

# HAM RADIO 2013

HAM RADIO



FRIEDRICHSHAFEN

## Messung und Nutzung von Streuparametern in der HF-Technik

PROF. DR. THOMAS BAIER

E-mail: [baier@hs-ulm.de](mailto:baier@hs-ulm.de)

DG8SAQ

Hochschule Ulm  
Prittwitzstrasse 10  
89075 Ulm

Technik  
Informatik & Medien  
**Hochschule Ulm**



University of  
Applied Sciences

# Vortragsprogramm

- **Was sind Streuparameter?**
- **Pause**
- **Wie misst man S-Parameter mit einem Vektor-Netzwerkanalysator?**
- **Anwendungsbeispiele**

Dank an:

- Eric Hecker  
- Kurt Poulsen

- Gerfried Palme  
- Alan Rowe

- Jan Verduyn  
- Jim Tonne

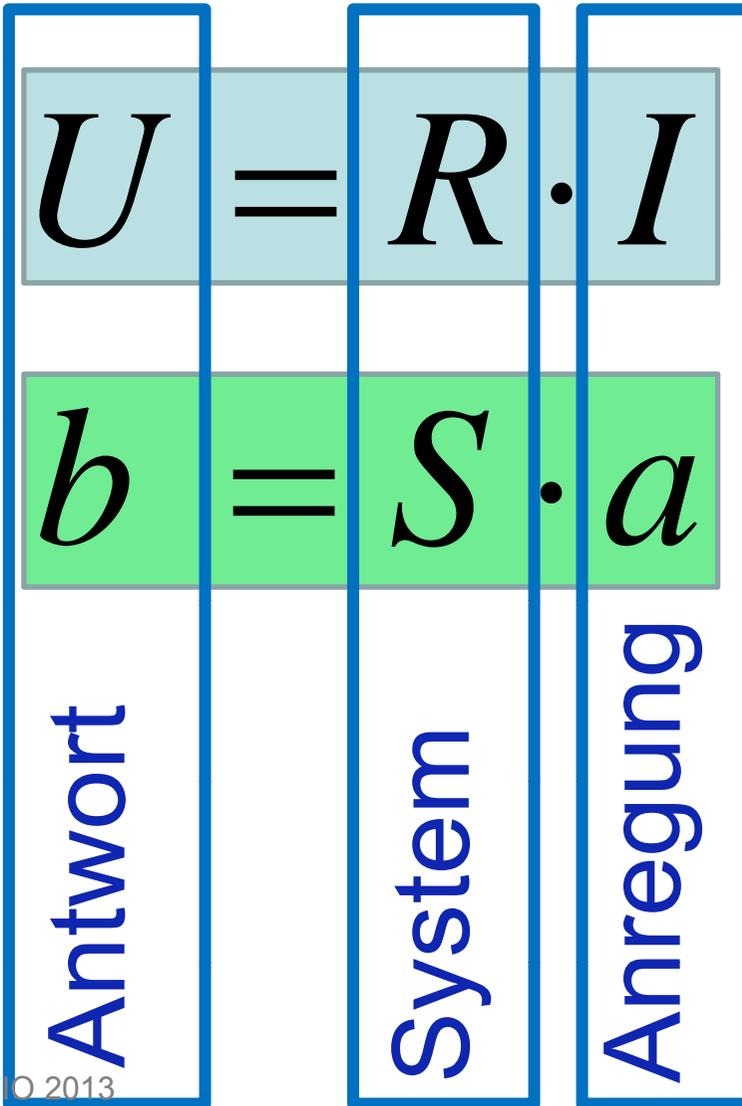
Hochschule Ulm



# Was sind Streuparameter?

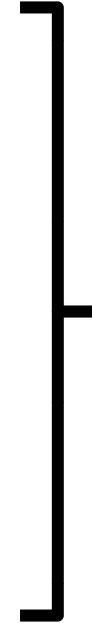
1. Gleichstromelektrik einmal anders
2. a und b statt Spannung und Strom
3. Komplexer Reflexionsfaktor
4. Streuparameter

# Keine Angst vor S-Parametern!



Ohm

S-Par.



gleichwertige  
Beschreibungen

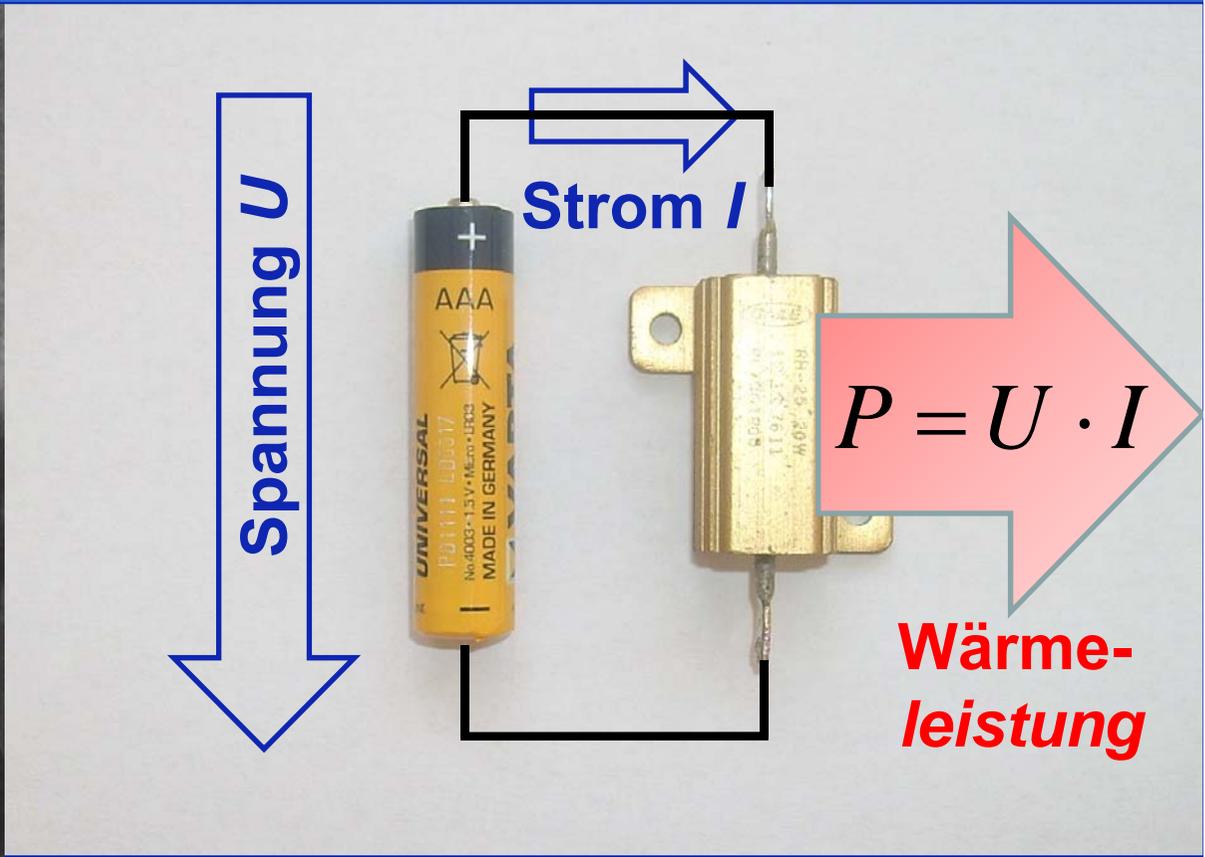


# Gleichstromelektrik einmal anders

## Das Ohmsche Gesetz (1)



**Georg Simon Ohm  
(1789-1854)**

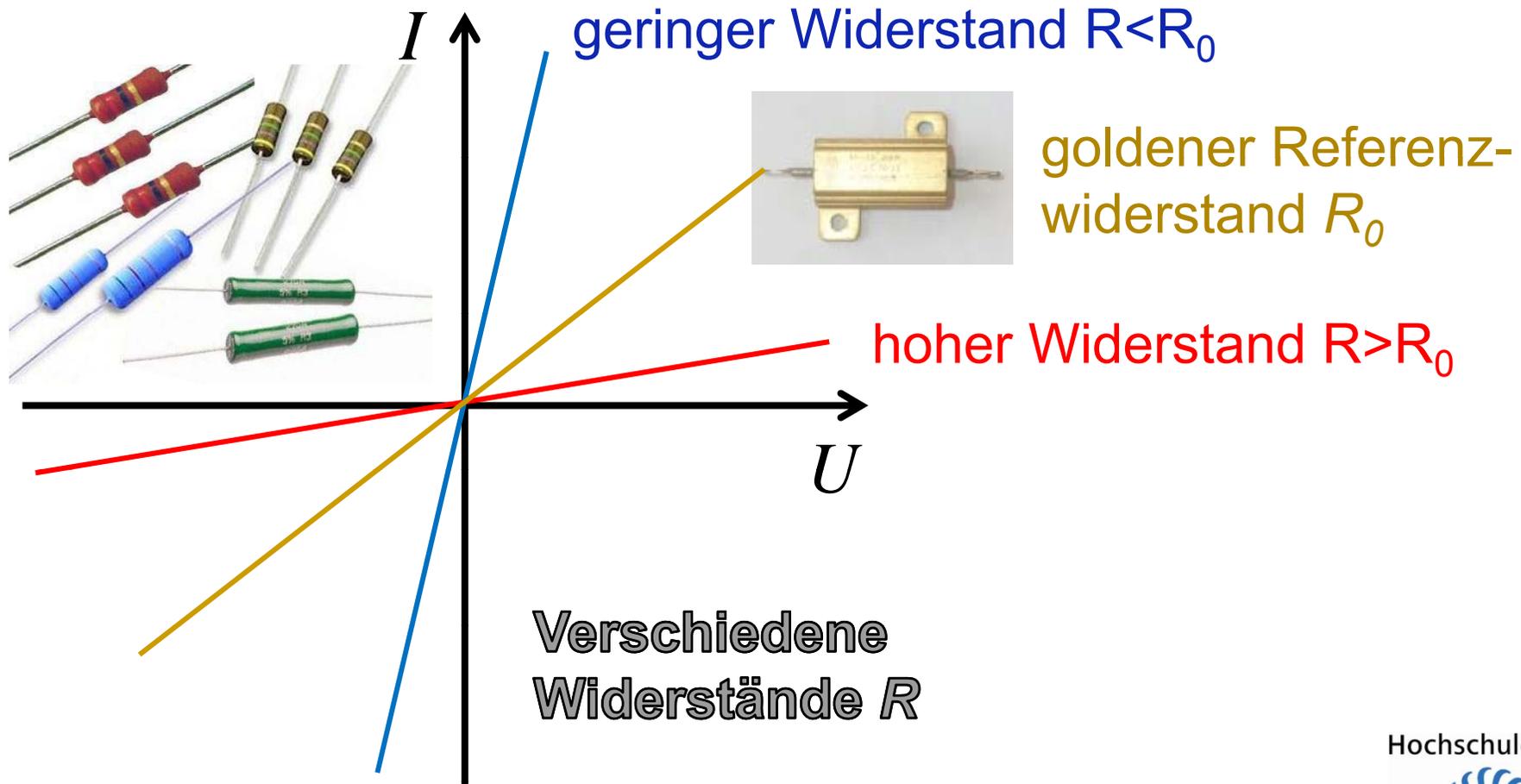


$$U = R \cdot I$$

Hochschule Ulm



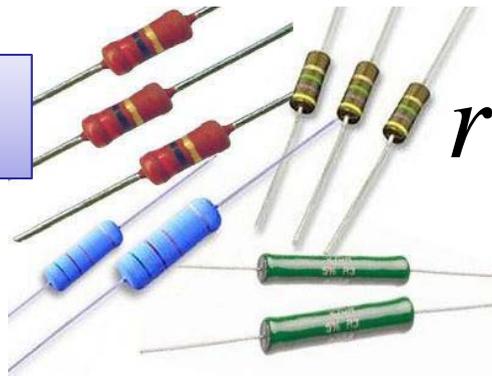
# Das Ohmsche Gesetz (2)



# Normierung des Widerstandes $R$ auf den Referenzwiderstand $R_0$

Wir messen jetzt beliebige Widerstände in  
Vielfachen des Referenzwiderstands  $R_0$  :

Widerstand  $R$



$$r = \frac{R}{R_0}$$

Normiert  $r$

Widerstand  $R_0$



$$r_0 = \frac{R_0}{R_0} = 1$$

Normiert 1

Hochschule Ulm



# Neue Einheiten für Spannung und Strom: Normierung von $U$ und $I$ mittels $R_0$

Fokus auf die an  $R_0$  abgegebene Leistung  $P$  :

$$\begin{aligned}\sqrt{P} &= \sqrt{U \cdot I} = \sqrt{\frac{U^2}{R_0}} = \frac{U}{\sqrt{R_0}} \equiv u \\ &= \sqrt{I^2 \cdot R_0} = I \cdot \sqrt{R_0} \equiv i\end{aligned}$$

# Neue Einheiten für Spannung und Strom

$$I \rightarrow i$$

$$U \rightarrow u$$

Fokus auf die an  $R_0$  abgegebene Leistung  $P$  :

$$i \equiv I \cdot \sqrt{R_0} = \sqrt{P} = \frac{U}{\sqrt{R_0}} \equiv u$$

$u$  und  $i$  sind immer noch Spannung und Strom, nur in anderen Einheiten gemessen.

