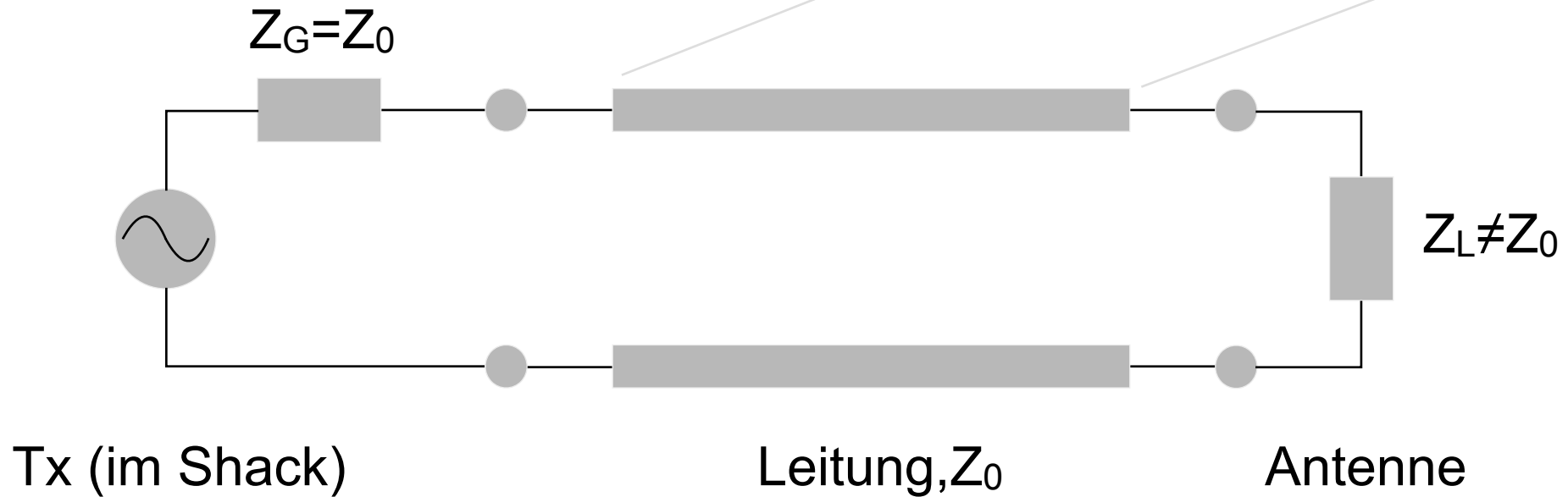
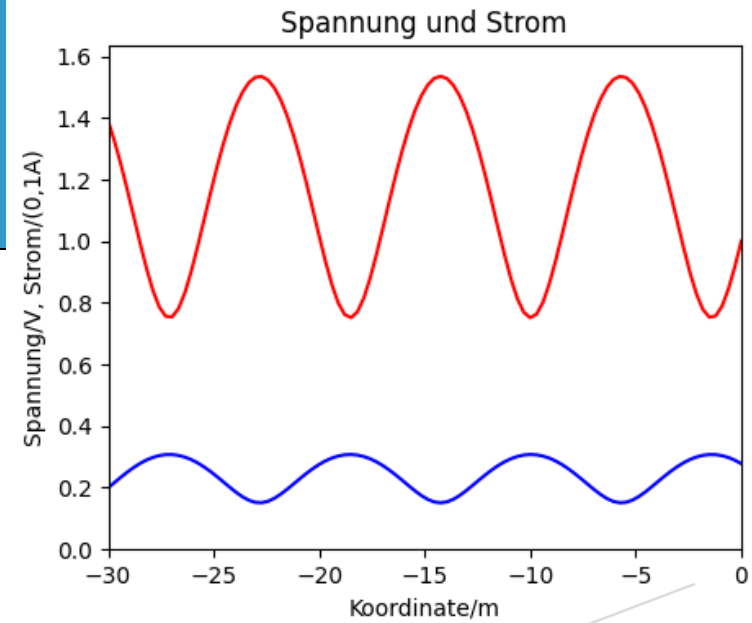


Das Stehwellenverhältnis und Deine Antenne

Hermann Schumacher, DF2DR

Warum Stehwellenverhältnis?

