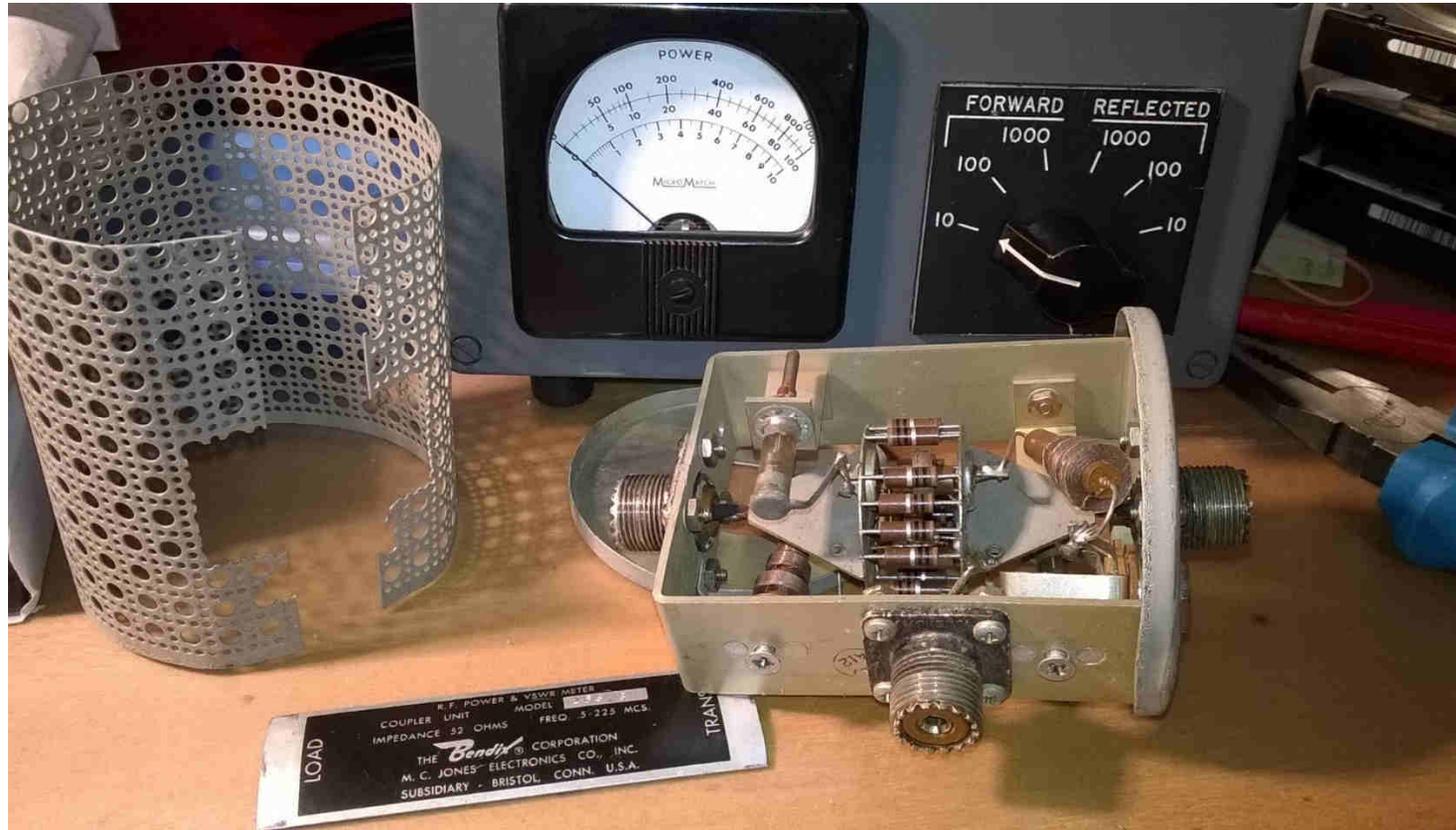
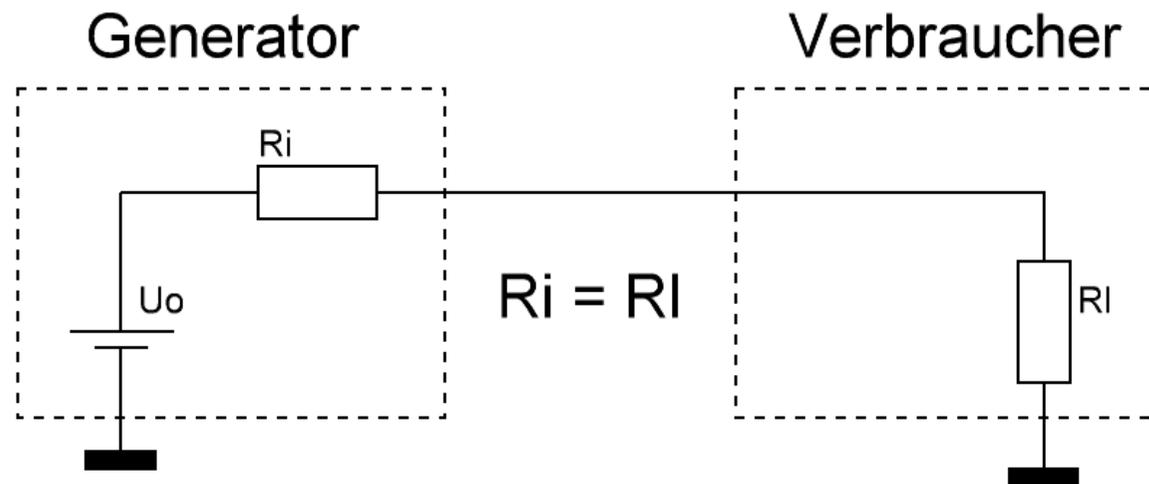


Messungen an Antennen - vom SWR-Meter zum Antennenanalyser



Warum Antennenmessungen?

- **Leistungsanpassung***: Bedingung für maximale Leistung im Verbraucher



* (Nachrichtentechnik)

- Reflektionen:

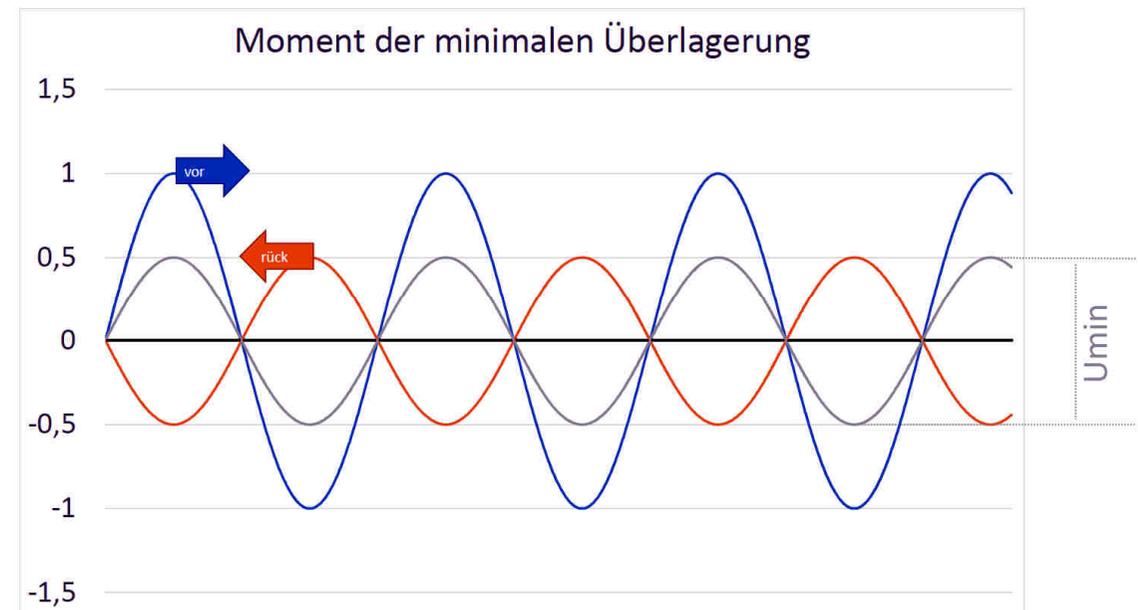
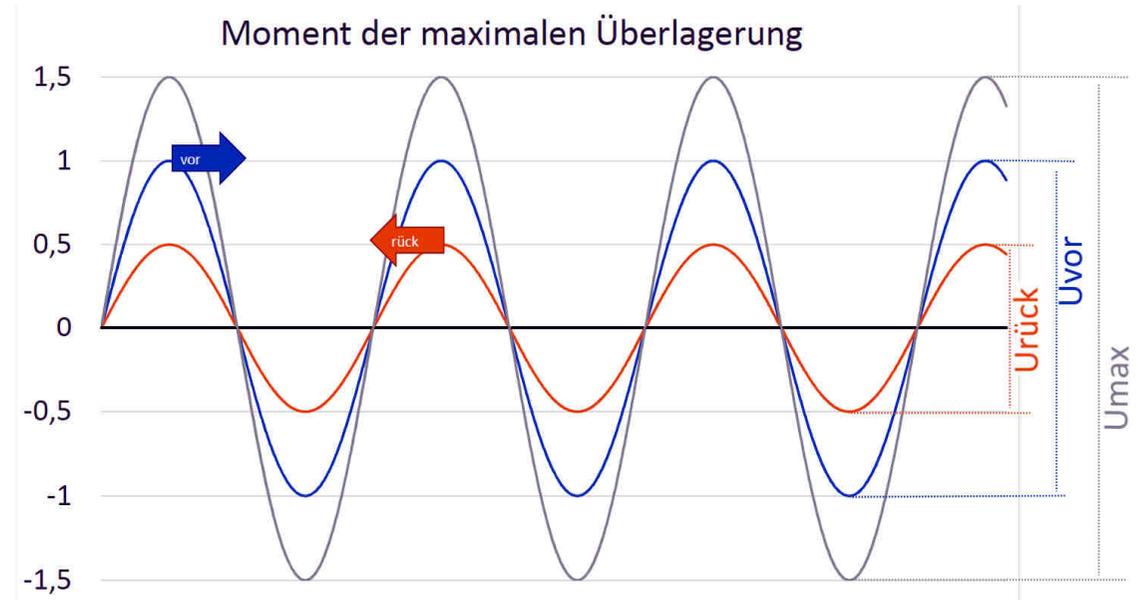
- > Spannungsüberhöhung ("Stehwelle") vermeiden
(Verluste, Überlastungen von Bauteilen)
- > modulationsabhängige Übertragungsfehler verringern
(Pulse, Phasenmodulation, Intermodulation)

(V)SWR: (Spannungs-)Stehwellenverhältnis:

- Die Sendeenergie "läuft" vor,
die reflektierte Energie "läuft" zurück
- aus beiden Spannungen bildet sich
eine "schwebende" Überlagerung

Das (V)SWR ist das Verhältnis
von maximaler Spannung
zu minimaler Spannung
aus der Signalüberlagerung*
(*ähnlich einer Hüllkurve)

$$SWR = \frac{U_{max}}{U_{min}} = \frac{|U_{vor}| + |U_{rück}|}{|U_{vor}| - |U_{rück}|}$$



SWR und Impedanz

Das Verhältnis der Spannungen bei Fehlanpassung entspricht auch dem Verhältnis der Impedanzen



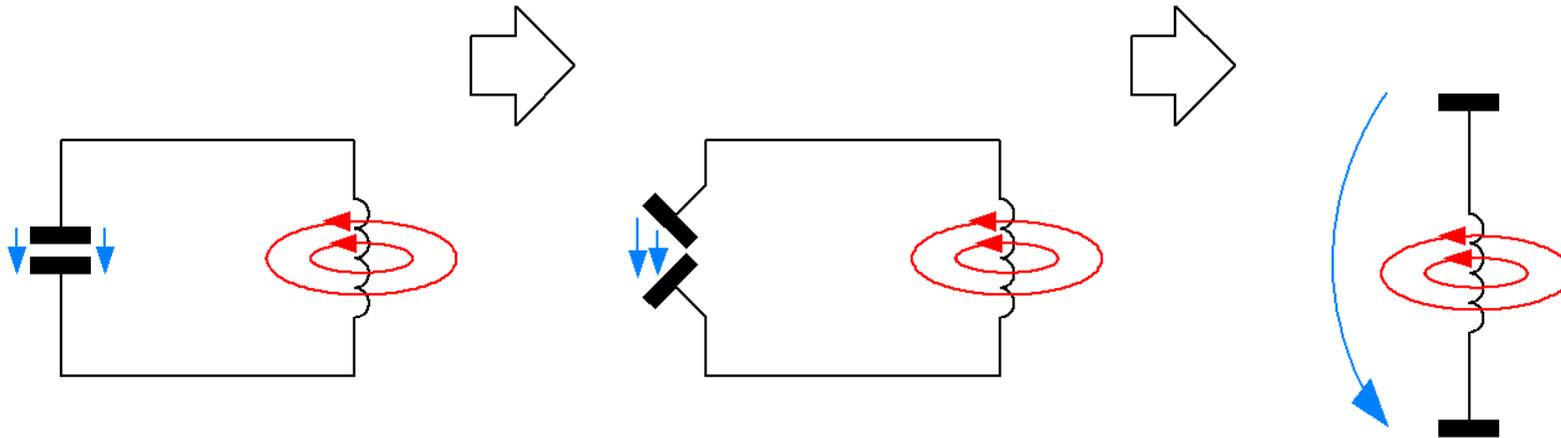
$$SWR = \frac{Z_{Antenne}}{Z} \quad (\text{wenn } Z_{Antenne} > Z)$$