$u$  und  $i$  haben dieselbe Einheit, nämlich  $\sqrt{\text{Watt}}$

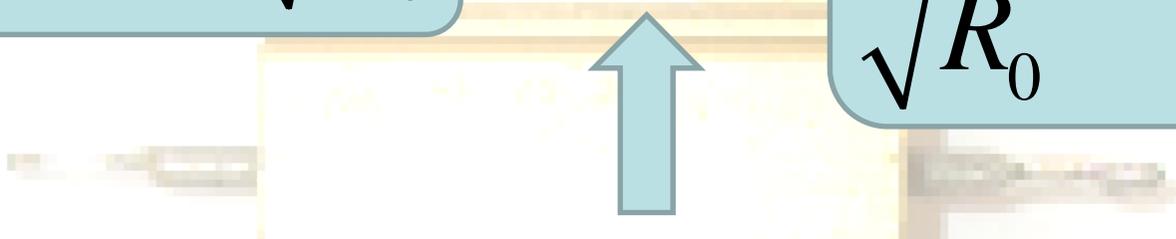


# Neue Einheiten für Spannung und Strom

$$I \rightarrow i$$

$$U \rightarrow u$$

Fokus auf die an  $R_0$  abgegebene Leistung  $P$ :


$$i \equiv I \cdot \sqrt{R_0} = \sqrt{P} = \frac{U}{\sqrt{R_0}} \equiv u$$

Hier gilt sogar  $u = i = \sqrt{P}$   
**Grund:** betrachteter  $R = R_0$   
d.h.  $U = R_0 \cdot I$

Widerstand  $R_0$  im Stromkreis



Jetzt beliebiger Widerstand  $R$  statt  $R_0$

*Das Ohmsche Gesetz gilt immer noch*

$$u = r \cdot i$$

denn:

$$\frac{u}{i} = \frac{U}{I \cdot \sqrt{R_0}} = \frac{U}{I \cdot R_0} = \frac{R}{R_0} \equiv r$$

Normierter  
Widerstand!  
↓

**Beliebiger Widerstand  $R!!!$**



# An beliebigen Widerstand $R$ abgegebene Leistung

$$P = u \cdot i$$

stimmt immer noch

denn:

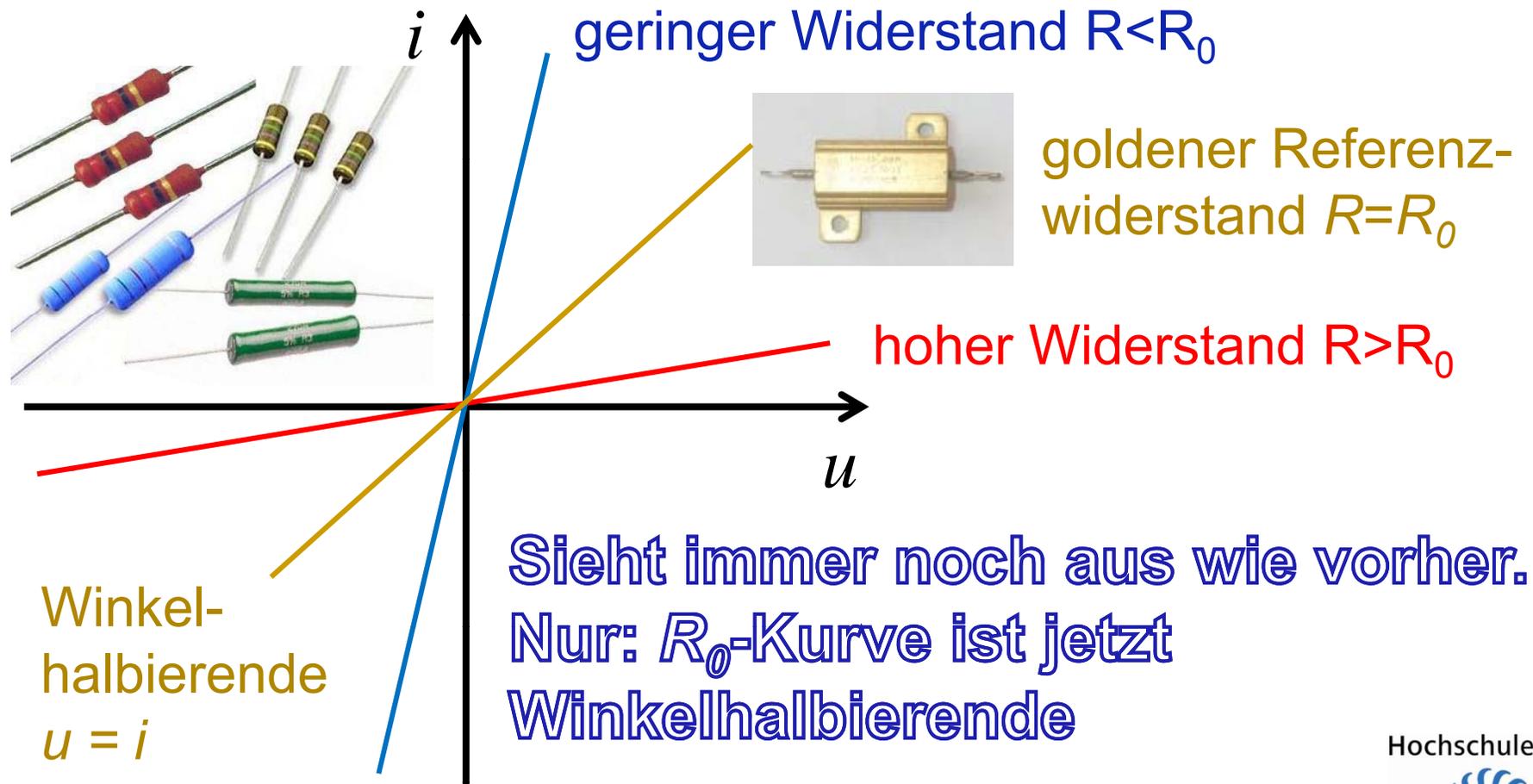
$$u \cdot i = \frac{U}{\sqrt{R_0}} \cdot I \cdot \sqrt{R_0} = U \cdot I = P$$

Wurzel kürzen!