VSWR: **V**oltage **S**tanding **W**ave **R**atio



VSWR: Spannungswelligkeit auf der Leitung



Deutscher Amateur-Radio-Club e.V.
Bundesverband für Amateurfunk in Deutschland

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

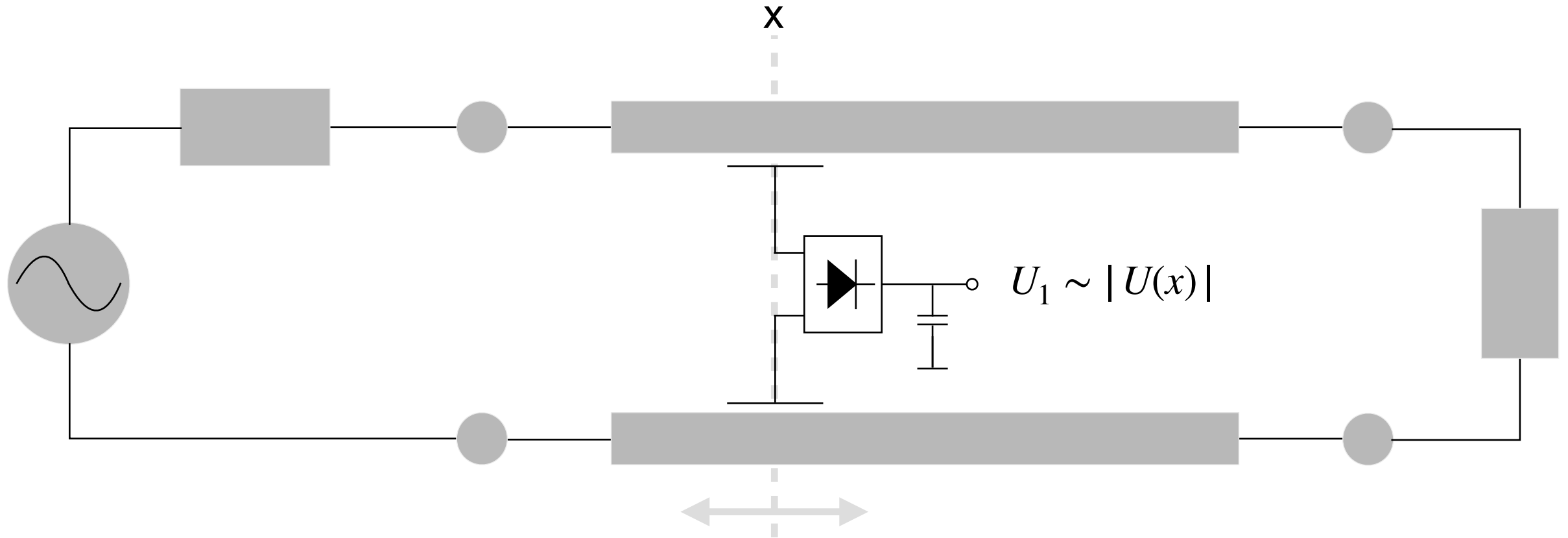
... kann man auch direkt messen!

Generator



Last

Messprinzip Welligkeit



Hinlaufende und rücklaufende Wellen



Deutscher Amateur-Radio-Club e.V.
Bundesverband für Amateurfunk in Deutschland

Oliver Heaviside: Differentialgleichungen für ortsabhängige Spannung und Strom

Lösung für die Spannung:

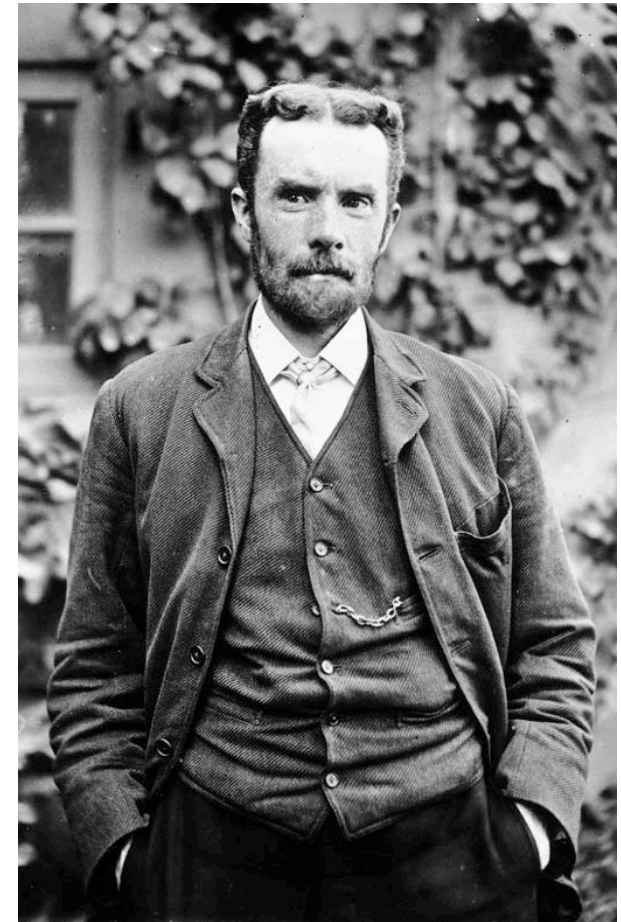
$$U(x, t) = \widehat{U}_h \exp(-\gamma x) \exp(j\omega t) + \widehat{U}_r \exp(\gamma x) \exp(j\omega t)$$