$$\text{z.B. } \frac{Z_{Antenne} 100 \text{ Ohm}}{50 \text{ Ohm}} = SWR 2$$

$$SWR = \frac{Z}{Z_{Antenne}} \quad (\text{wenn } Z_{Antenne} < Z)$$

$$\text{z.B. } \frac{50 \text{ Ohm}}{Z_{Antenne} 12,5 \text{ Ohm}} = SWR 4$$

Die Antenne: ein Schwingkreis aus L und C

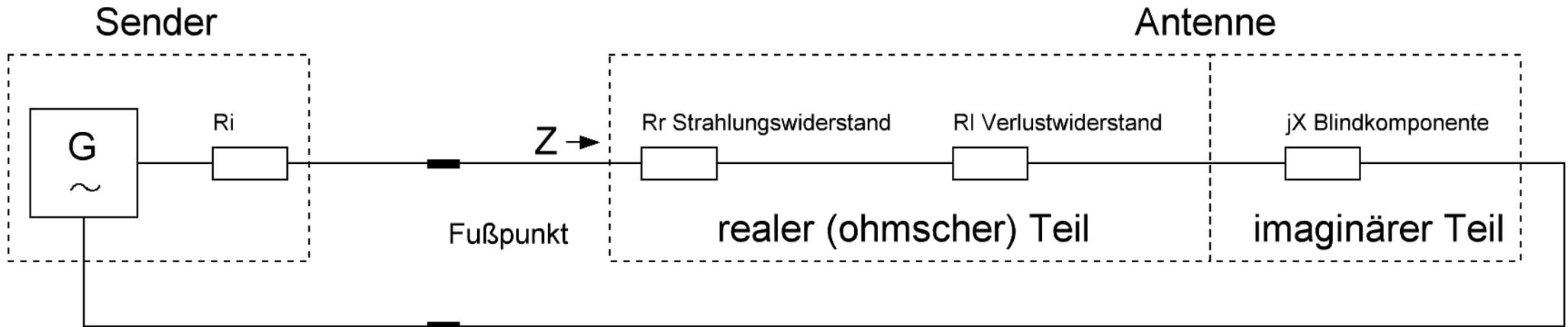


Wellenwiderstand der Antenne ohne Verluste:

$$Z_w = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

(ideal wäre eine Anschlussimpedanz $Z_a = Z_w$)

Ersatzschaltbild der Sendeanlage:



Z = komplexer Fußpunktswiderstand der Antenne
aus R_r , R_l und jX

$$Z = \sqrt{(R_r + R_l)^2 + jX^2}$$

Wie war das noch mit diesem jX ?

-> mit **-** beim imaginären Wert ist der Blindanteil kapazitiv

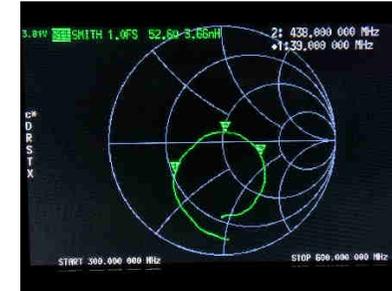
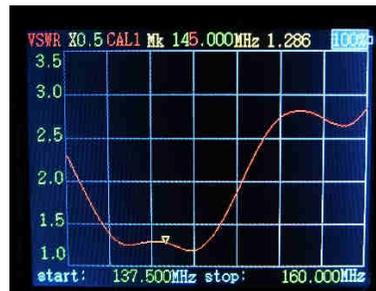
-> mit **+** als Vorzeichen ist der Wert induktiv

Beispiel Lambda/4 vertikal über idealer Erde
und endgespeiste Lambda/2 (J-)Antenne (Simulationen)

Länge in λ	R real	jX imaginär	Z (unkompensiert)
0,24	36	-0,22	36
0,25	40	+23	46
0,27	51	+83	97
0,48	2380	+7,5	2380
0,5	2176	-770	2308
0,55	501	-1029	1145

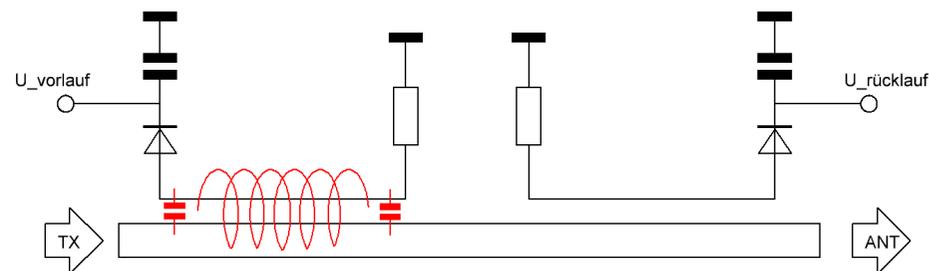
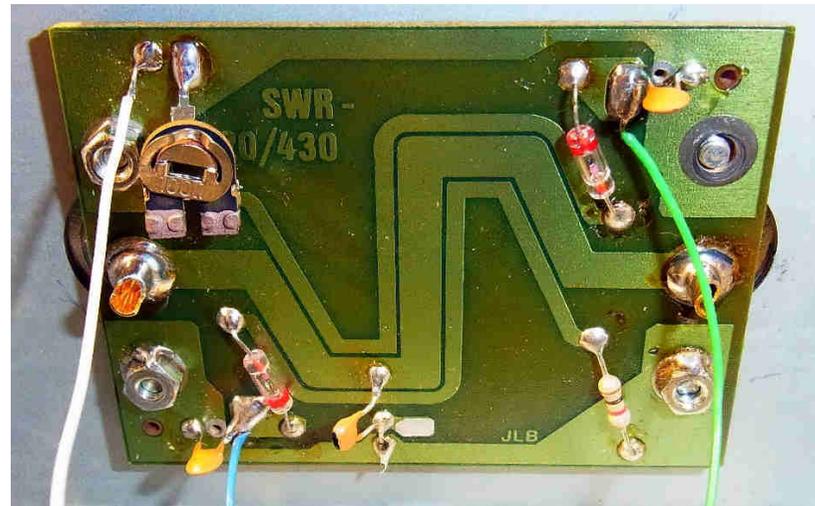
Messwerte und Messgeräte:

- SWR, Z und komplexe Werte +/- jX
- passiv oder aktiv mit eigener Signalquelle?
- analoger Zeiger, Zahlen, skalar, vektoriell...
- Zubehörteile für andere Messgeräte (Spektrumanalyzer etc.)



Richtkoppler mit kapazitiv-induktiver Kopplung

- schmalbandig, sehr frequenzabhängig
- ab ca. >10MHz, teils bis SHF eingesetzt
- elektrische Länge max. $\lambda / 4$



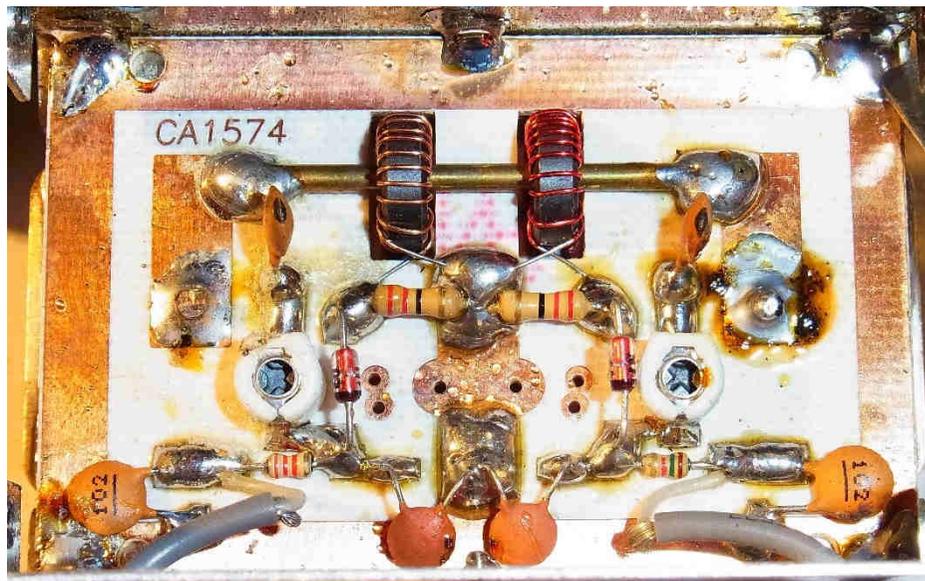
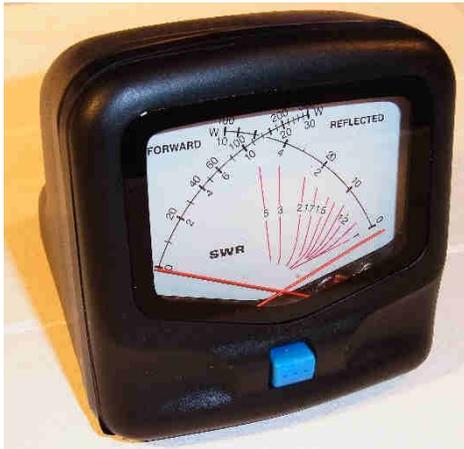
Eigenbau-Koppler aus Koax-Kabel