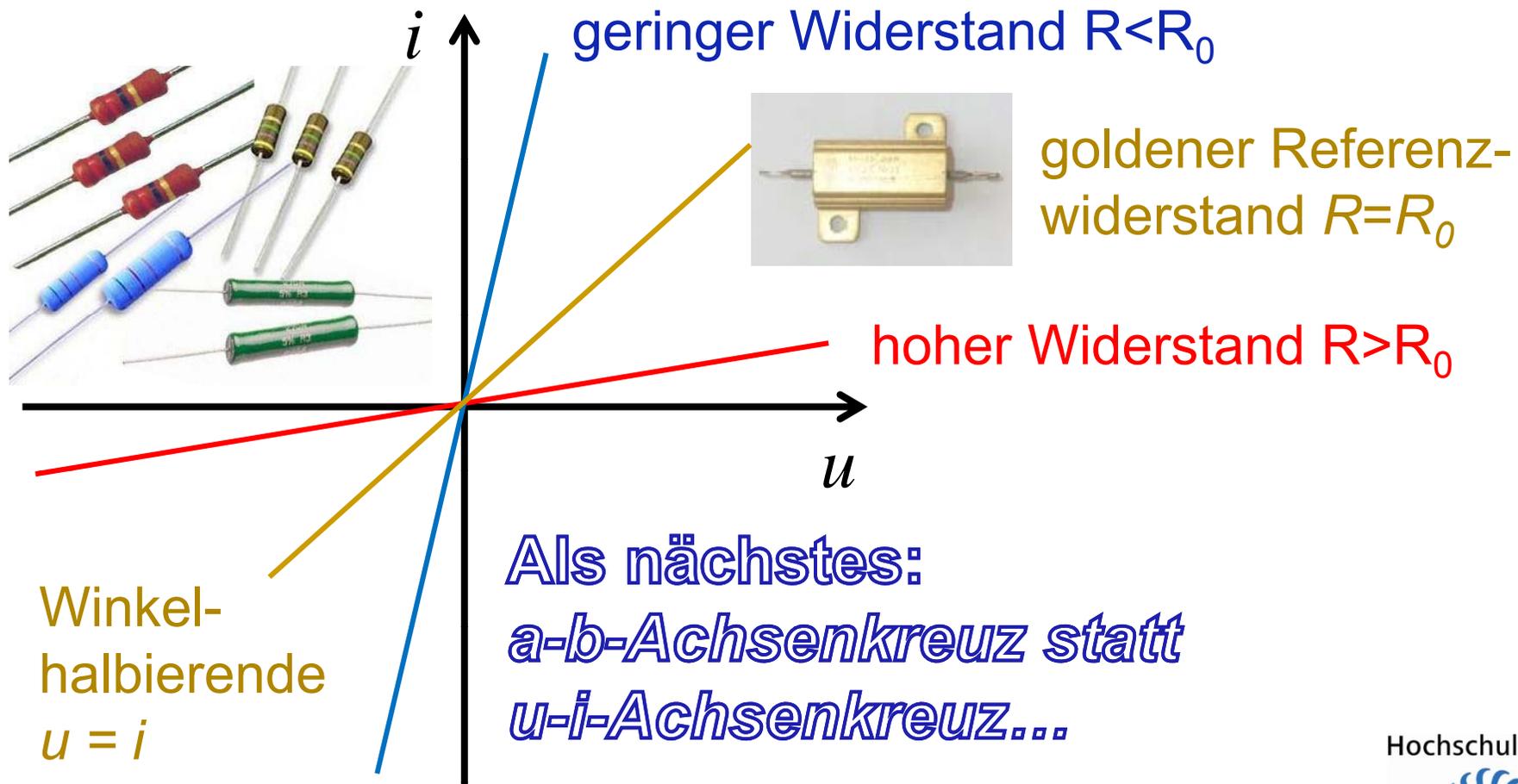
**Beliebiger Widerstand  $R$ !!!**



# Das Ohmsche Gesetz in neuen Spannungs- und Stromeinheiten

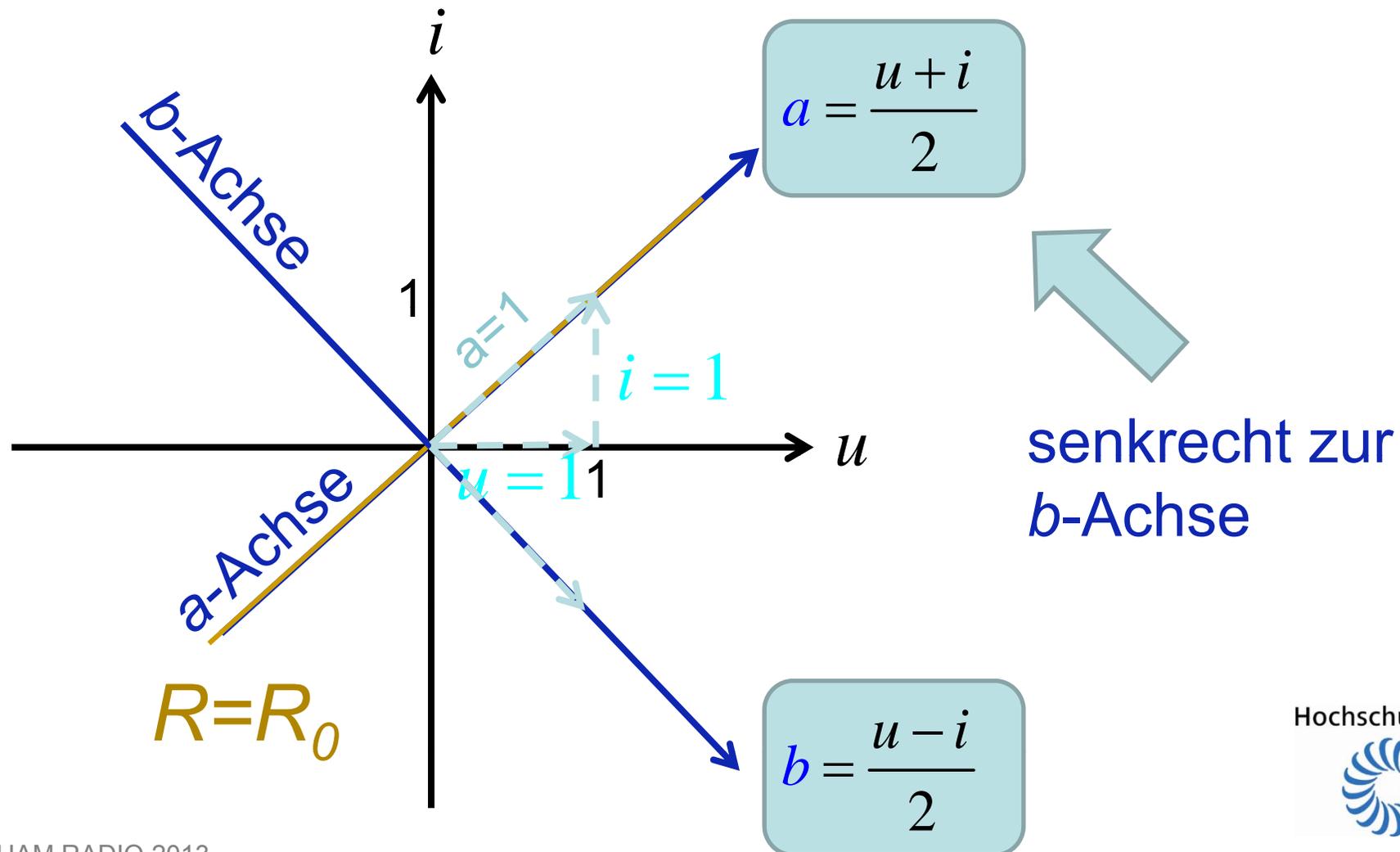


# Jetzt wird es ernst: Gleichstromelektrik mal anders...

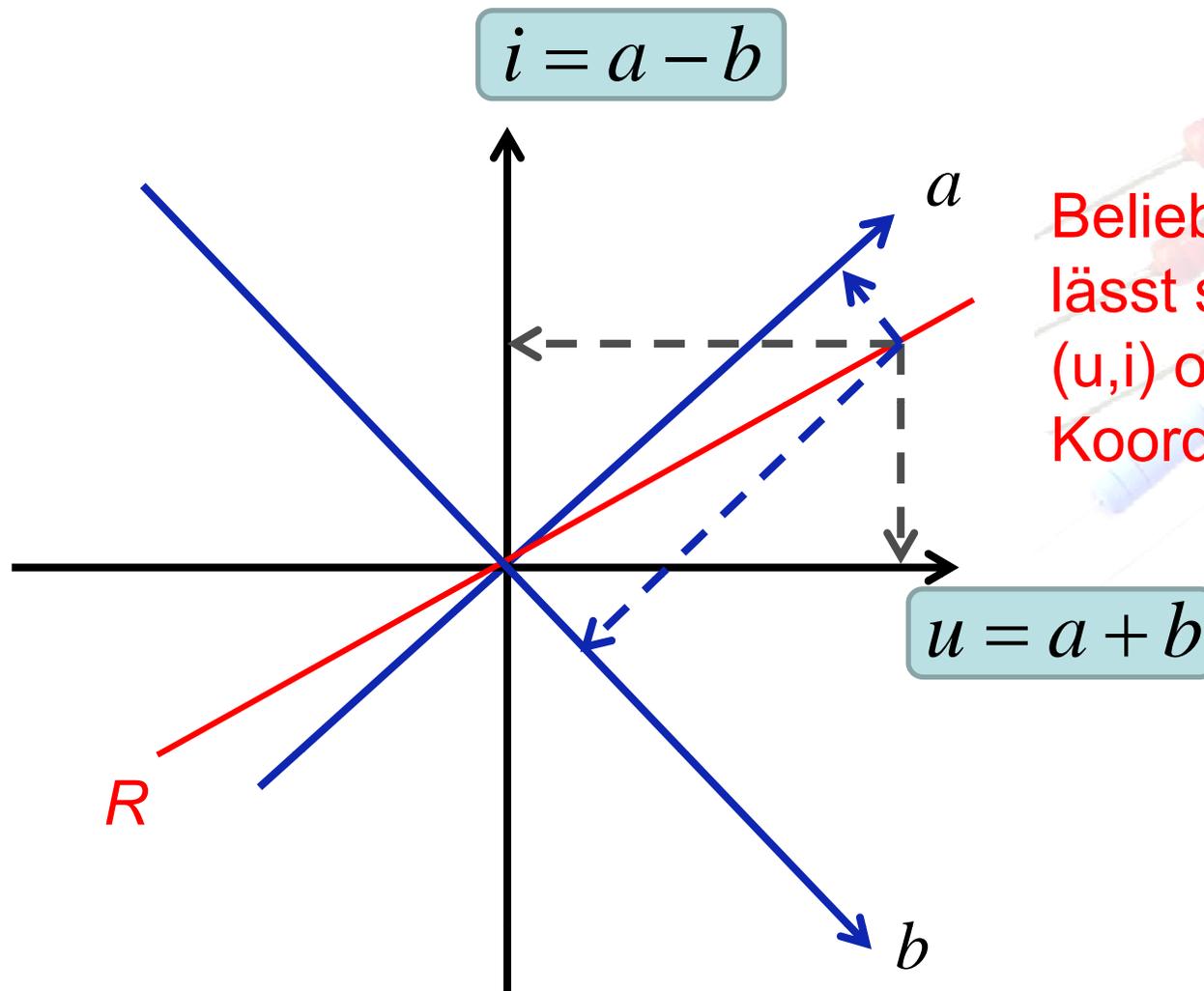




# Aus Spannung und Strom... ...mache $b$ ...und $a$ !



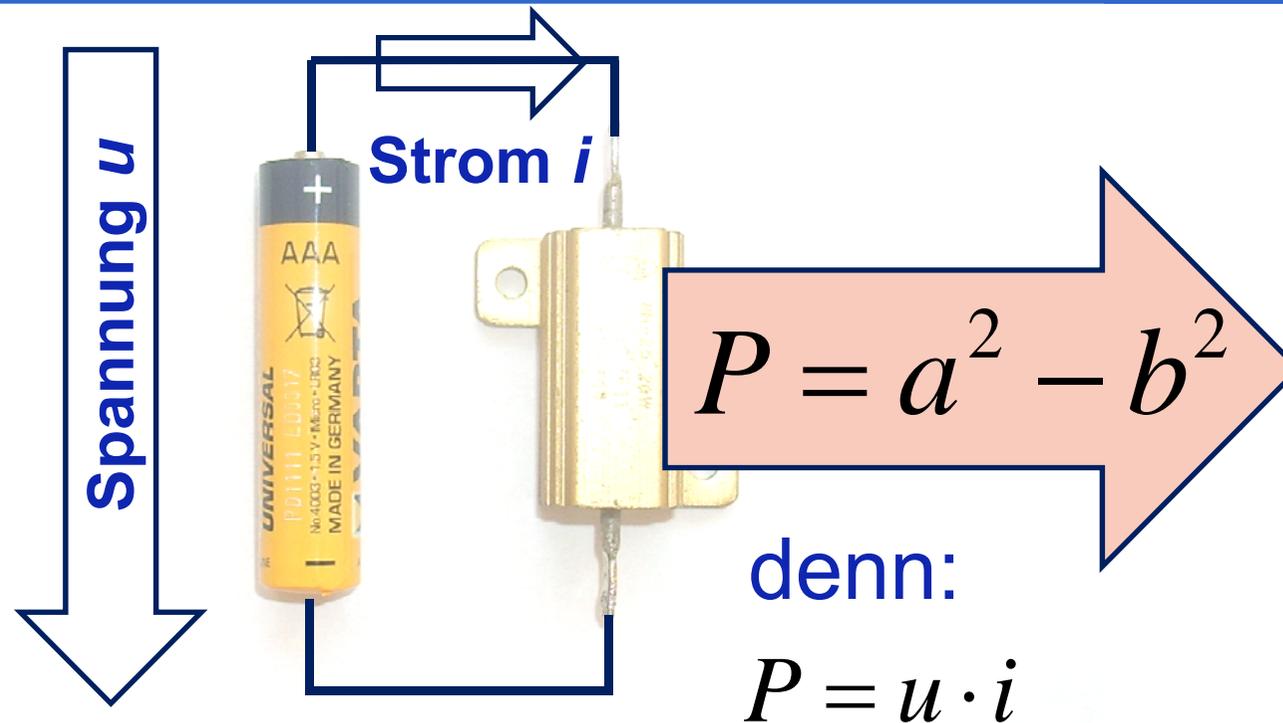
# Das geht auch umgekehrt: Spannung und Strom aus $a$ und $b$



Beliebiger Widerstand  $R$   
lässt sich gleichwertig in  
( $u, i$ ) oder ( $a, b$ )-  
Koordinaten beschreiben



# Gleichstromelektrik mal anders: An Widerstand $R$ abgegebene Leistung



falls  $R = R_0 \Rightarrow b = 0$   $= (a + b) \cdot (a - b)$   
 $\Rightarrow P = a^2$   $= a^2 - b^2$

# Zusammenfassung: a und b statt Spannung und Strom



$$P = a^2 - b^2$$

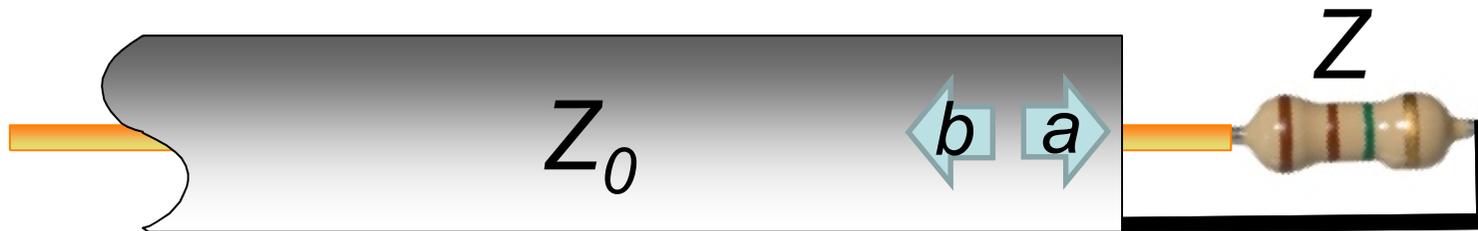
Leistung  $P$  ist maximal  $a^2$ , wenn  $b=0$ ,  
d.h. wenn  $R=R_0$ , andernfalls kleiner!

$a$  und  $b$  enthält dieselbe Information wie  $u$  und  $i$ :

$$\begin{aligned} u &= a + b & u + i &= 2a \\ i &= a - b & u - i &= 2b \end{aligned} \iff$$



# Der goldene Referenzwiderstand der HF: Wellenwiderstand $Z_0$ der Messleitung



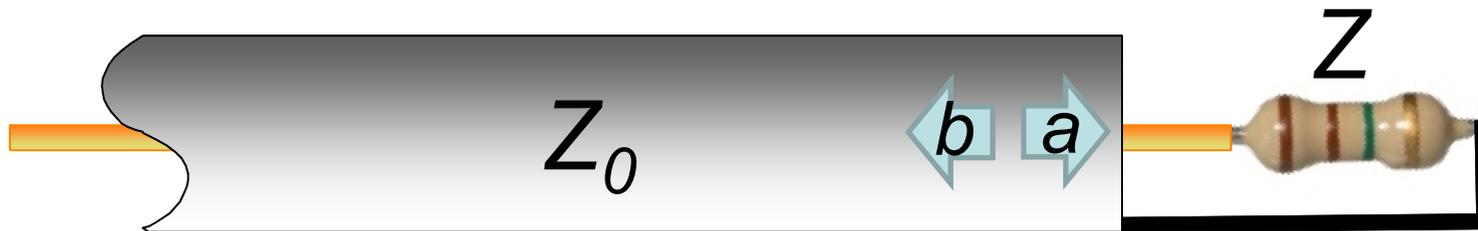
*An  $Z$  abgegebene Leistung maximal für  $b = 0$ , d.h.  $Z=Z_0$ , d.h. bei Anpassung!*

$a$  = auf  $Z$  zulaufende Welle  
 $b$  = von  $Z$  reflektierte Welle

$$\left\{ \begin{array}{l} P = |a|^2 - |b|^2 \\ \text{und } b = 0 \\ \text{wenn } Z = Z_0 \end{array} \right.$$

# Jetzt fließt Wechselstrom!

## Komplexer Reflexionsfaktor $S = b/a$



$a, b$  = komplexe Zahlen, enthalten Amplituden- und Phaseninformation, da Wechselstrom.

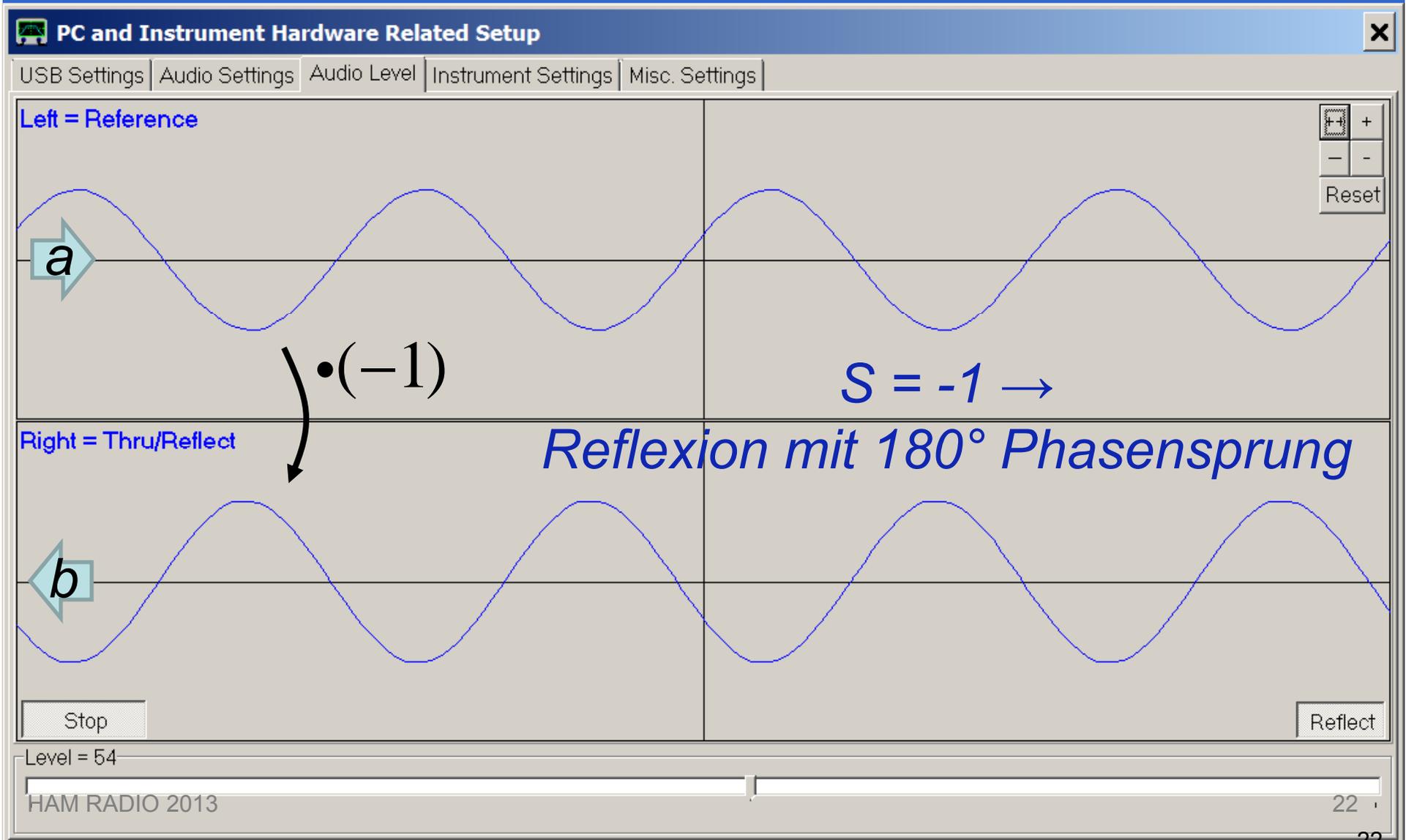
$$S = \frac{b}{a} = \frac{u - i}{u + i} = \frac{\frac{u}{i} - 1}{\frac{u}{i} + 1} = \frac{z - 1}{z + 1}$$

mit  $z = \frac{Z}{Z_0}$

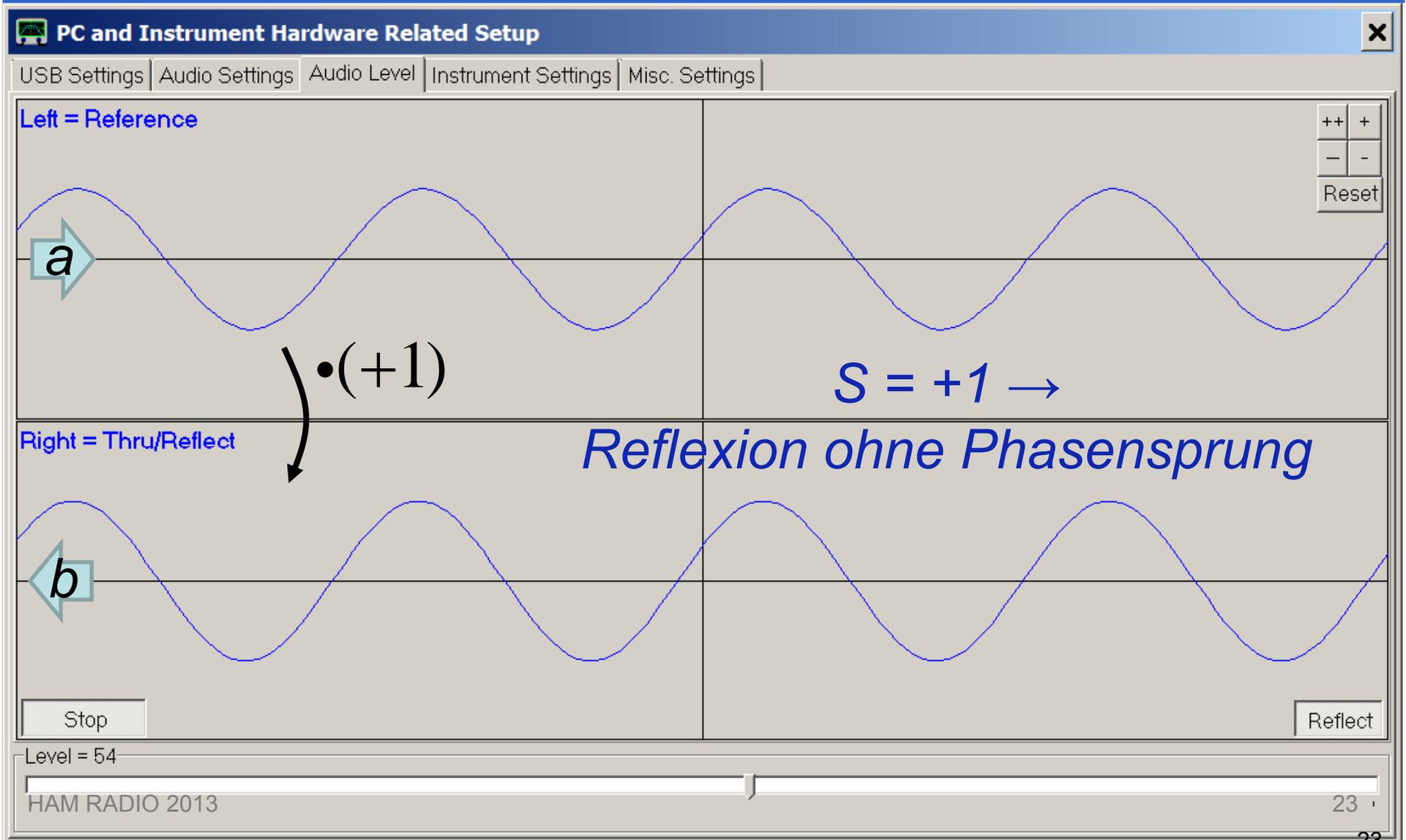
z.B. Kurzschluss:  $z = 0 \rightarrow S = -1$