$$\gamma = \alpha + j\beta$$

$$\omega = 2\pi f$$

Vereinfachte Schreibweise:

$$U(x) = U_h \exp(-\gamma x) + U_r \exp(\gamma x)$$

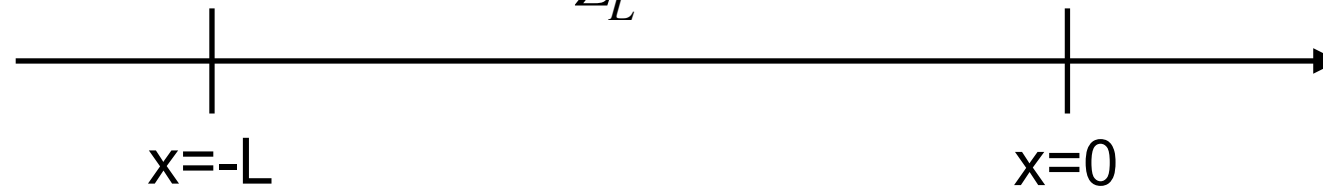


Ortsabhängige Spannung (und Strom)



$$U(x) = U_2 \cosh(\gamma x) - I_2 Z_L \sinh(\gamma x)$$

$$I(x) = I_2 \cosh(\gamma x) - \frac{U_2}{Z_L} \sinh(\gamma x)$$



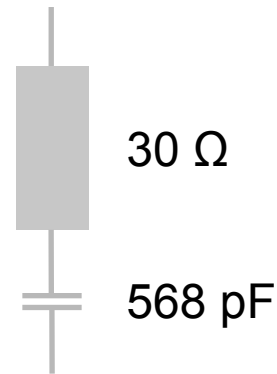
Rechenbeispiel (verlustfrei)