Richtkoppler mit Stromwandler

breitbandig, z.B. 1,8MHz-200MHz

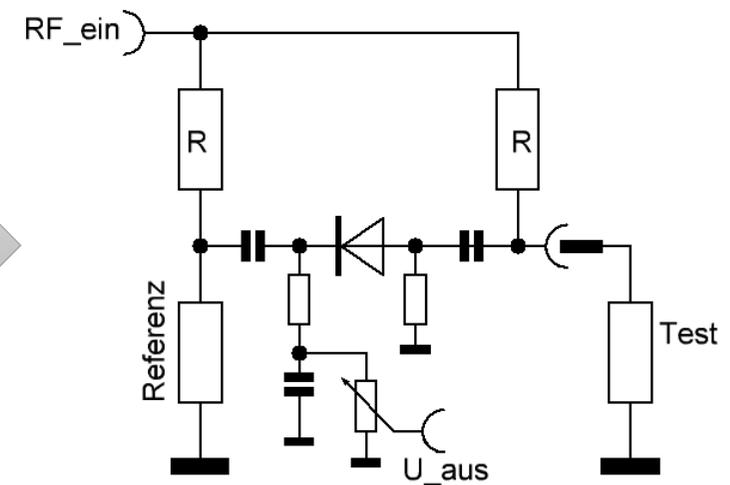
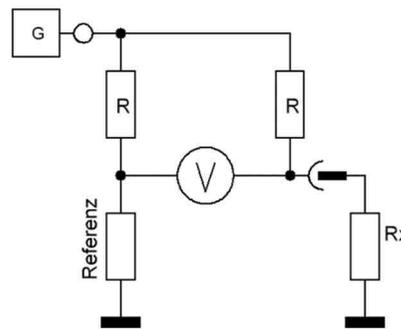
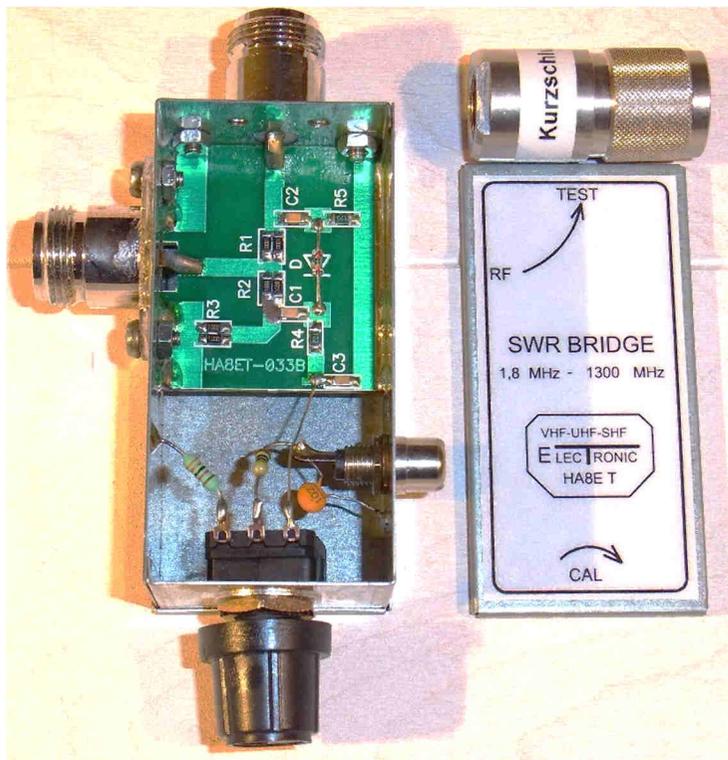
eher für niedrige Frequenzen bis max. VHF



Messbrücke

Widerstandsmessbrücke mit HF-Demodulator

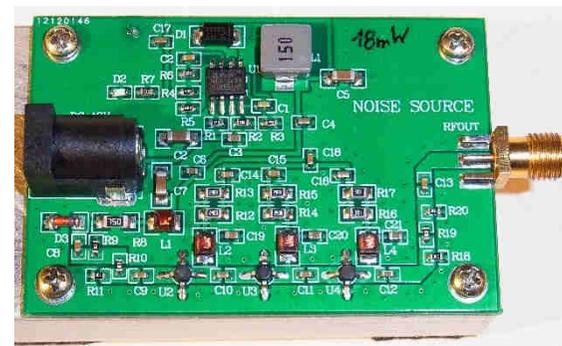
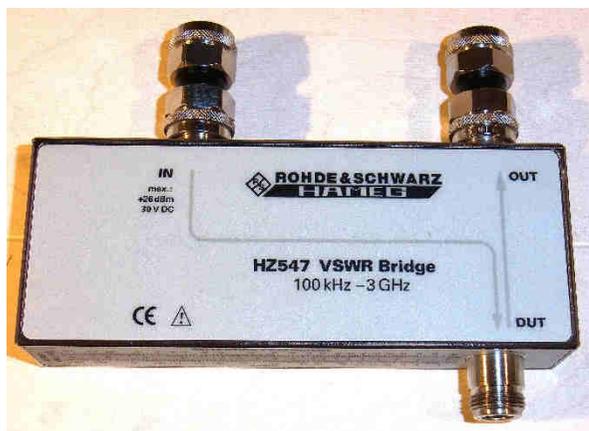
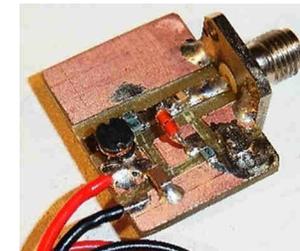
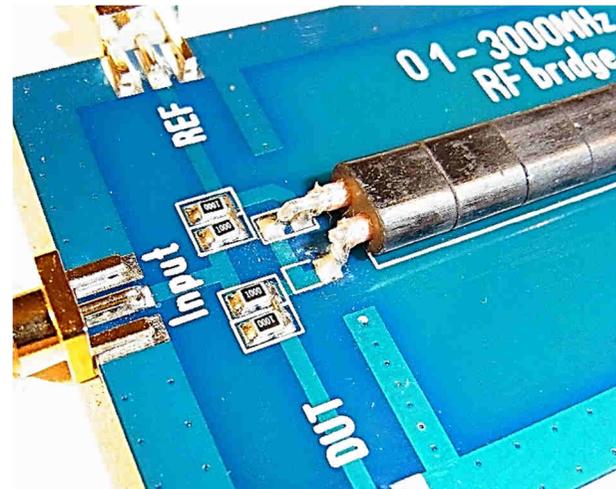
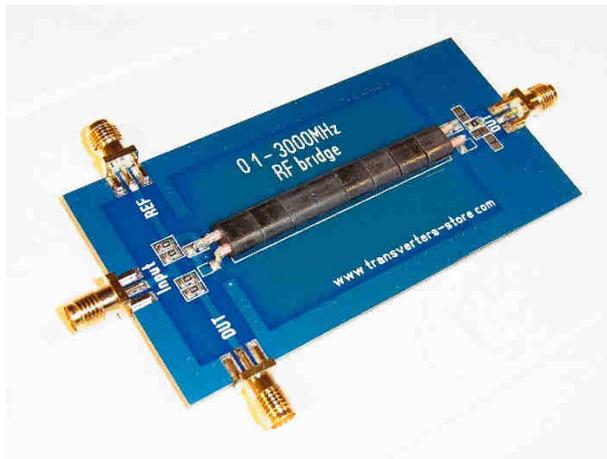
- sehr breitbandig,
- Ausgang ist Gleichspannung für dB-Multimeter (Rücklaufdämpfung in dB)
- auch für Leistungen im Watt-Bereich, z.B. für Handfunkgerät
- sehr störfest durch hohe Pegel