Beim VNWA kann man  $a$  und  $b$  anschauen, z.B. Kurzschluss  $S=-1$

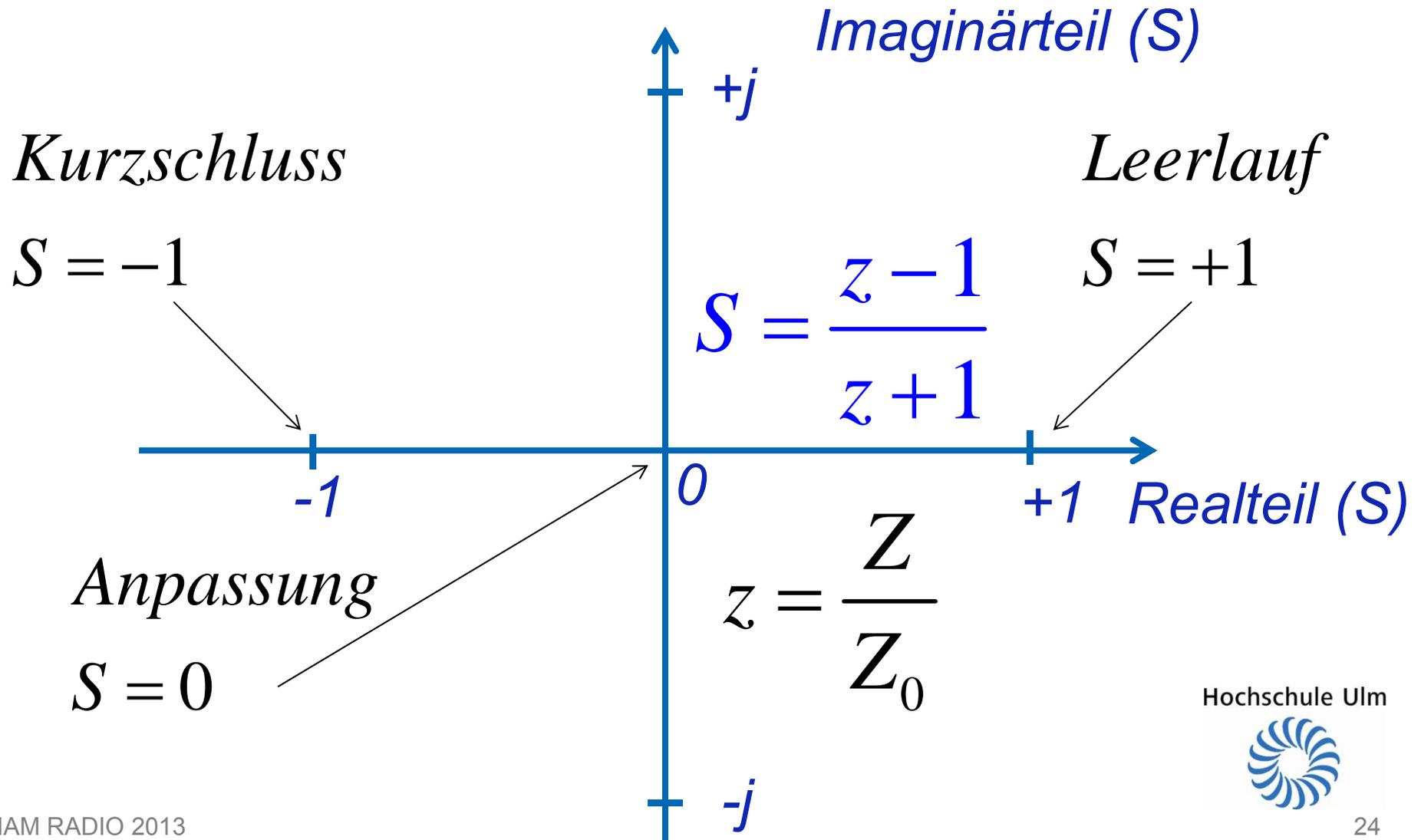


Beim VNWA kann man  $a$  und  $b$  anschauen, z.B. Leerlauf  $S=+1$ :



# Komplexer Reflexionsfaktor $S = b/a$

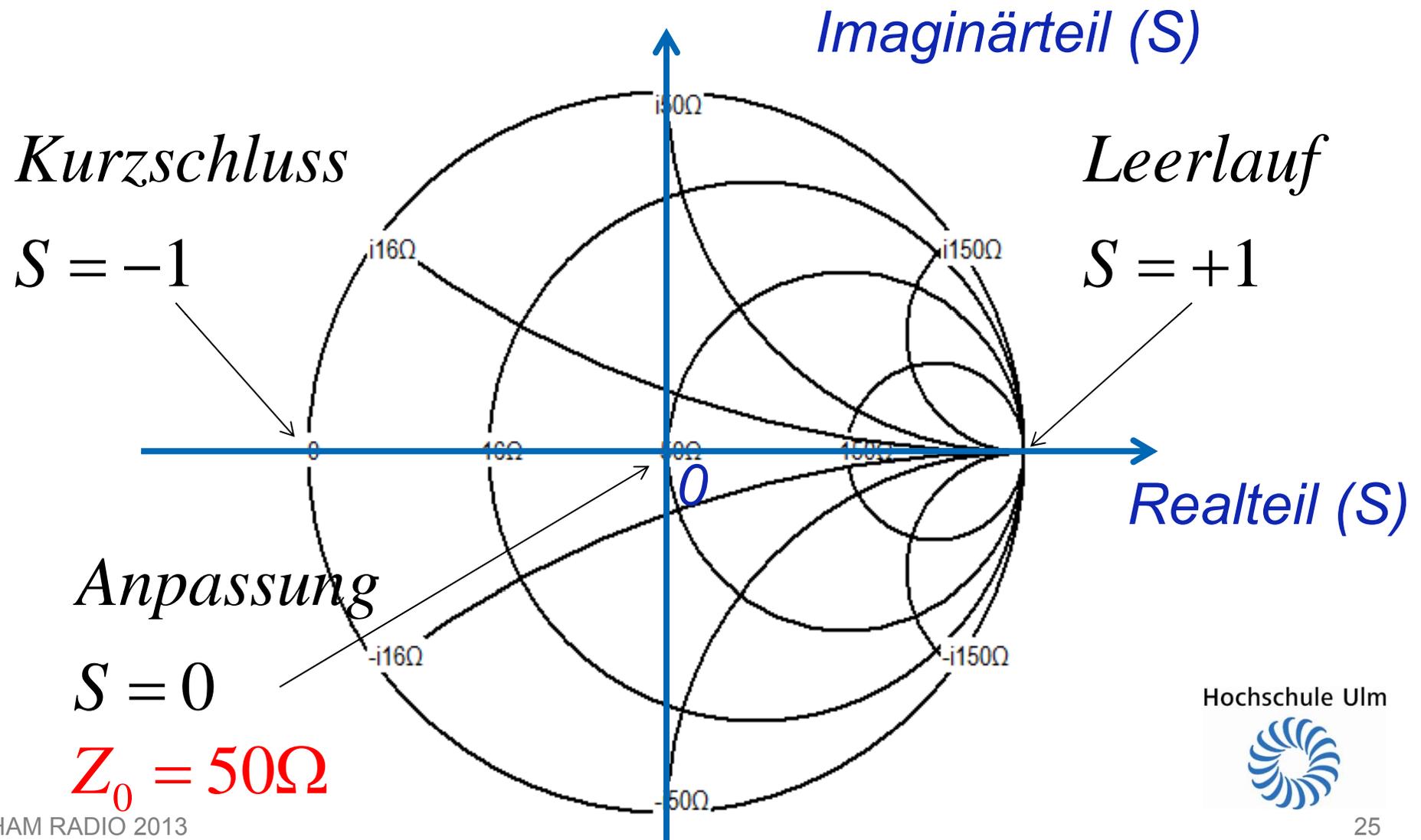
...



Hochschule Ulm



# Komplexer Reflexionsfaktor $S = b/a$ darstellbar im *Smith-Diagramm*

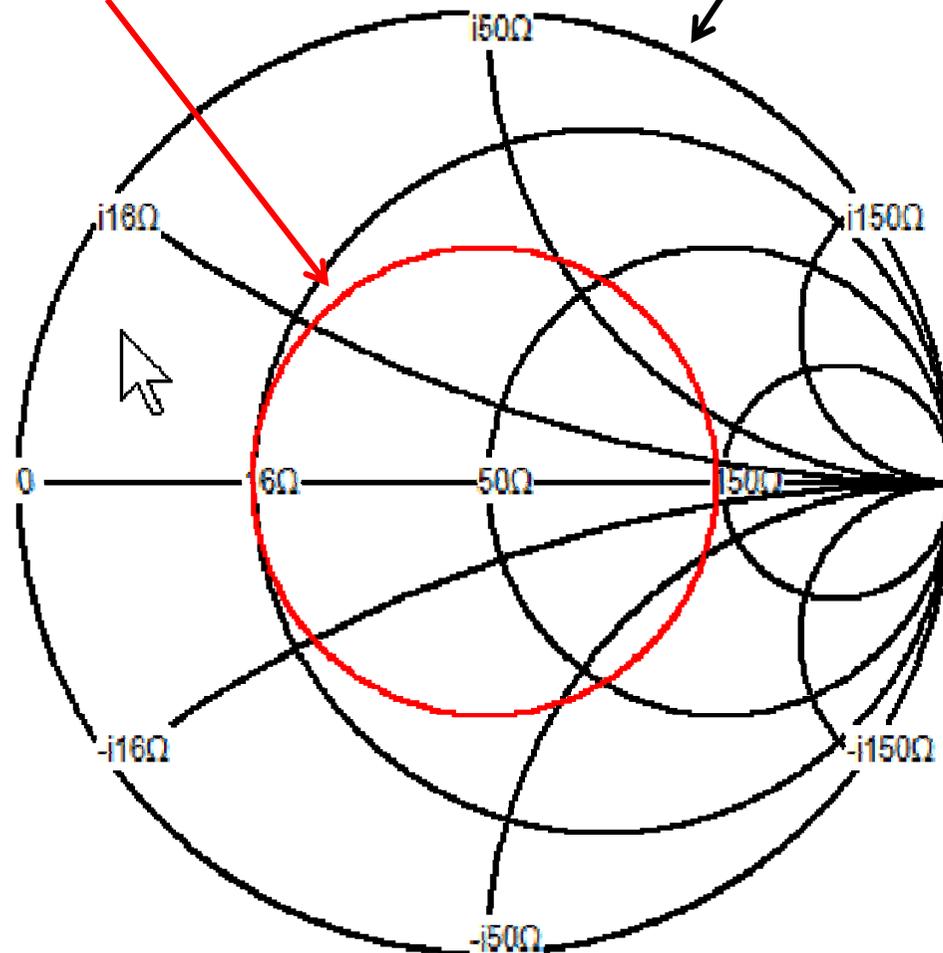


# Komplexer Reflexionsfaktor $S = b/a$ und Stehwellenverhältniss VSWR

$|S| = 0,5$   $VSWR = 3$

$|S| = 1$   $VSWR = \infty$

0,5 · 0,5 = 25%  
reflektierte Leistung



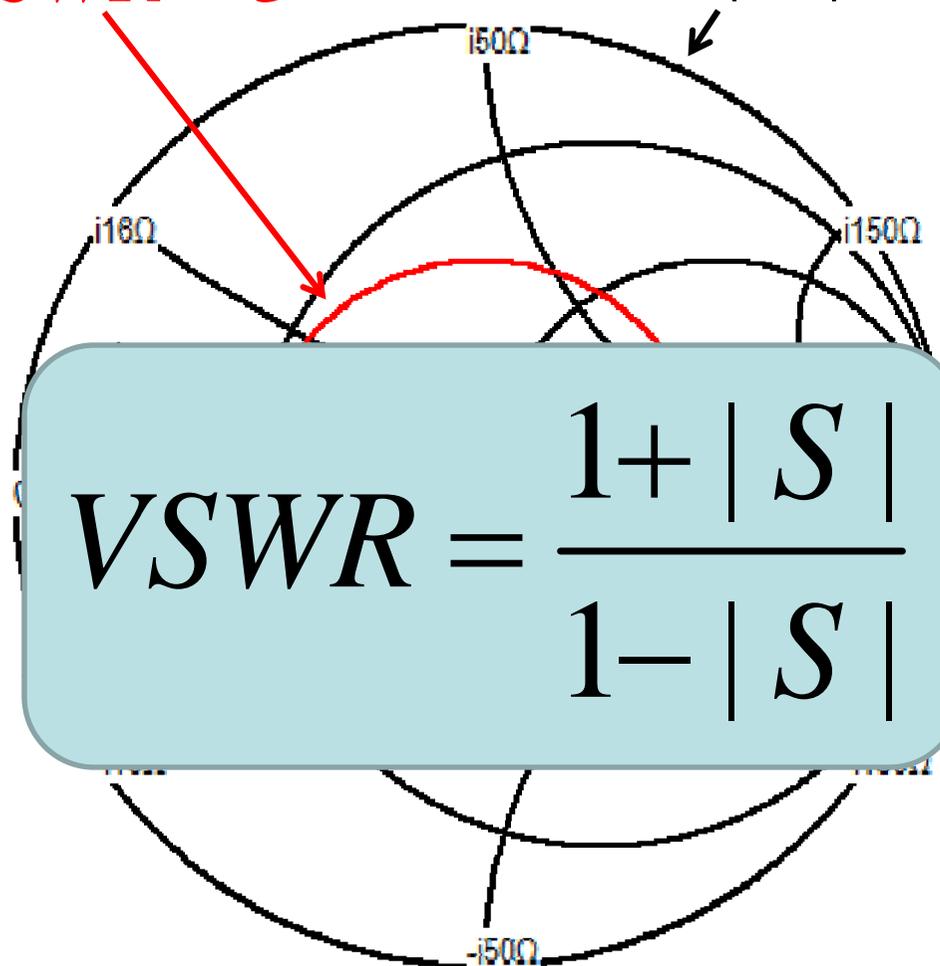
1 · 1 = 100%  
reflektierte Leistung



# Komplexer Reflexionsfaktor $S = b/a$ und Stehwellenverhältniss $VSWR$

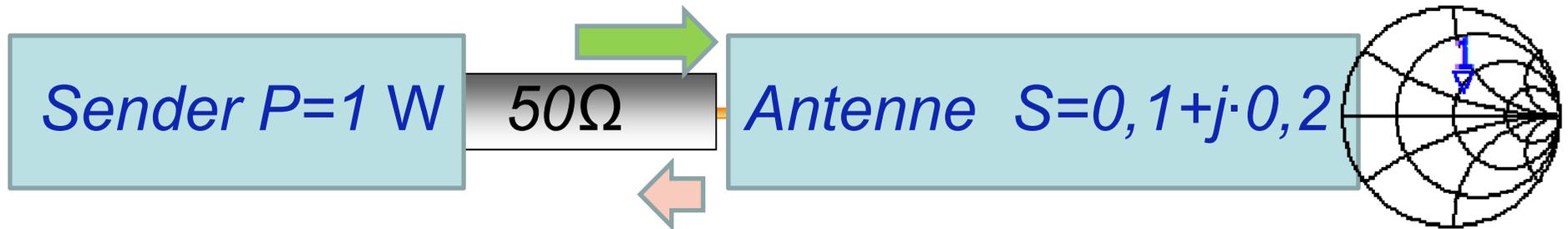
$$|S| = 0,5 \quad VSWR = 3$$

$$|S| = 1 \quad VSWR = \infty$$



# Komplexer Reflexionsfaktor $S = b/a$

## Rechenbeispiel: Reflektierte Leistung



$$a = \sqrt{1 \text{ W}} = 1\sqrt{\text{W}}$$

$$b = S \cdot a = (0,1 + j0,2) \cdot \sqrt{1 \text{ W}} = 0,1\sqrt{\text{W}} + j0,2\sqrt{\text{W}}$$

