftretenden Maxima und Minima

(Fehl-)Anpassung, Stehwellenverhältnis, Wellenwiderstand und Speise(punkt)impedanz

Ralf Rudersdorfer, OE3RAA

## Besten Dank!



(Fehl-)Anpassung, Stehwellenverhältnis, Wellenwiderstand und Speise(punkt)impedanz

Ralf Rudersdorfer, OE3RAA