Messbrücke mit Ausgangsübertrager (Koax in Ferrit)

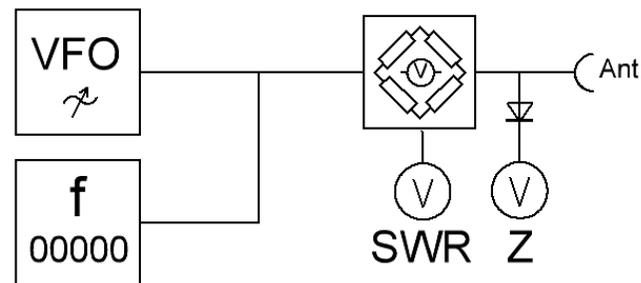
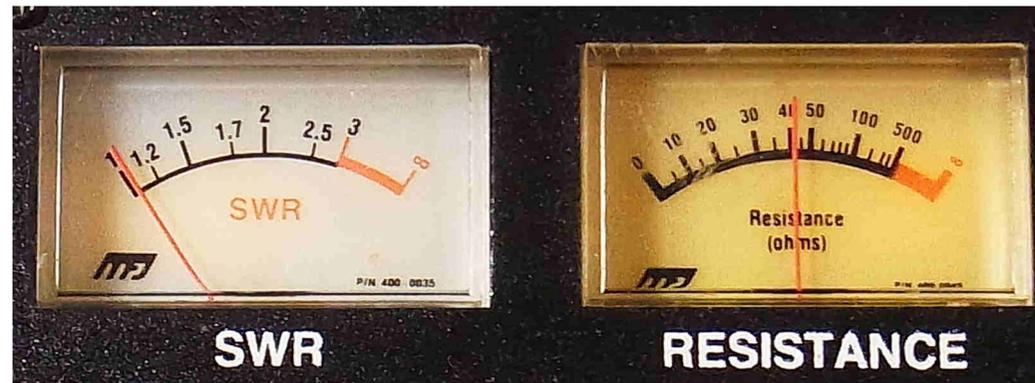
- Messung der Rücklaufdämpfung (S11) mit Laborgeräten

Messung der Signalabsorption mit Rauschmessbrücke und Empfänger / SDR



Messbrücke mit Generator und Frequenzzähler

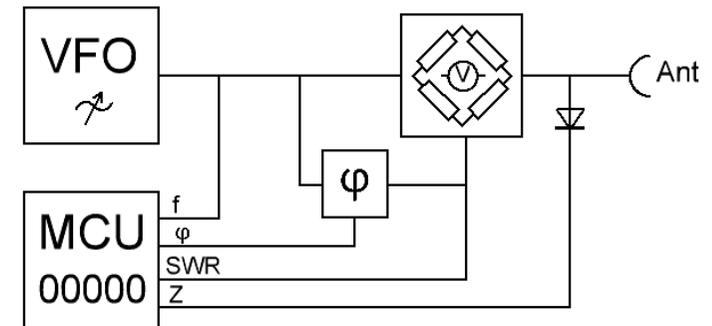
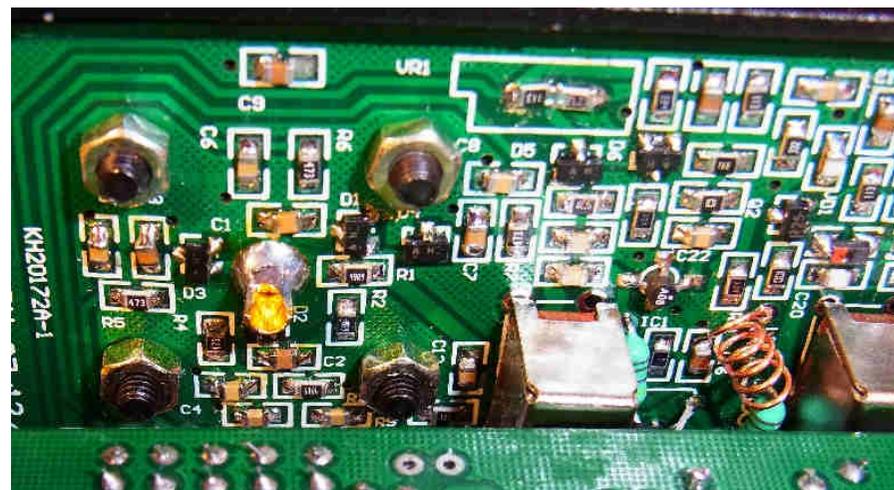
- analog durchstimmbar
- Messung von SWR und Z und f



Antennenanalyser

Kombination aus analogem Generator mit Messbrücke und Phasendetektoren

- Komplexe Impedanz (Z aus R und jX)
- Kapazität und Induktivität, Frequenzzähler
- Feldstärke