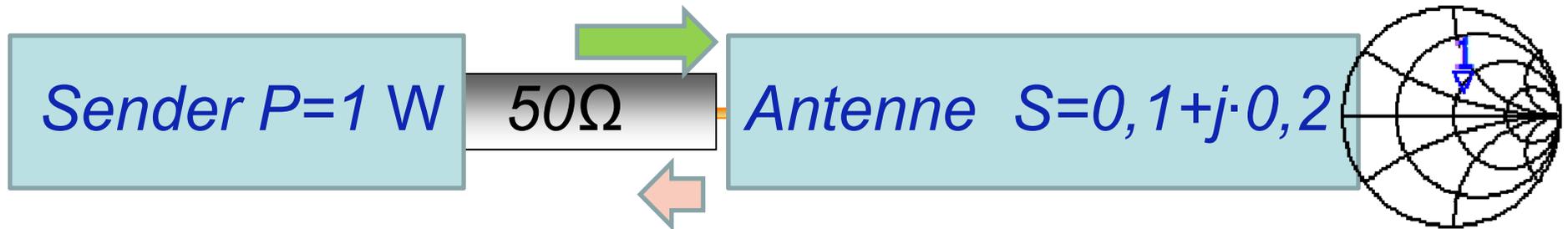
Reflektierte Leistung:

$$P_r = |b|^2 = 0,1^2 + 0,2^2 \text{ W} = 0,05 \text{ W}$$



# Komplexer Reflexionsfaktor $S = b/a$

## Rechenbeispiel: VSWR



$$a = 1\sqrt{W}$$

$$b = 0,1\sqrt{W} + j0,2\sqrt{W}$$

VSWR:

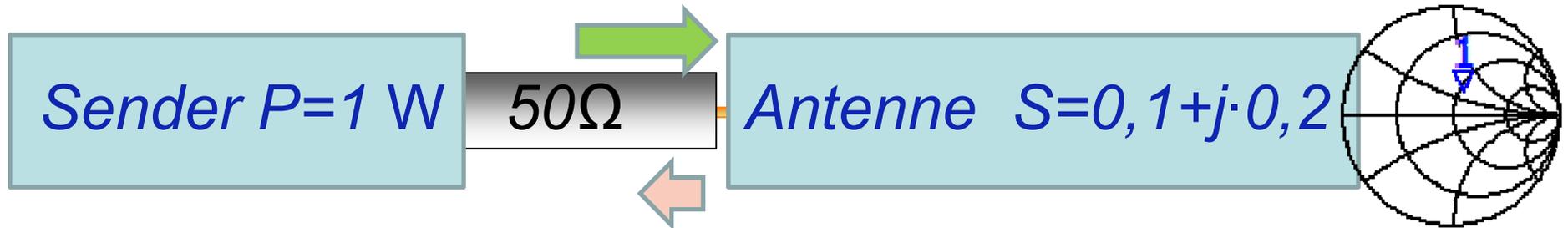
$$|S| = \sqrt{0,1^2 + 0,2^2} \approx 0,22$$

$$VSWR = \frac{1 + |S|}{1 - |S|} \approx \frac{1 + 0,22}{1 - 0,22} \approx 1,6$$



# Komplexer Reflexionsfaktor $S = b/a$

## Rechenbeispiel: Antennenspannung



$$a = 1\sqrt{W}$$

$$b = 0,1\sqrt{W} + j0,2\sqrt{W}$$

Effektivspannung an Antenne:

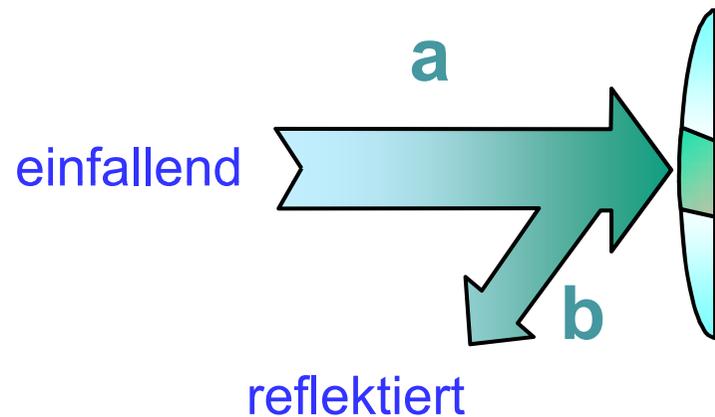
$$u = a + b = 1,1\sqrt{W} + j0,2\sqrt{W}$$

$$U = u \cdot \sqrt{Z_0} = u \cdot \sqrt{50\Omega} \approx 7,8\text{ V} + j1,4\text{ V}$$

$$U_{eff} = |U| = \sqrt{7,8^2 + 1,4^2}\text{ V} \approx 7,9\text{ V}$$

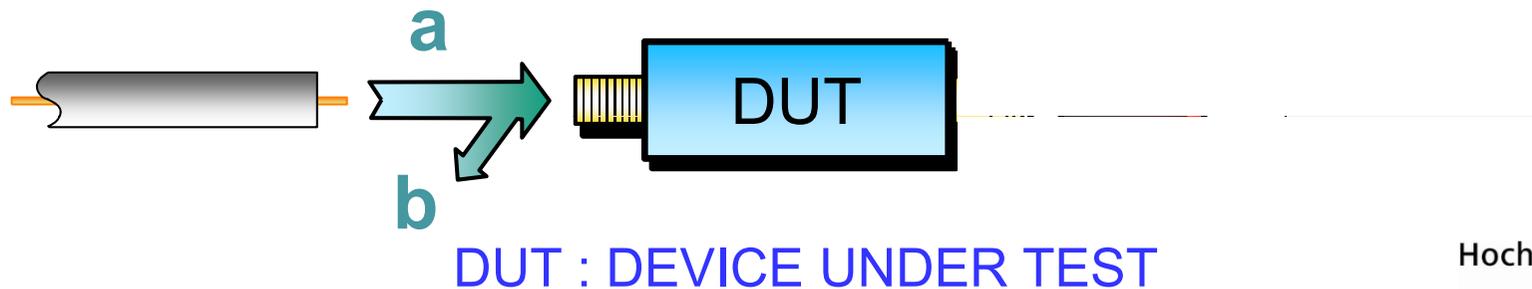
# Komplexer Reflexionsfaktor $S = b/a$ heißt jetzt Streuparameter!