$f=14$ MHz, $L=30$ m, Verkürzungsfaktor $v=0,8$

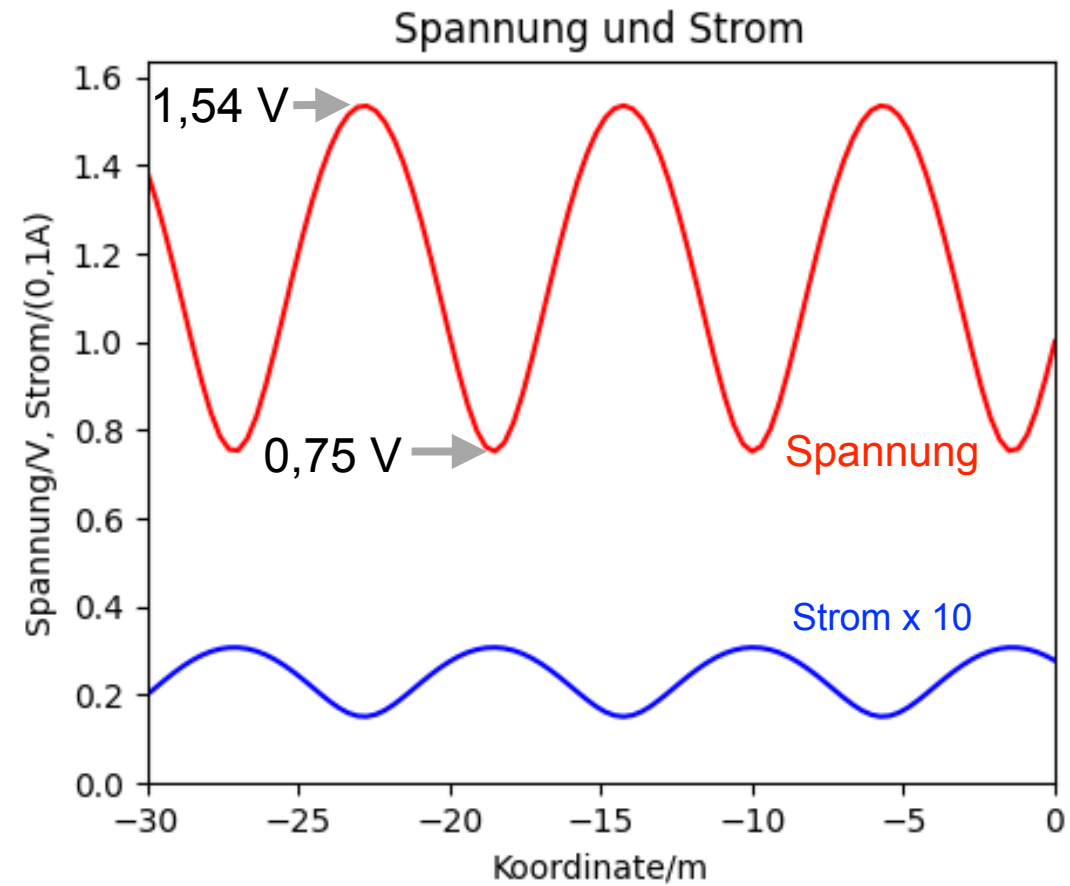
$Z_0=50\Omega$

$$\gamma = j\beta = j\frac{2\pi f}{v c_0}$$

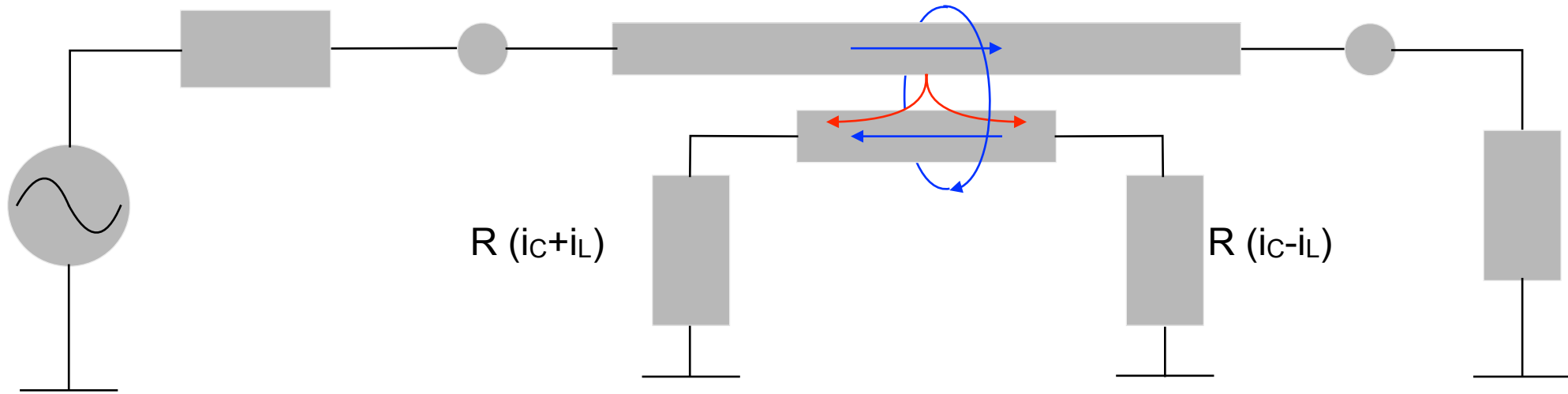
$$Z_L = 30\Omega - j20\Omega$$



$$VSWR = \frac{1,54}{0,75} = 2,05$$



VSWR-Messung mit Richtkoppler



Rückflusdämpfung: $\rho = \frac{P_r}{P_h}$

$$VSWR = \frac{1 + \sqrt{\rho}}{1 - \sqrt{\rho}}$$

Leistungsverlust durch Fehlanpassung



Deutscher Amateur-Radio-Club e.V.
Bundesverband für Amateurfunk in Deutschland

Reflektionsfaktor: $|\Gamma| = \frac{VSWR - 1}{VSWR + 1} = \frac{2,05 - 1}{2,05 + 1} = 0,344$