Antennenanalyzer mit Mischer und Phasendetektor

SWR, Z_x , R

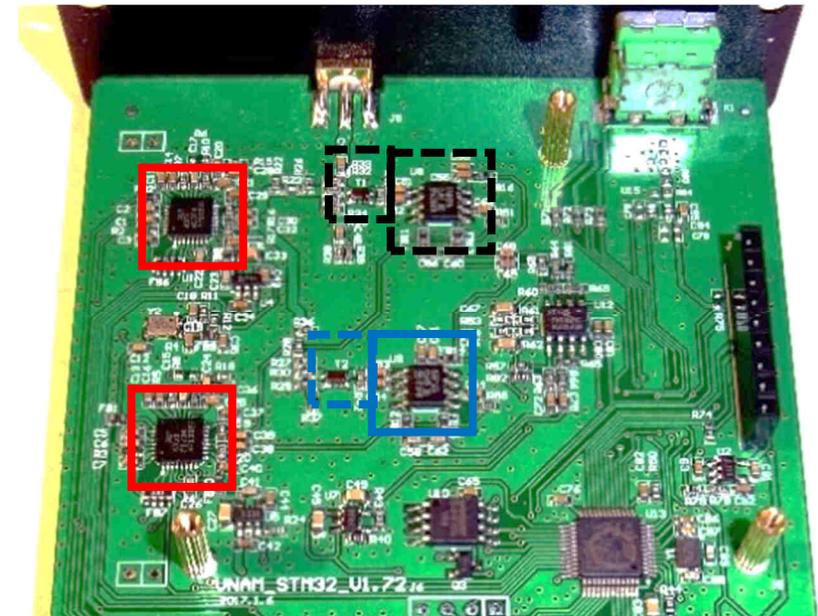
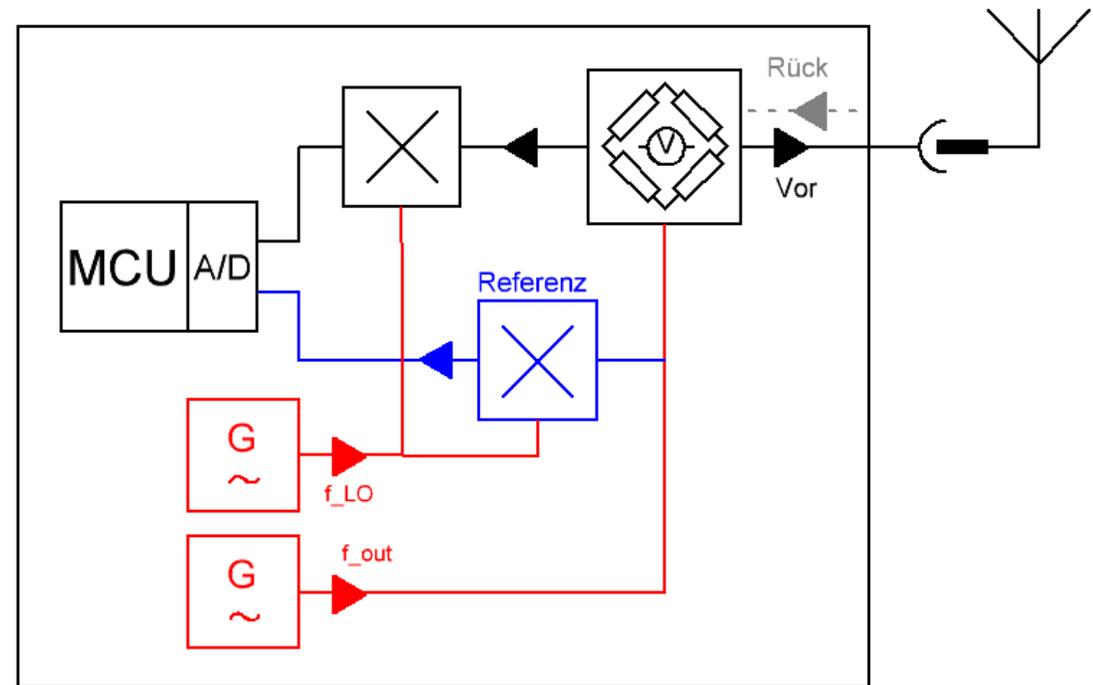
50kHz - 60MHz