## Optik



Streuung und  
Absorption von  
Wellen an einem  
Anschluss

## Elektrik

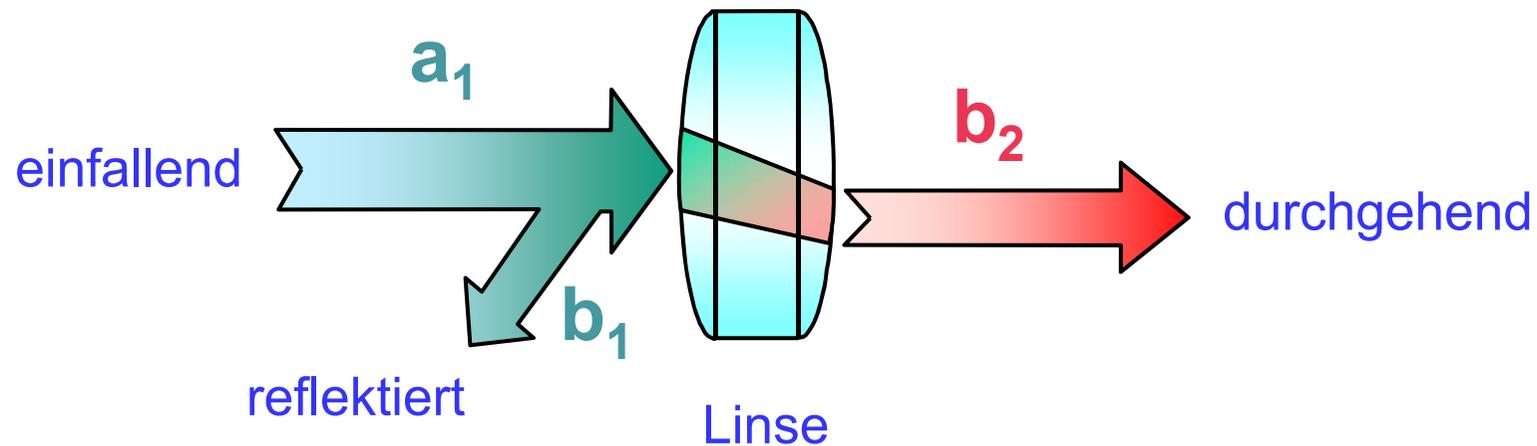


Hochschule Ulm

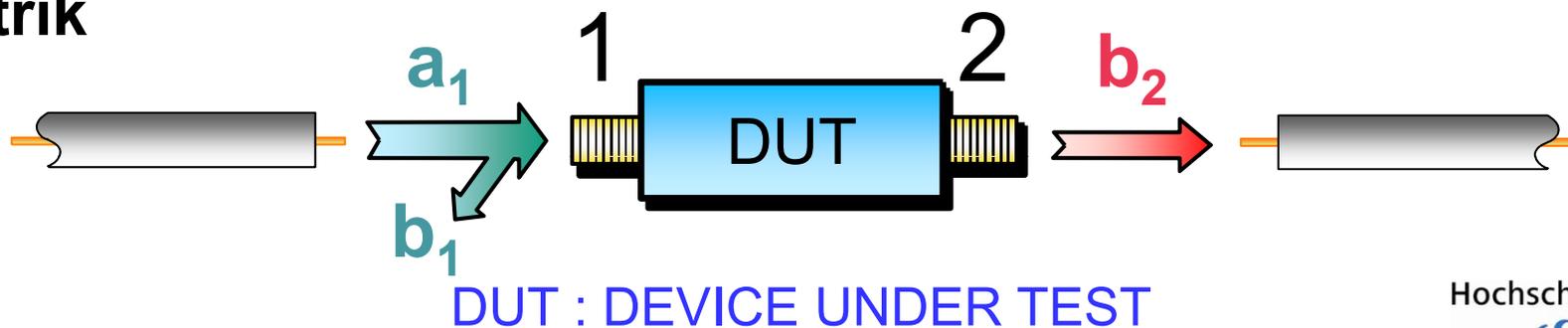


# Streuparameter oder kurz S-Parameter: Jetzt 2 Anschlüsse!

## Optik



## Elektrik

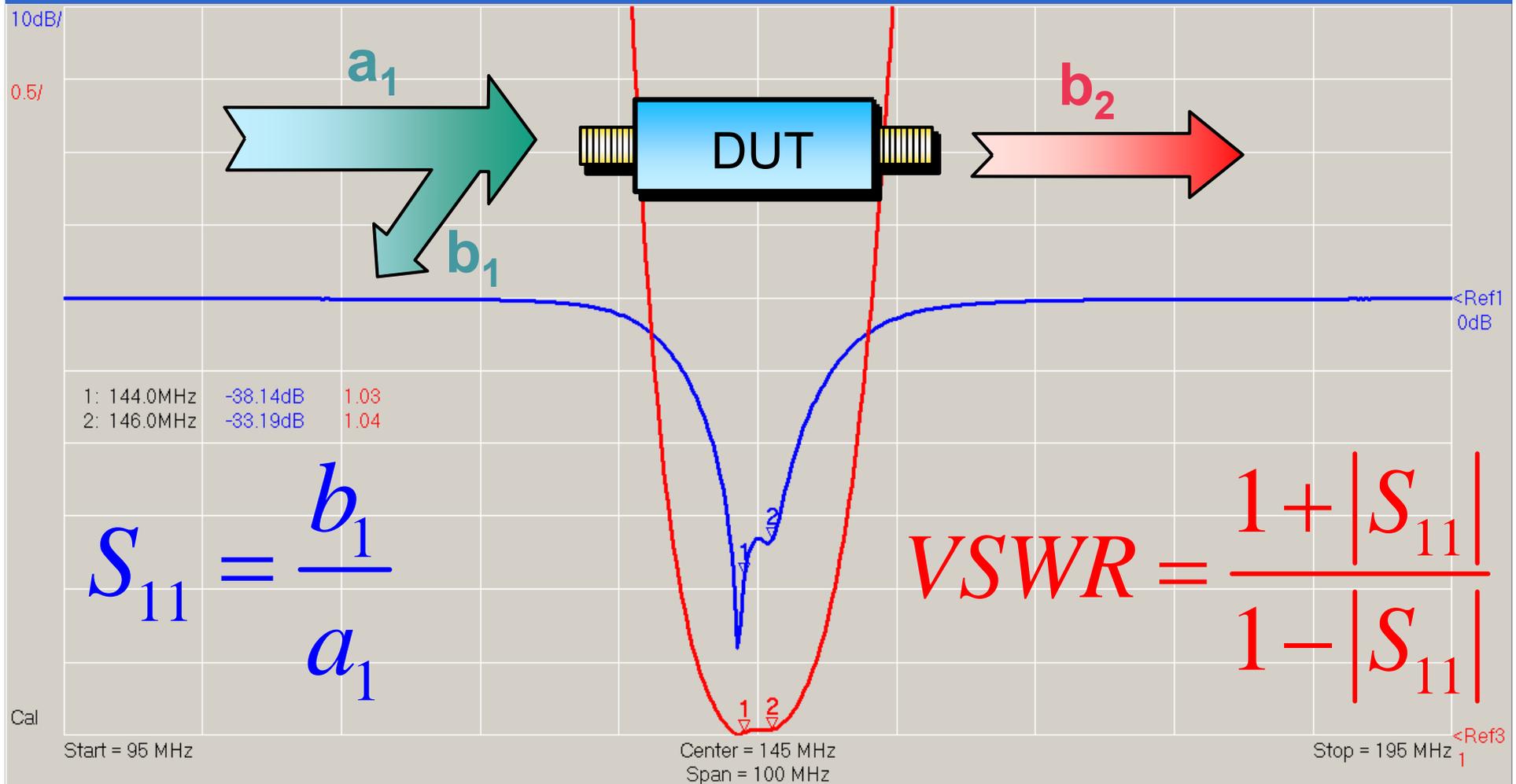


Hochschule Ulm



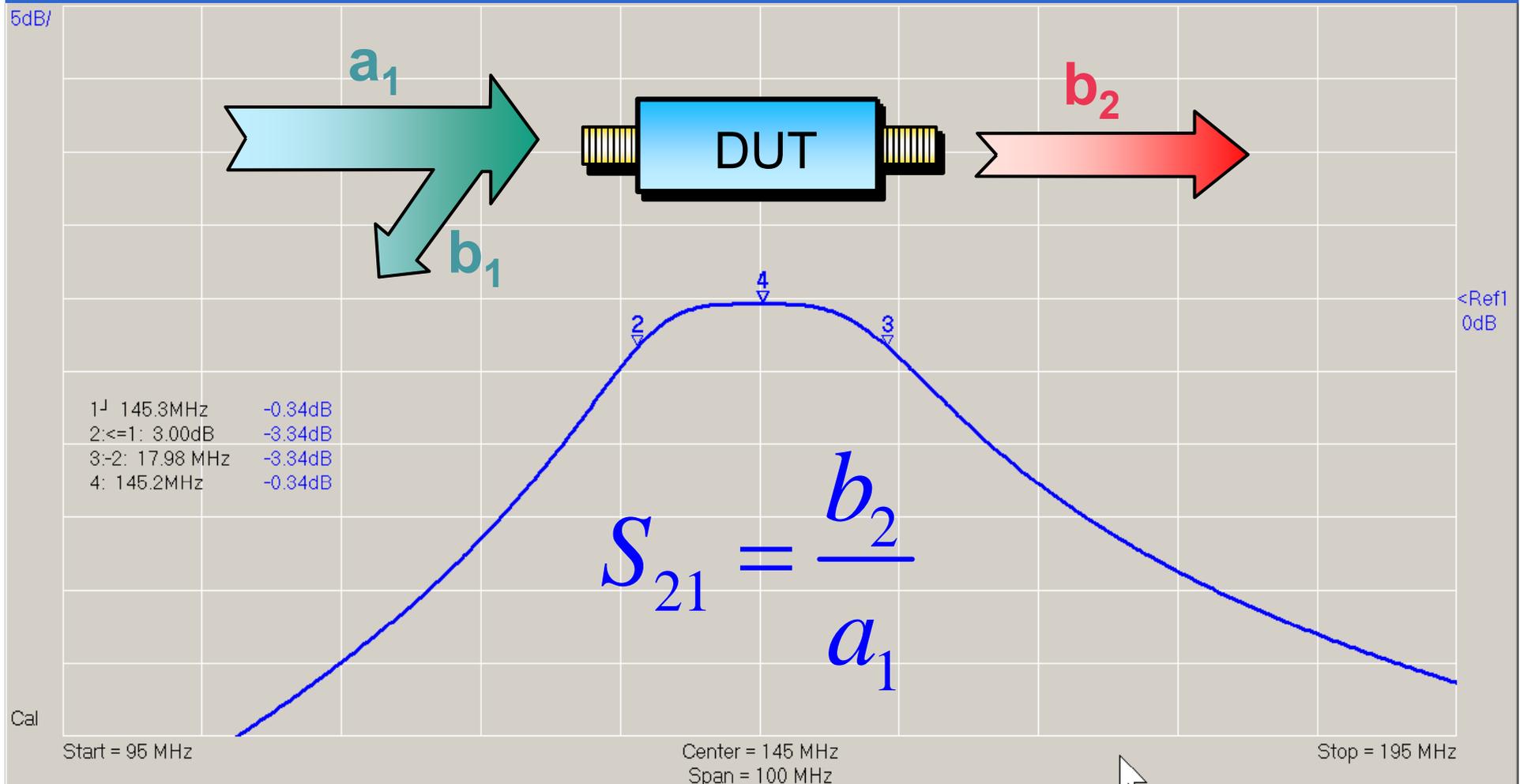
# S-Parameter $S_{11}$ (war bisher S)

→  $|S_{11}|$  → Rückflussdämpfung

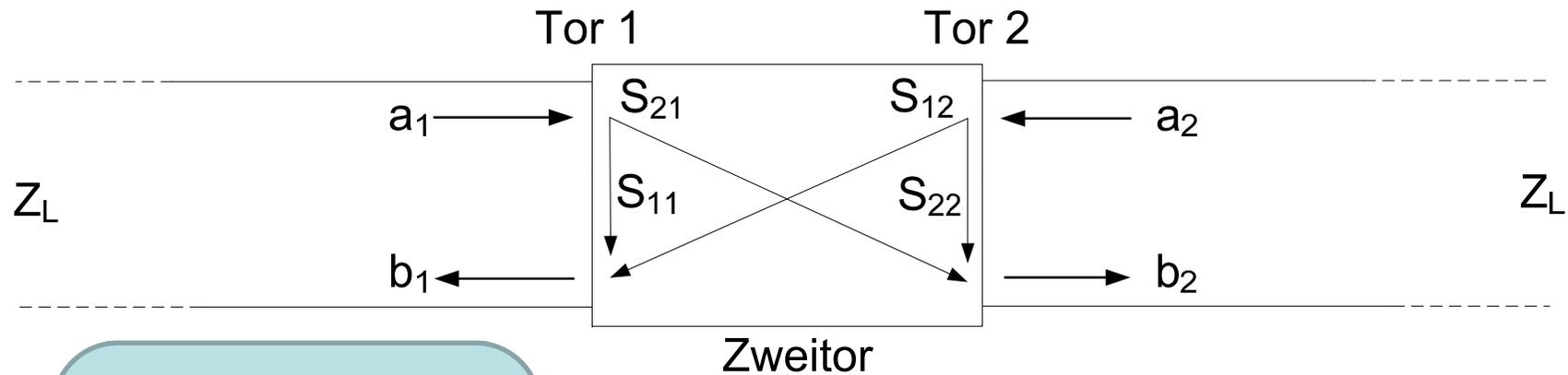


# S-Parameter $S_{21}$

→  $|S_{21}| =$  Durchgangsverstärkung



# Allgemein: S-Parameter $S_{ik}$

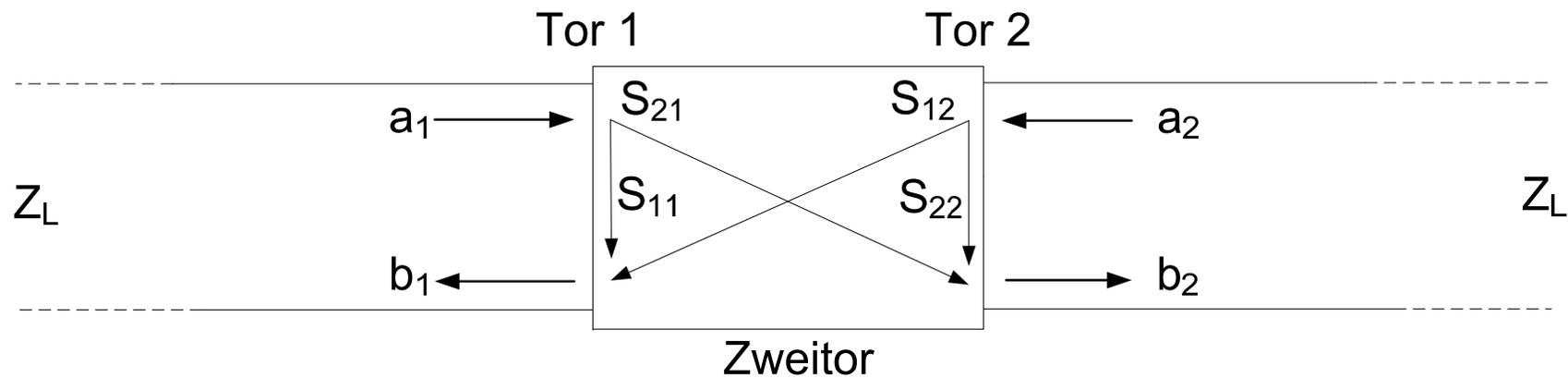


$$S_{ik} = \frac{b_i}{a_k}$$

$i, k = 1 \dots$  Anzahl Tore



# Allgemein: S-Parameter $S_{ik}$



Die Streuparameter  $S_{11}$ ,  $S_{21}$ ,  $S_{12}$ ,  $S_{22}$   
beschreiben das lineare Zweitor vollständig!  
=> nützlich für Simulationen

Hochschule Ulm



# PAUSE ???



# Wie misst man S-Parameter mit einem Vektor-Netzwerkanalysator?

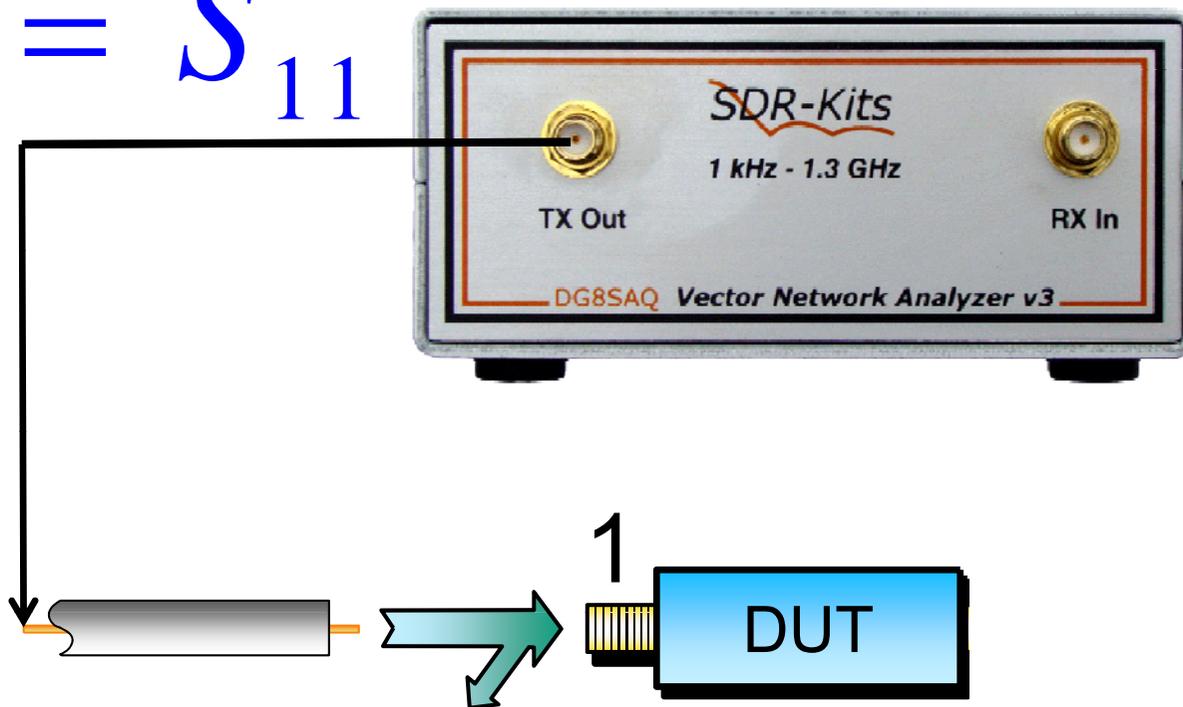
1. Messaufbau mit dem VNWA
2. Fehlerkorrektur durch Kalibration
3. Anwendungsbeispiele