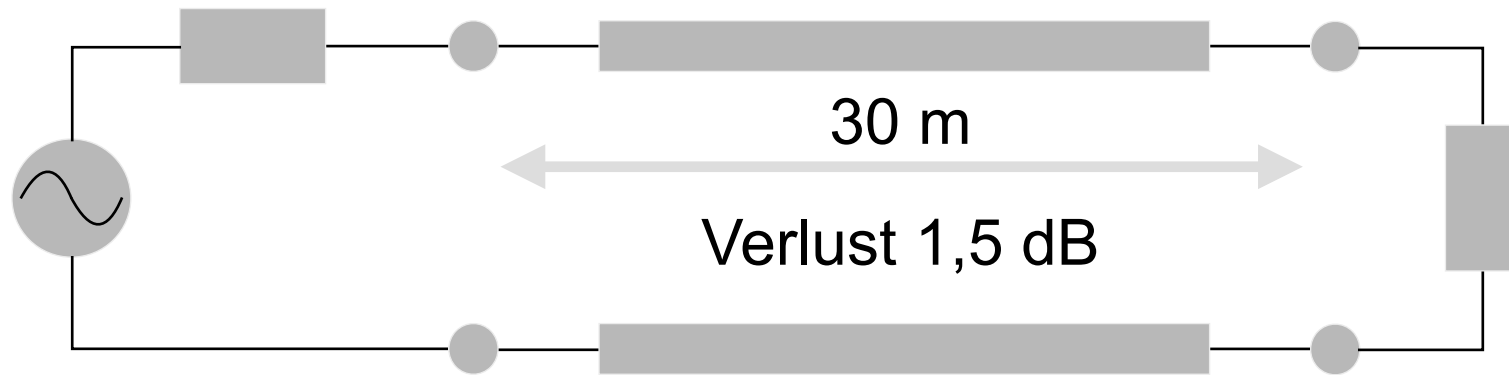
Reflektierte Leistung: $P_r = P_h |\Gamma|^2 = P_h \rho = 0,119 P_h$

Rückflusdämpfung: $10 \cdot \log_{10} \rho = -9,2dB$

Leistungsdämpfung durch Fehlanpassung: $1 - \rho = 0,882 \hat{=} -0,55dB$

Verlustbehaftete Leitung: VSWR im Shack

RG58 oder ähnlich: 5 dB/100 m bei 14 MHz



Rückflussdämpfung am Eingang: $-1,5 + 20 \log_{10} \left(\frac{2,05 - 1}{2,05 + 1} \right) - 1,5 = -12,26 \text{ dB} \hat{=} 0,059$

VSWR am Eingang: $\frac{1 + \sqrt{0,059}}{1 - \sqrt{0,059}} = 1,64$ (statt 2,05 an der Last)

Gutes VSWR = gute Antenne?

Gutes VSWR: Leistungsanpassung - erzeugtes Signal wird optimal an Last abgegeben

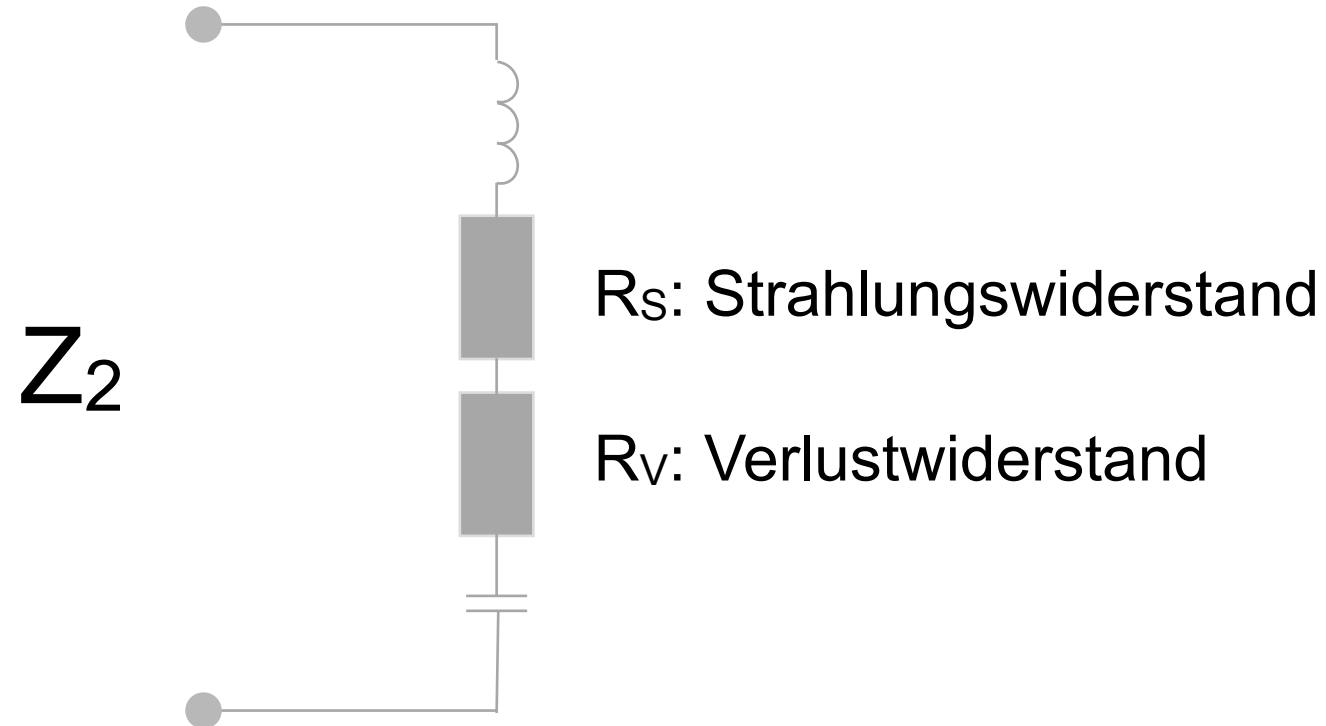
Keine Aussage: wird Leistung abgestrahlt?