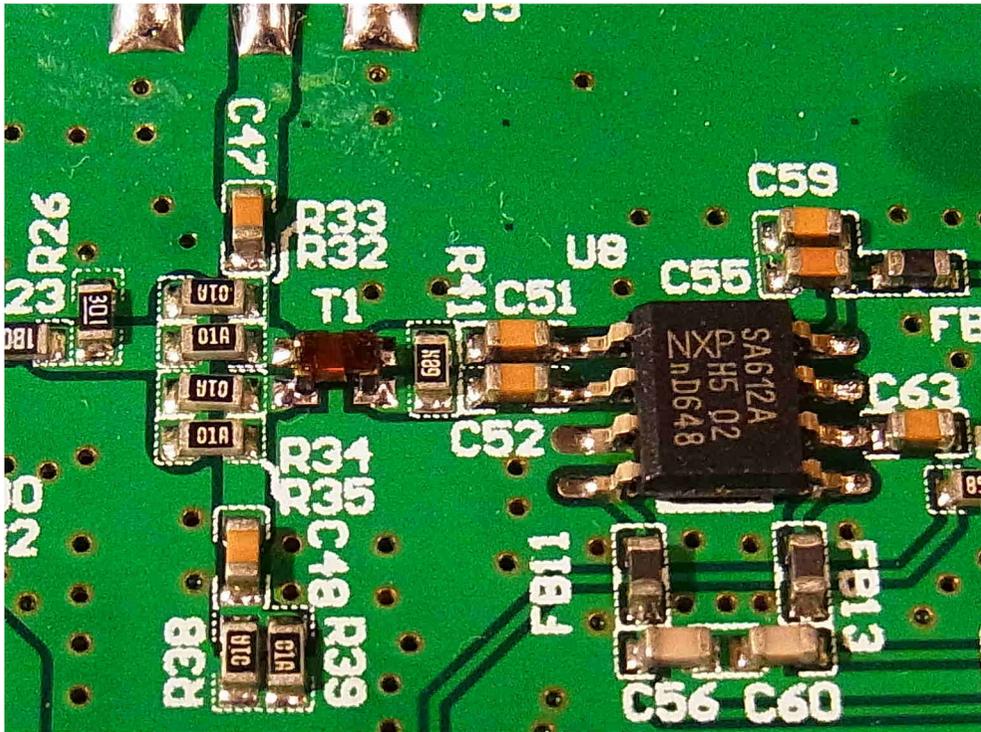


Vektor-Impedanz Analyser

SWR, Z_x , R, Phase, S11

137,5MHz-2700MHz



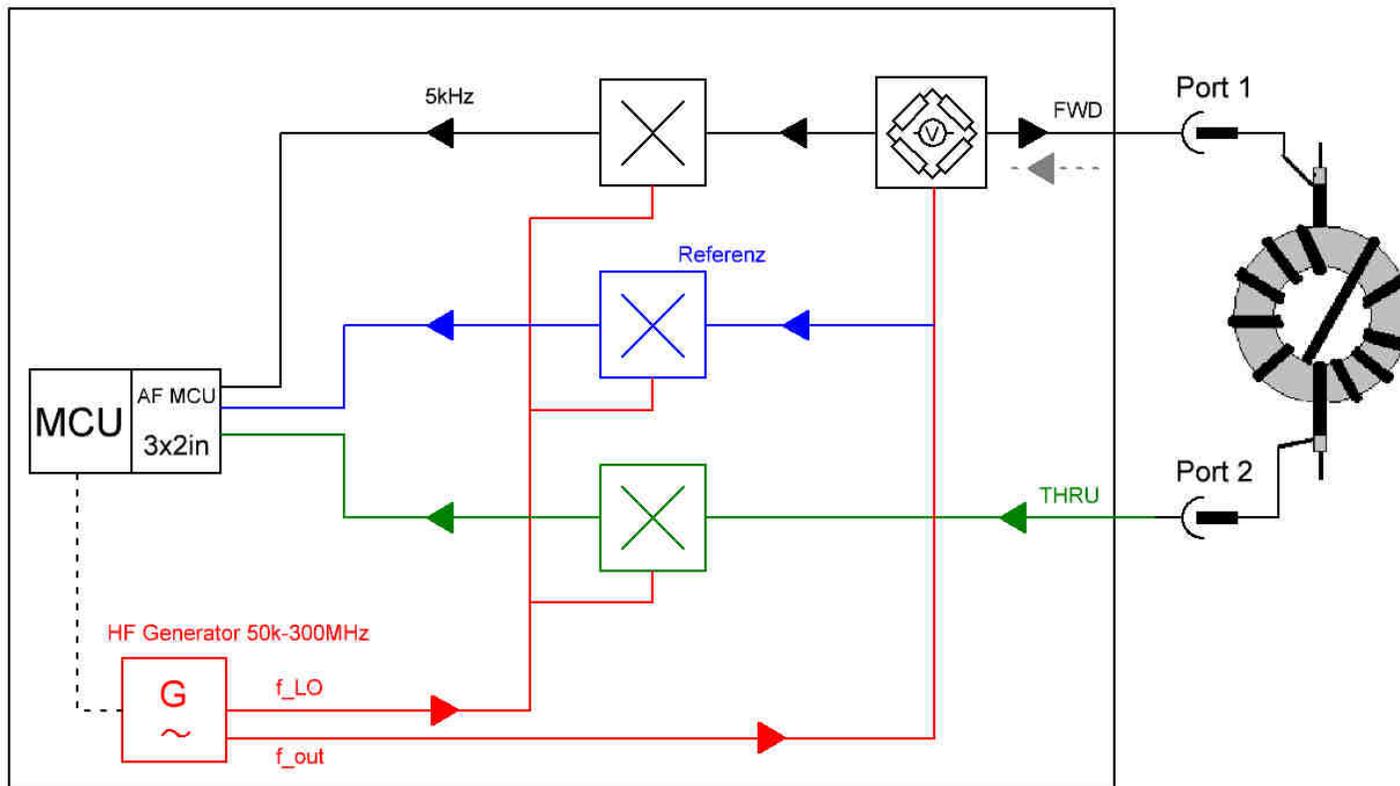
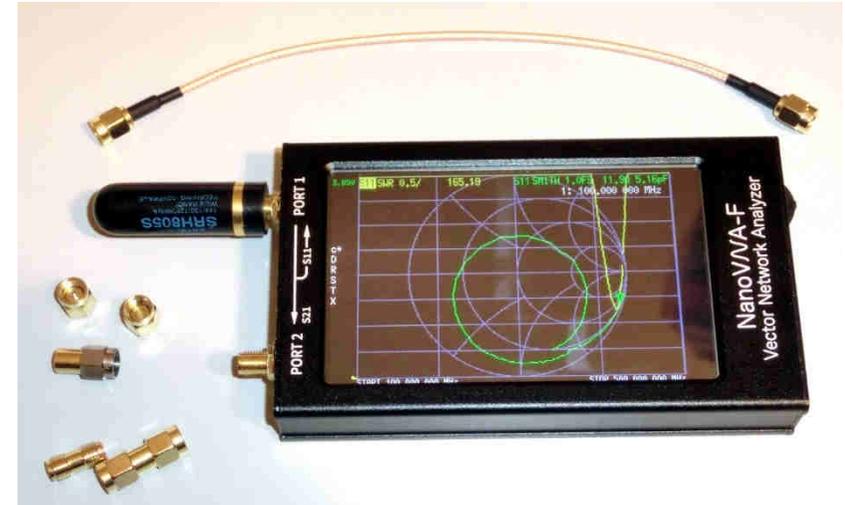