# Messaufbau mit dem VNWA

## Beispiel Eintor:

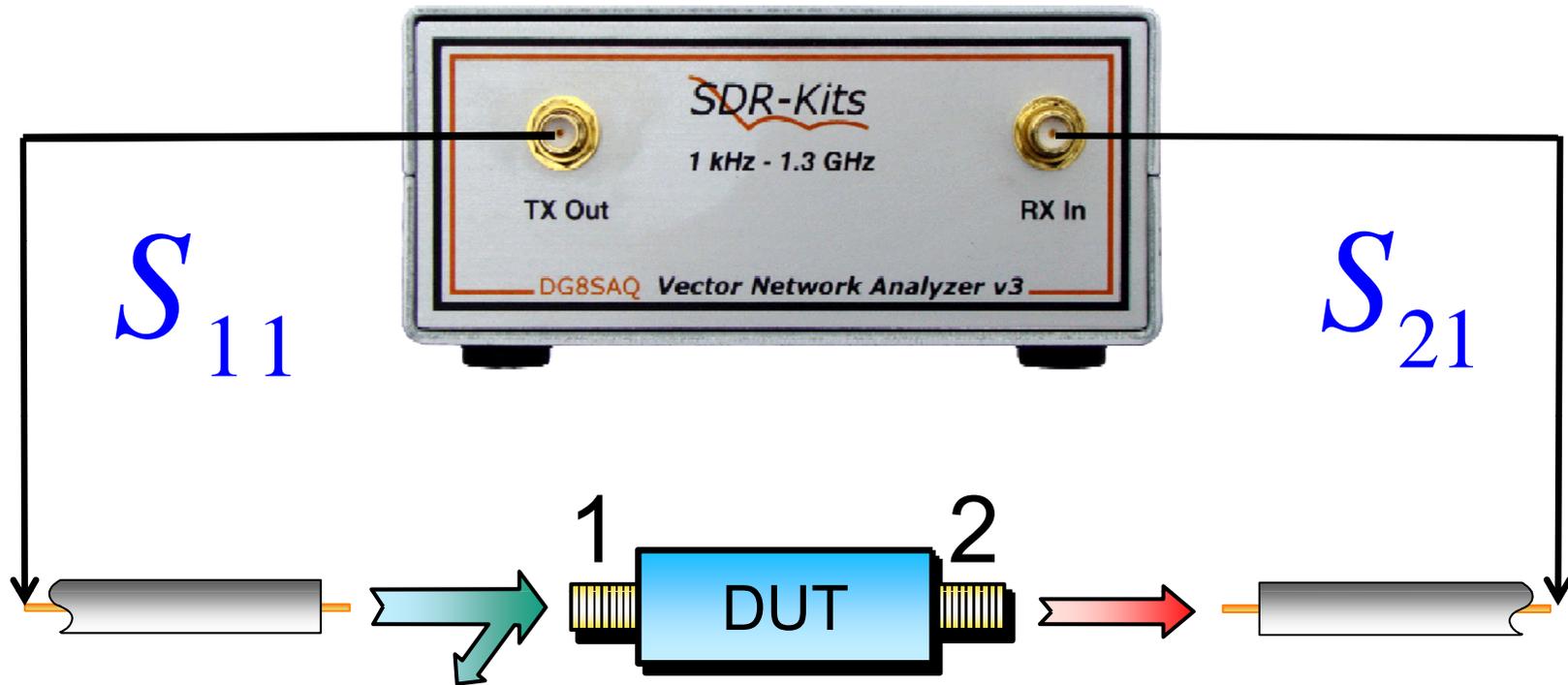
$$S = S_{11}$$



DUT : DEVICE UNDER TEST

# Messaufbau mit dem VNWA

## Beispiel Zweitor vorwärts

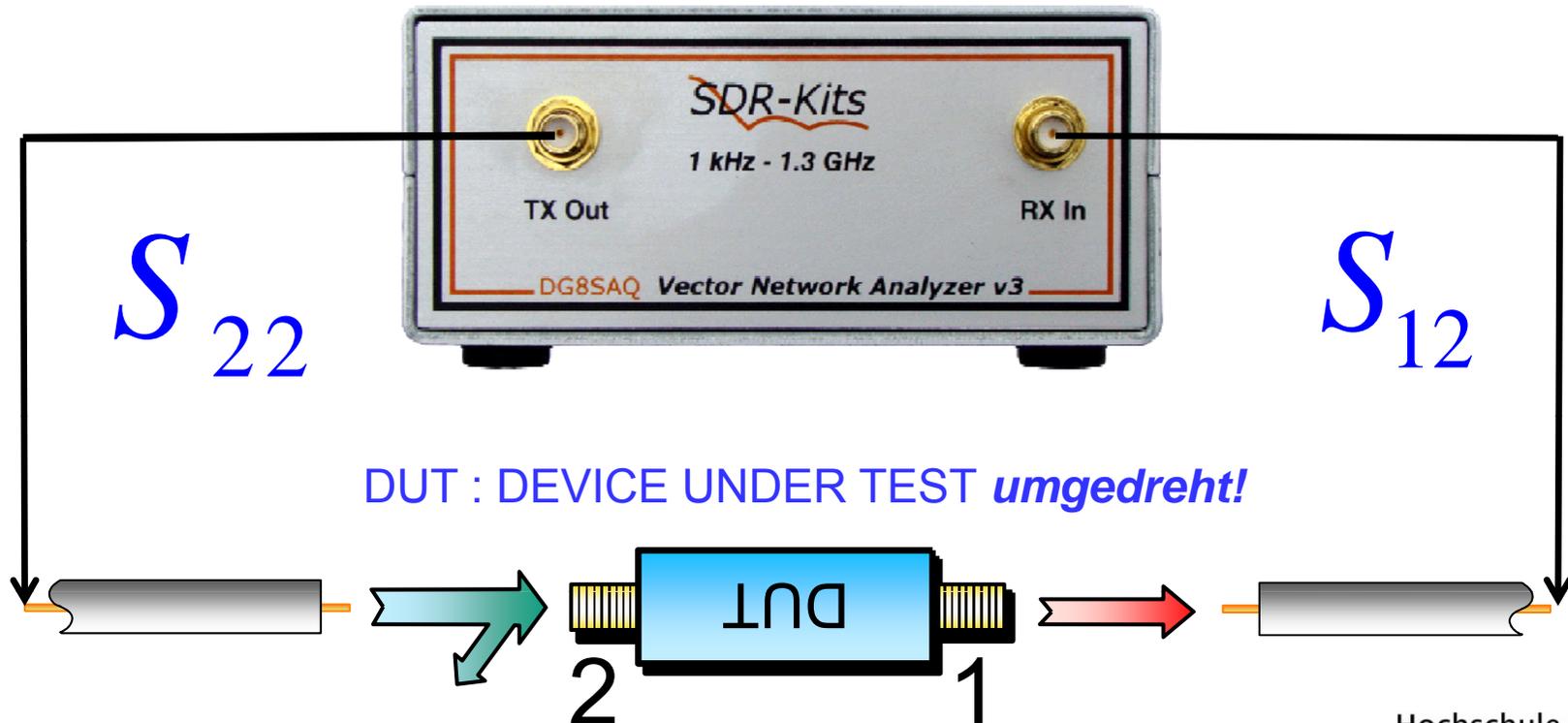


DUT : DEVICE UNDER TEST

Hochschule Ulm



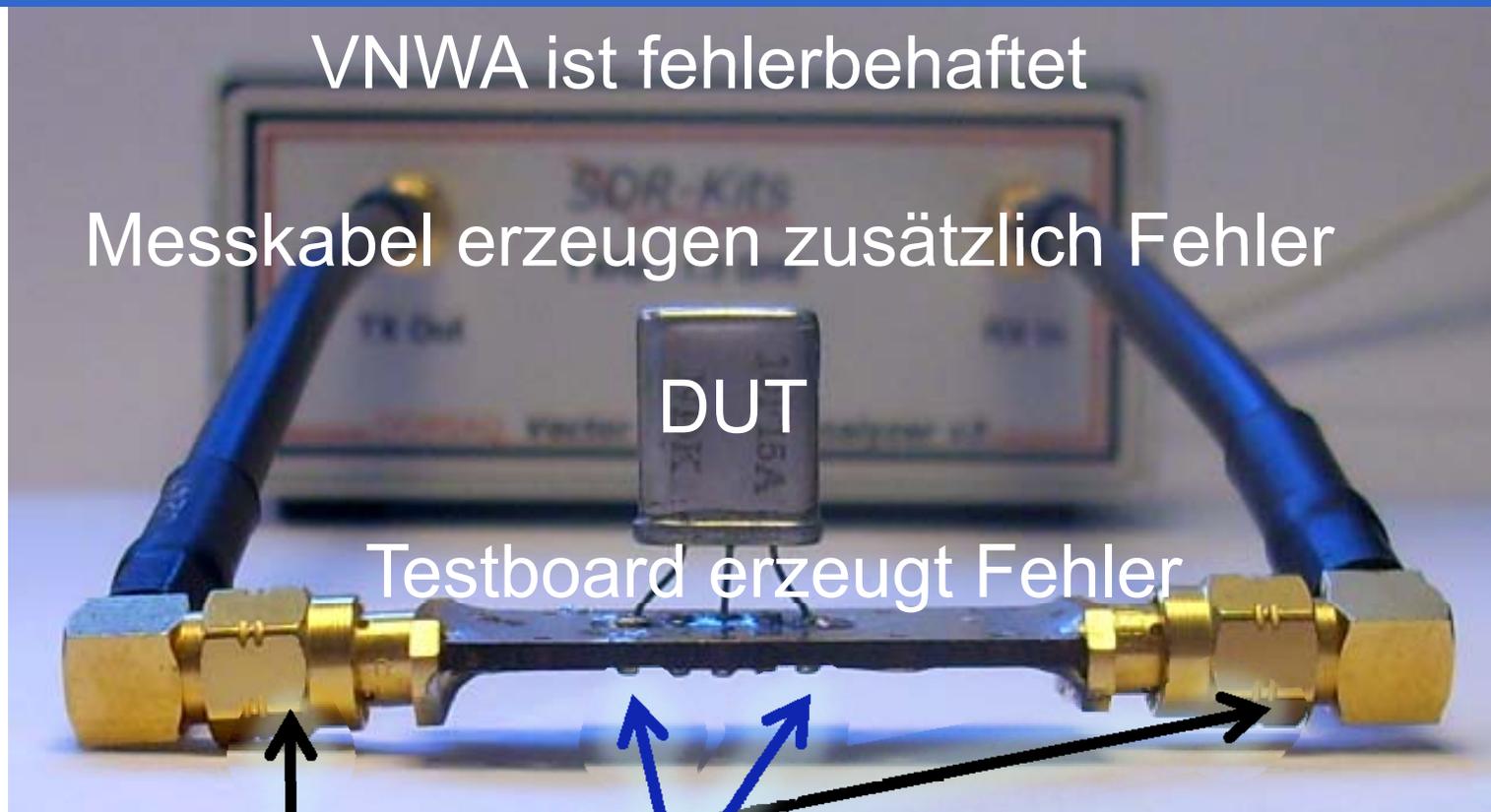
# Messaufbau mit dem VNWA Beispiel Zweitor rückwärts



Hochschule Ulm



# Fehlerkorrektur durch Kalibrierung Fehlerquellen



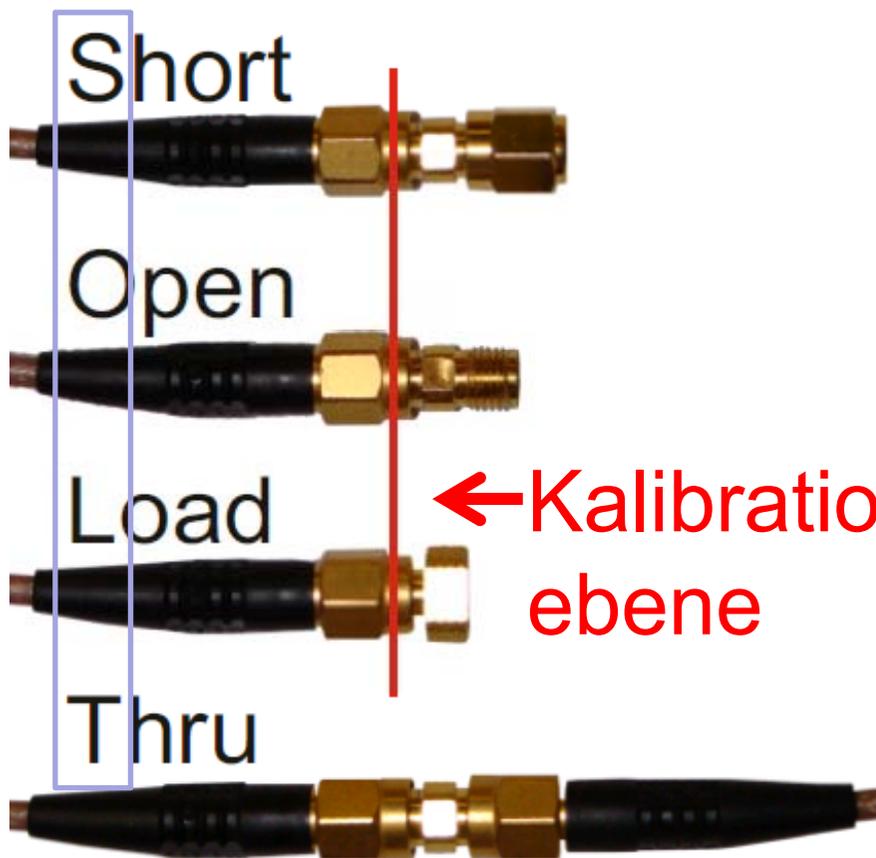
Hier kalibrieren wir.

Hier wollen wir messen

Hochschule Ulm

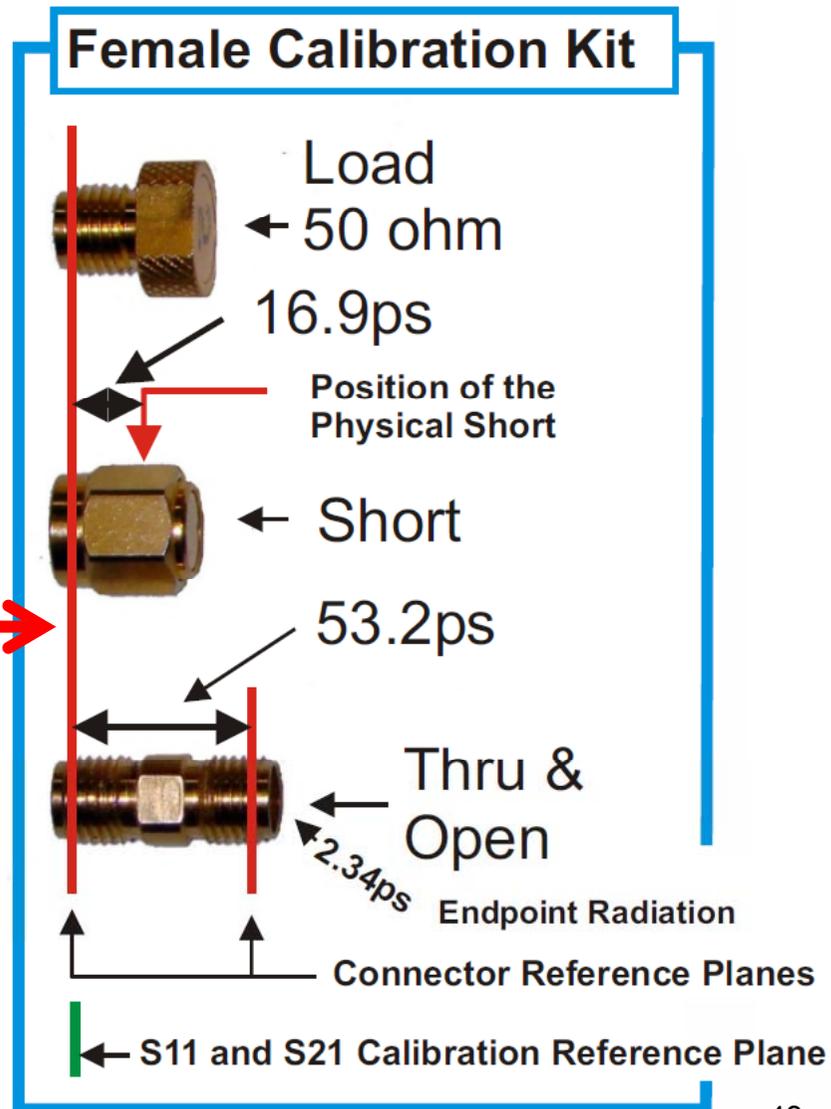


# SOLT-Kalibrierung eliminiert Fehler durch VNWA und Messkabel ...



<http://www.hamcom.dk/VNWA/>

HAM RADIO 2013



... sofern die Eigenschaften der Kalibrationsstandards der Software bekannt sind.

**Calibration Settings**

General Settings | Simple SOLT Model Settings | SOLT Simulation Settings | Special Settings

OSL Calibration Standard Setup

OPEN: Delay =  ps => one way electrical length = -11.665 mm

SHORT: Delay =  ps => one way electrical length = -14.721 mm

LOAD: R =  Ohms C || =  fF

Note: The Delays above are correction values, i.e. the NEGATIVE of the delays of the standards!