Ersatzschaltbild einer Antenne



Deutscher Amateur-Radio-Club e.V.
Bundesverband für Amateurfunk in Deutschland



Elektrisch kurze Antenne



Deutscher Amateur-Radio-Club e.V.
Bundesverband für Amateurfunk in Deutschland

Elektrisch kurzer Monopol:

$$l \ll \frac{\lambda}{4}$$
$$R_S = 40\pi^2 \left(\frac{l}{\lambda} \right)^2 \Omega$$

Beispiel:

$$l=3 \text{ m}$$

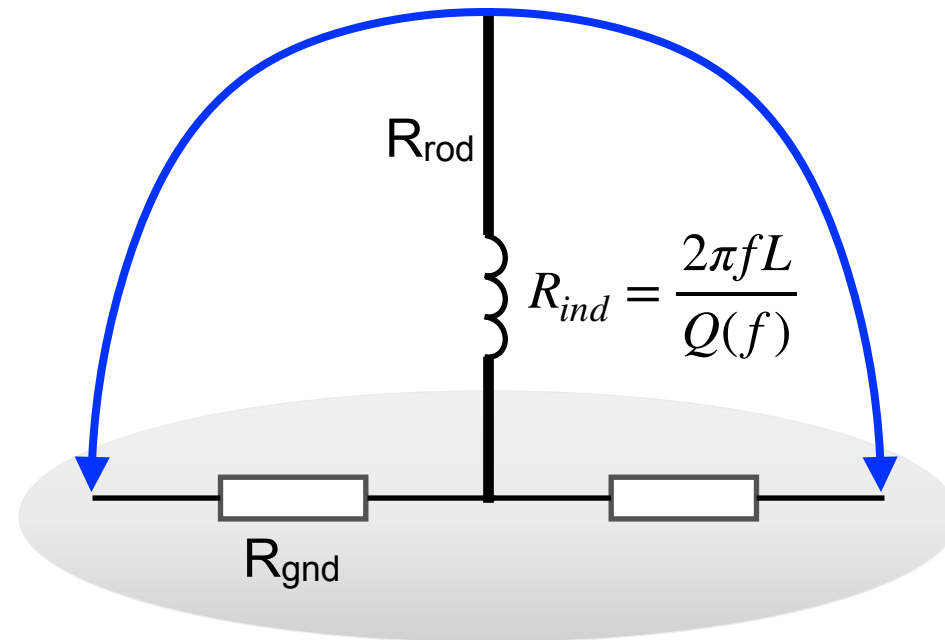
$$f=3,5 \text{ MHz}$$

$$R_S=0,48 \Omega$$

$$|\Gamma| = \left| \frac{0,48 - 50}{0,48 + 50} \right| = 0,981$$

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} = 104$$





VSWR ok, strahlt aber nicht ...