S-Frq CAL1 AAI 100%	
FRQ	435.000 MHz
R (Ω)	X (Ω)
89.67	-26.03
VSWR	S11 (dB)
2.000	-9.541
Z (Ω)	ESC (pF)
93.14	14.00

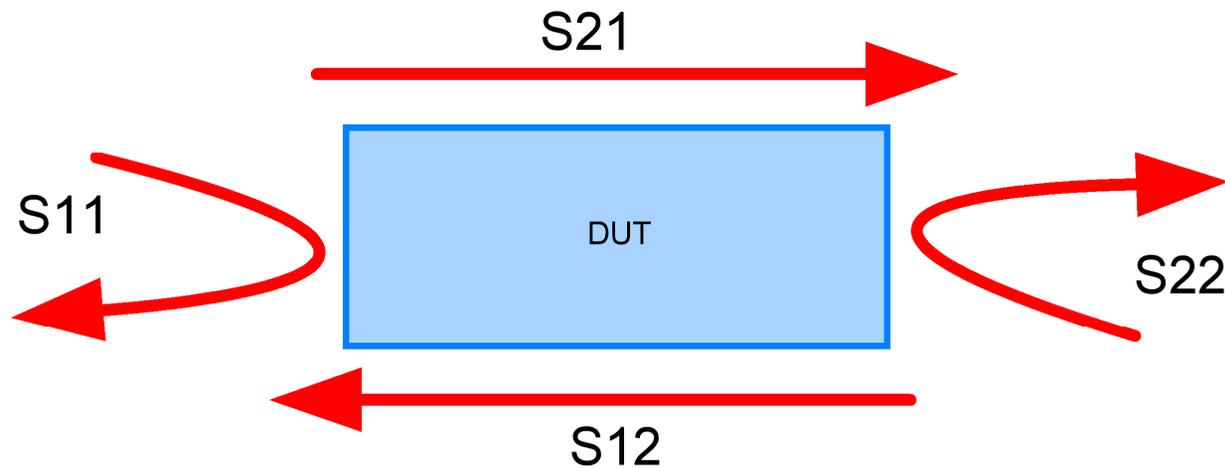
Vector Network Analyzer

Mit zweitem Port

- S-Parameter
- Komplex-Darstellung im Smith-Diagramm



S-Parameter



Reflexion im Eingang : S_{11}

Reflexion im Ausgang: S_{22}

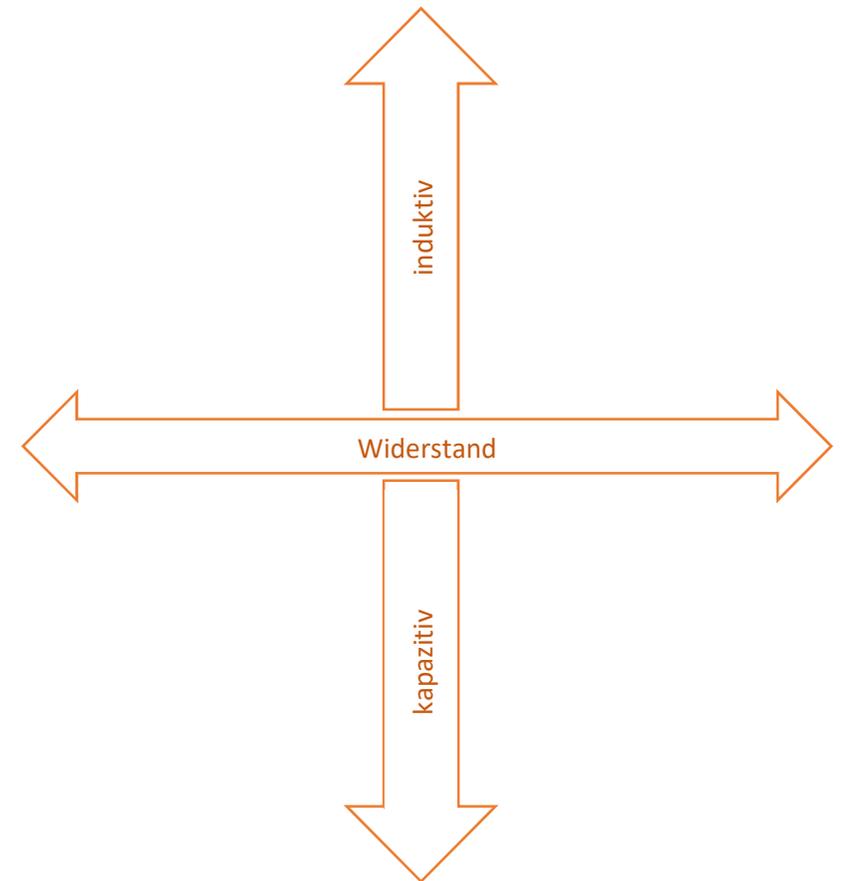
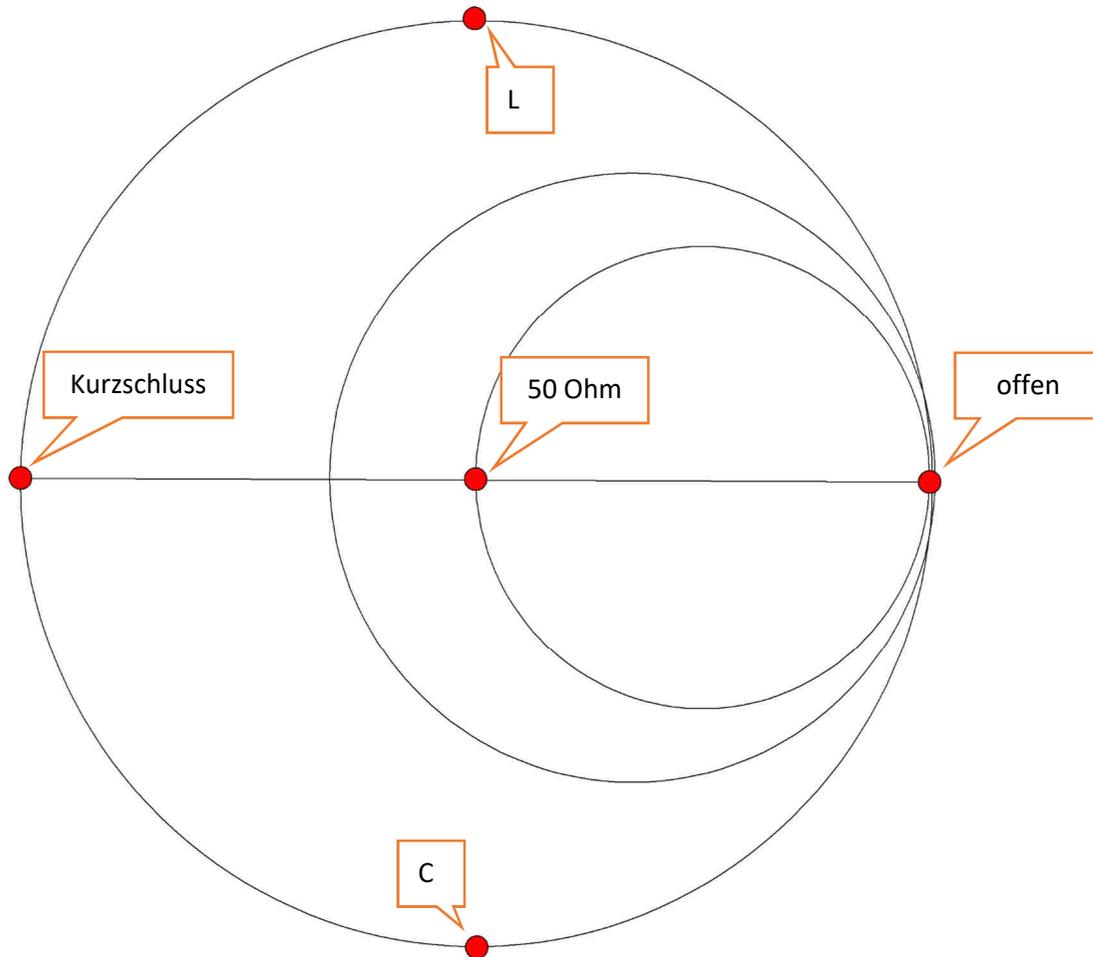
Durchgang (transmission): S_{21}

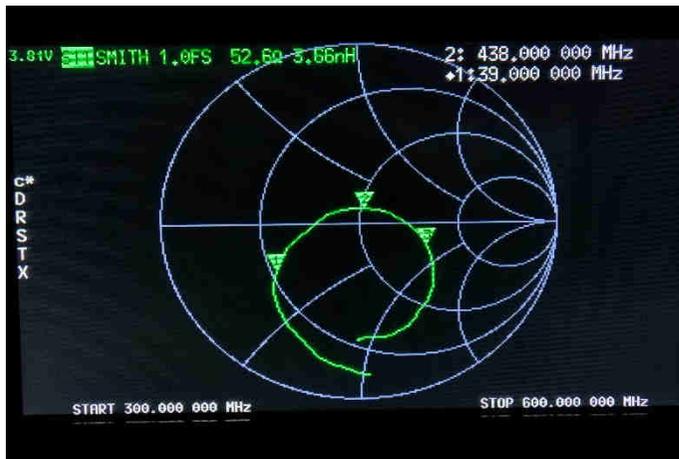
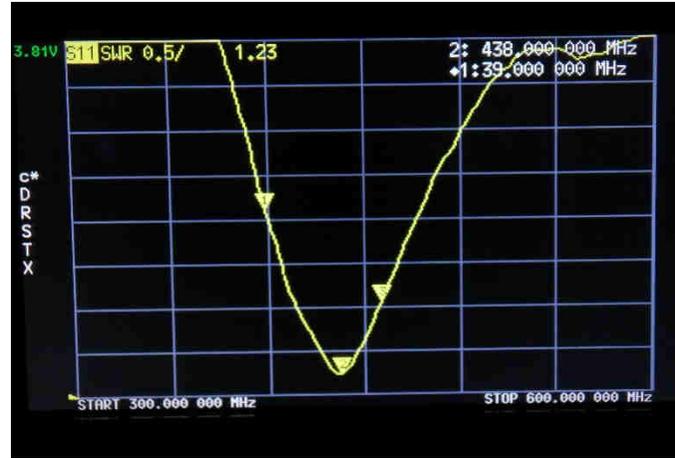
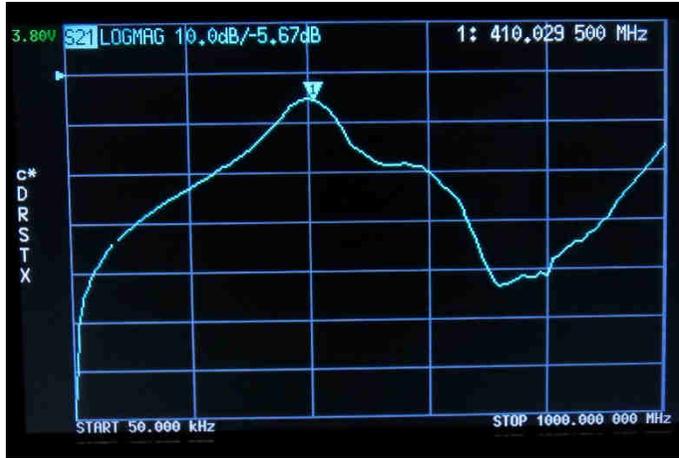
Rückwärtsdurchgang S_{12}

Bei passiven Elementen wie Dämpfungsgliedern ist $|S_{21}| = |S_{12}|$

Smith-Diagramm

(Prinzip)





Zubehör: Messübungen u.A.