$$|\Gamma_1| = \frac{VSWR_1 - 1}{VSWR_1 + 1} = 0,333$$

$$RL_1 = 20 \log |\Gamma_1| = -9,54 \text{ dB}$$

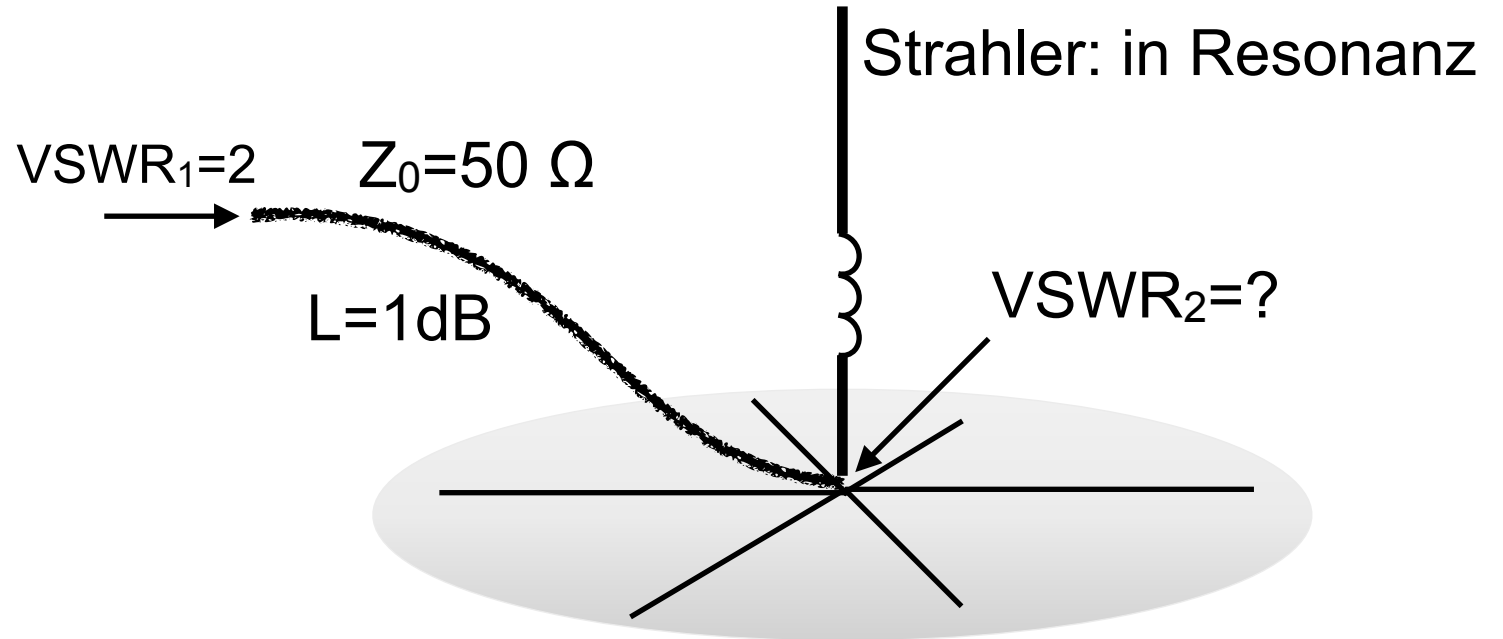
$$RL_2 = RL_1 + 2L = -7,54 \text{ dB}$$

$$|\Gamma_2| = 10^{RL_2/20} = 0,42$$

$$VSWR_2 = \frac{1 + |\Gamma_2|}{1 - |\Gamma_2|} = 2,45$$

$$R_{ant} = Z_0 \frac{1 \pm |\Gamma_2|}{1 \mp |\Gamma_2|} = 122,4 \text{ } \Omega \text{ oder } 20,4 \text{ } \Omega$$

Da Strahlungswiderstand 0,48 Ω : günstigerer Fall $R_{ant}=20,4 \text{ } \Omega$.



$$\eta_{ant} = \frac{0,48}{20,4} = 2,4 \% \hat{=} -16,3 \text{ dB}$$

Impedanz am „shackseitigen“ Ende

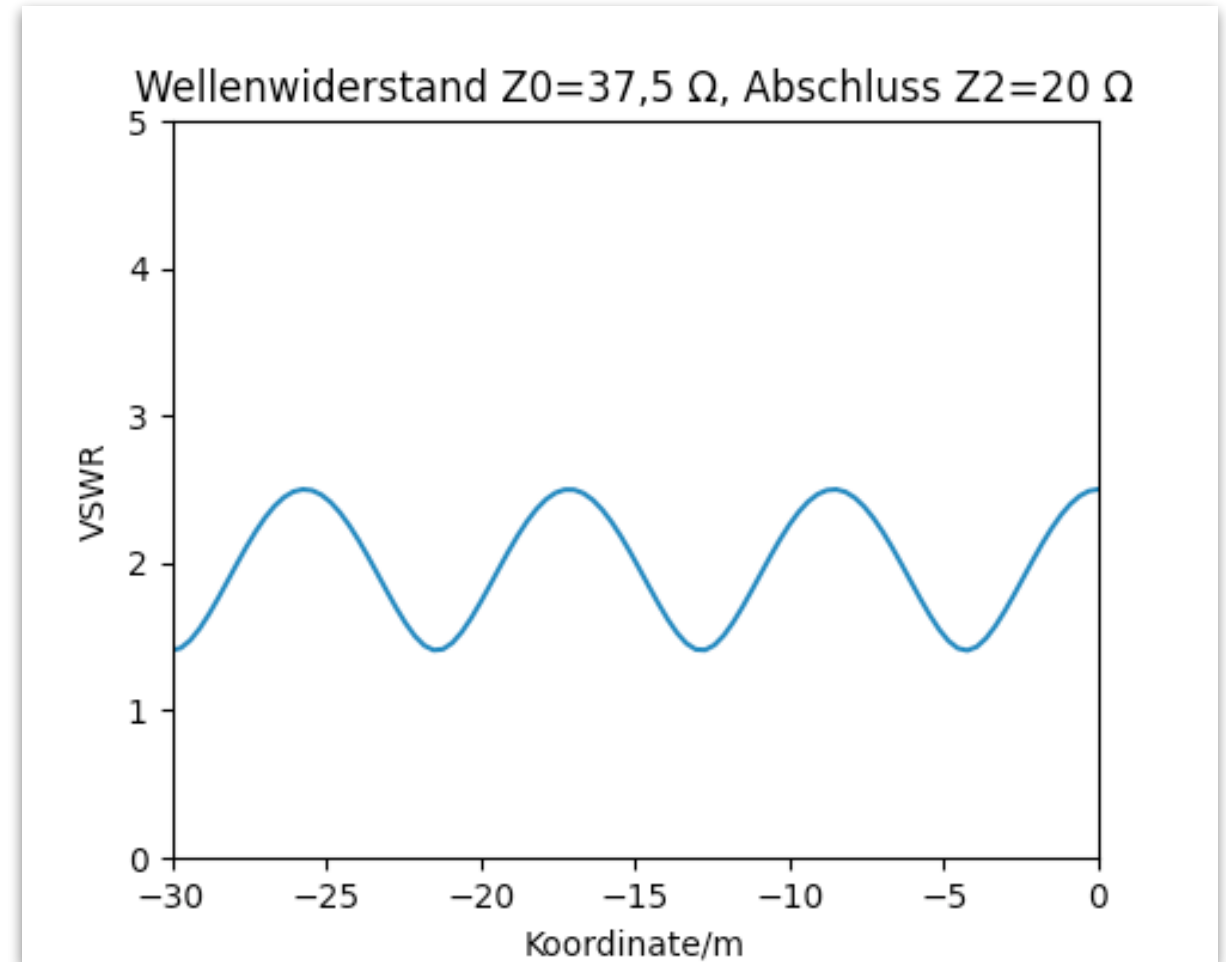


Deutscher Amateur-Radio-Club e.V.
Bundesverband für Amateurfunk in Deutschland

$$Z_1(x) = \frac{U(x)}{I(x)} = Z_0 \frac{Z_2 - Z_0 \tanh(\gamma x)}{Z_0 - Z_2 \tanh(\gamma x)}$$

Wenn Z_0 die Systemimpedanz ist
(Bezug von VSWR): $Z_1 \neq f(x)$ (verlustlos)

Betrachte aber: $Z_0 \neq$ Systemimpedanz
hier: $Z_2 = 20 \Omega$, $Z_0 = 37,5 \Omega$
(Systemimpedanz 50Ω)



- VSWR: Spannungswelligkeit auf der Leitung
- Kabelverluste verbessern das VSWR im Shack.
- VSWR sagt nichts über effiziente Abstrahlung aus.
- Auch bei verlustloser Leitung: VSWR abhängig von der Leitungslänge, wenn $Z_0 \neq$ Bezugsimpedanz des VSWR