THRU Calibration Standard Setup

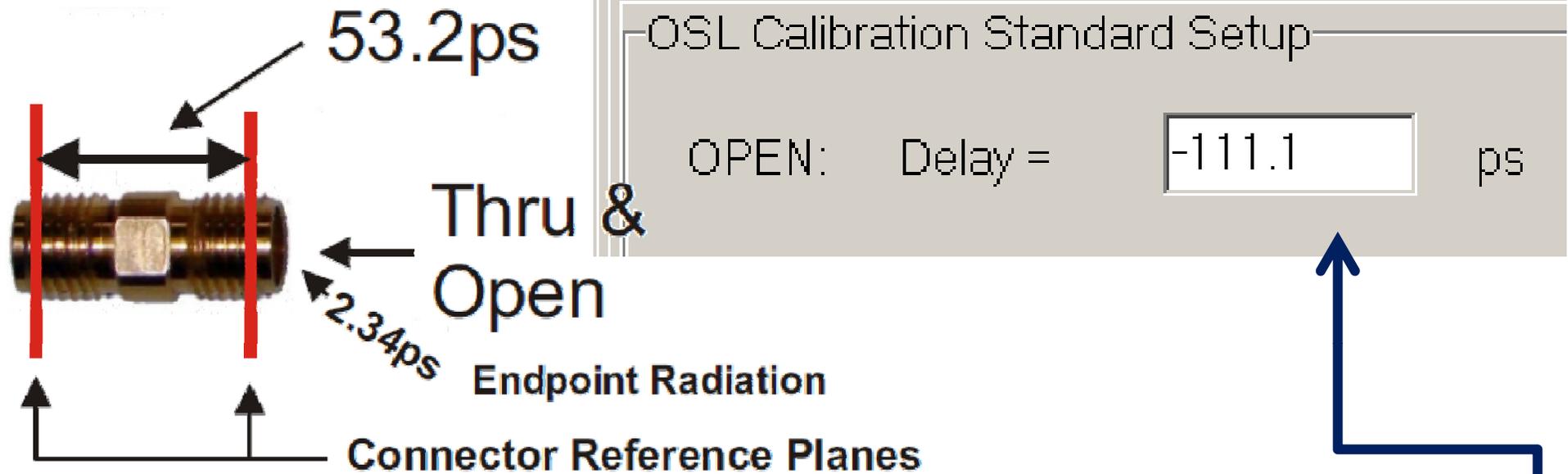
THRU: Transmission Factor =  => attenuation = 0.000 dB

THRU: Transmission Delay =  ps => electrical length = 11.172 mm

HAM RADIO 2013



# Beispiel Open-Standard



Von Kalibrationsebene durchläuft Signal den Open-Standard hin und zurück, also zweimal:

$$\tau = -2 \times (53,2 \text{ ps} + 2,34 \text{ ps}) = -111.08 \text{ ps}$$



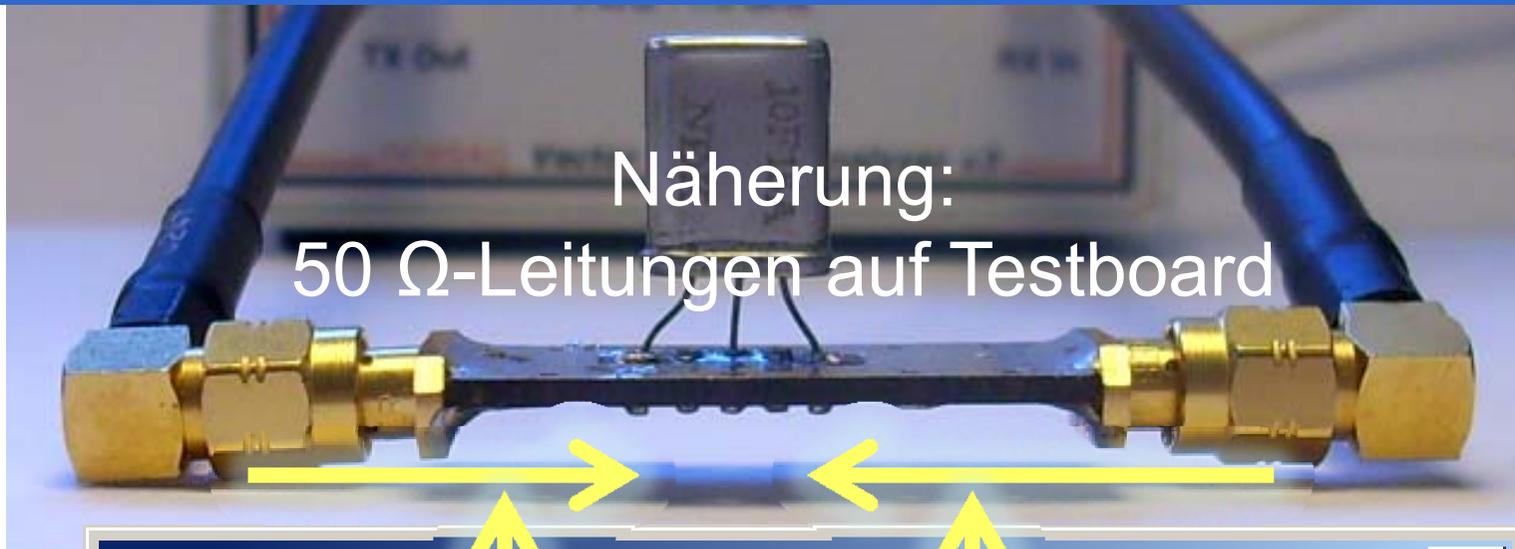
# Jetzt Standards an VNWA anschließen und kalibrieren

The screenshot shows the 'Full Calibration' window with the following elements and annotations:

- Window Title:** Full Calibration
- Annotations:**
  - A blue box labeled "notwendig für" (necessary for) is positioned above the "S<sub>11</sub>, S<sub>22</sub>" and "S<sub>21</sub>, S<sub>12</sub>" labels.
  - A blue box labeled "S<sub>11</sub>, S<sub>22</sub>" is placed over the Reflect Cal section.
  - A blue box labeled "S<sub>21</sub>, S<sub>12</sub>" is placed over the Thru Calibrations section.
  - A red circle with an arrow points from the "Crosstalk Cal" button to the "Thru Match Cal" button.
  - Vertical text on the right side reads "entfällt normalerweise" (omitted normally).
- Reflect Cal Section:** Includes buttons for Short, Open, Load, and a Cal checkbox (checked).
- Thru Calibrations Section:** Includes buttons for Crosstalk Cal, Thru Cal, Thru Match Cal, and an Invalidate All Thru Calibrations button. Each button has a green 'M' icon.
- Checkboxes:** "on / off" checkboxes are present for Crosstalk Cal, Thru Cal, and Thru Match Cal.

UIm

# Laufzeitkorrektur Kalibrationsebene nach Messebene mit Port Extensions



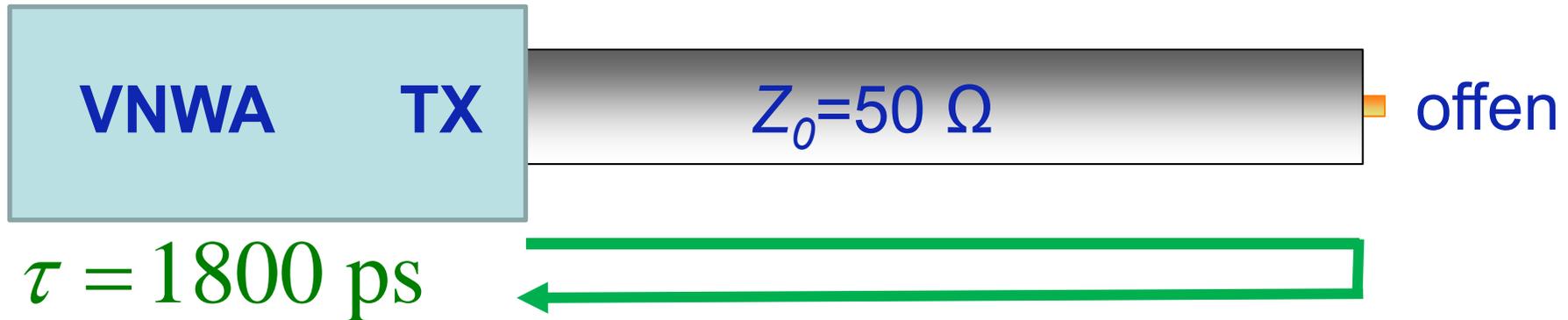
$S_{11}$   
 $S_{22}$

**Port Extensions** [X]

Ext. Port 1	<input type="text" value="105"/>	ps <input type="button" value="v"/>	= 22 mm
Ext. Port 2	<input type="text" value="132"/>	ps	= 27.7 mm
Velocity Factor:	<input type="text" value="0.7"/>	<input checked="" type="checkbox"/> Port Ext. ON	

# Effekt falscher Cal Parameter: Port Mismatch

## Beispiel offene 50 Ohm – Leitung (1)



Calibration Settings **Können wir simulieren:**

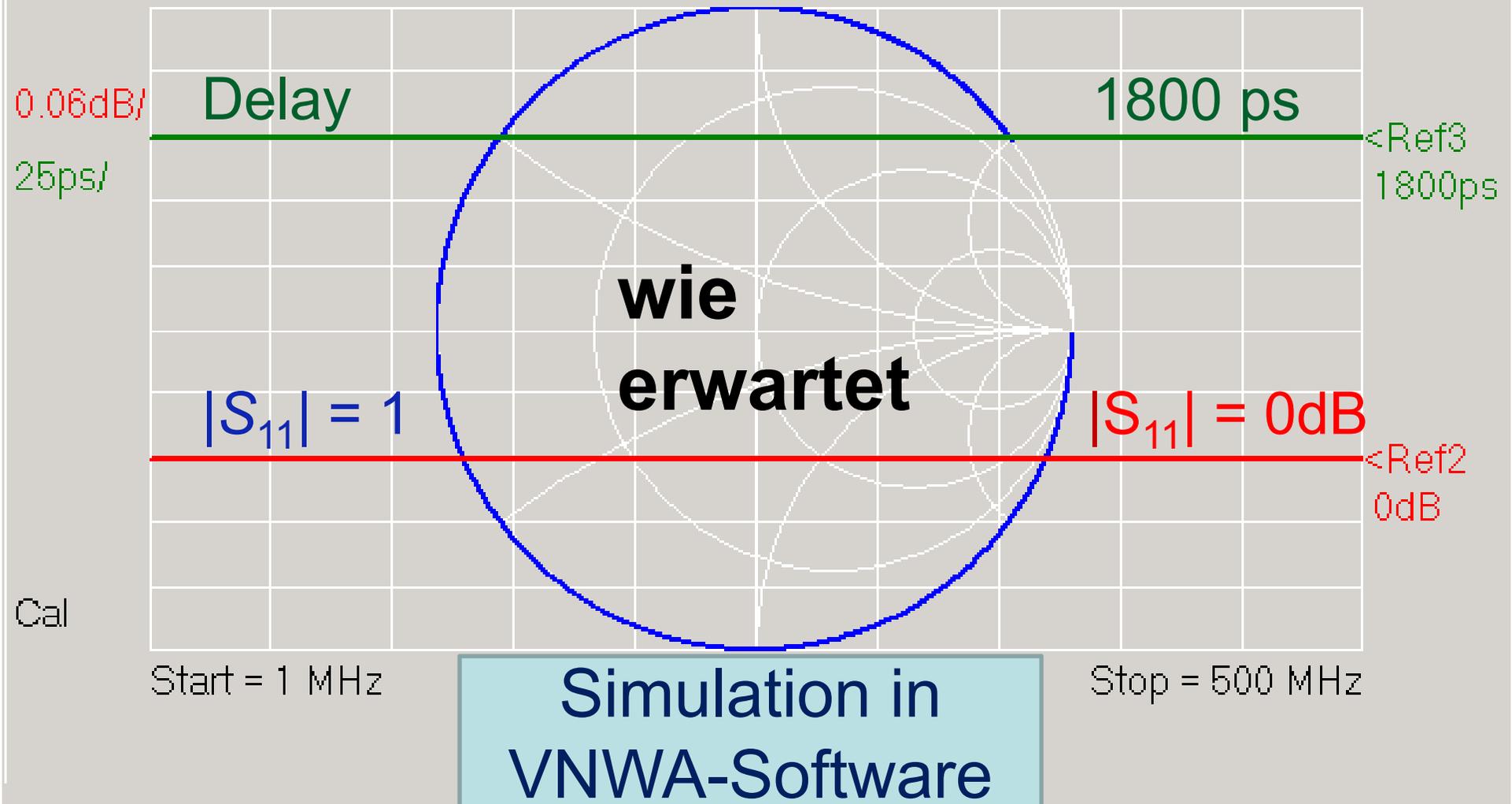
SOLT Simulation Settings | Special Settings **Measurement Simulation**

S11 = **exp(-j\*w\*1800e-12)**

d.h.  $|S_{11}| = 1$  alles wird reflektiert  
 $\text{Phase}(S_{11}) = -\omega \cdot 1800 \text{ ps}$

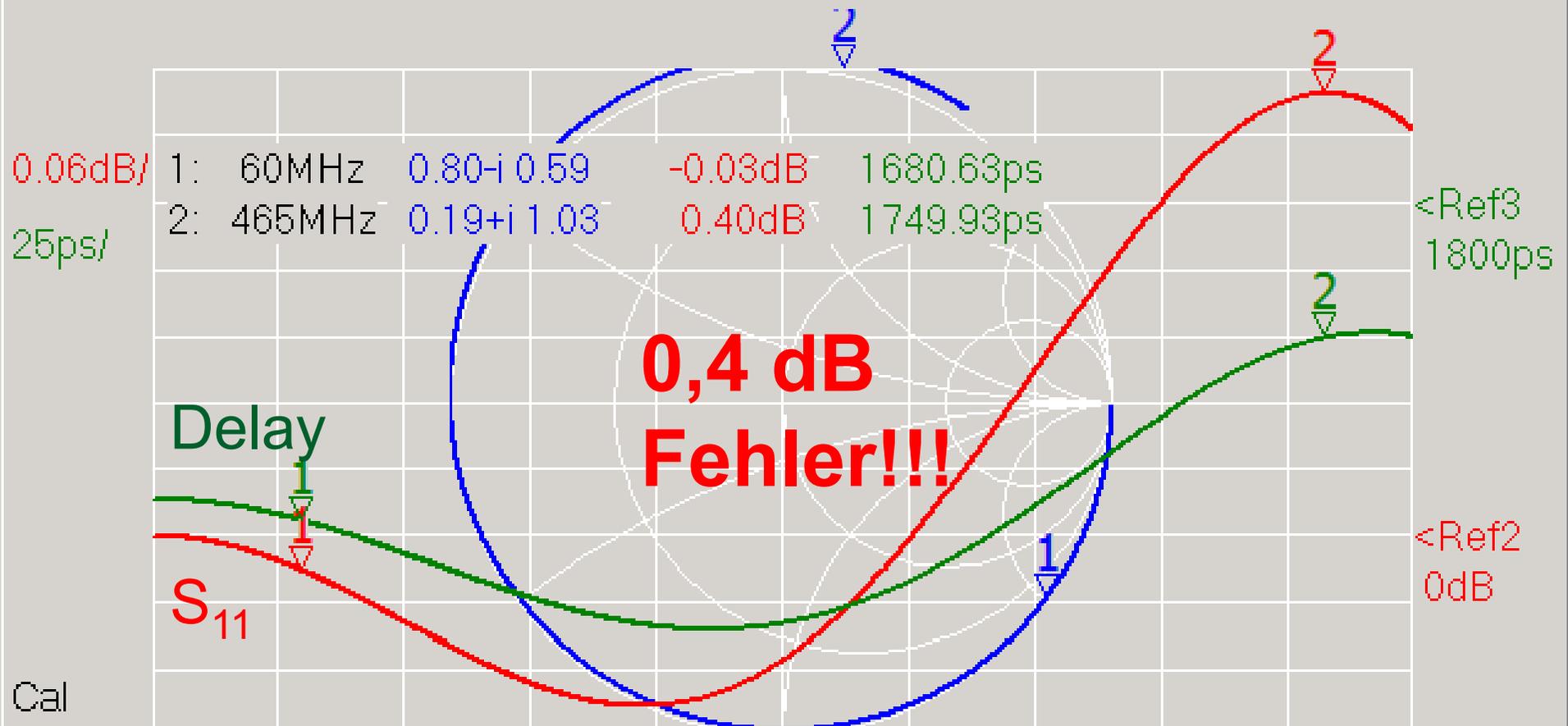
# Beispiel offene 50 Ohm – Leitung (2)

## Mit Amphenol Female Parametern simuliert



HAM RADIO 2013 simulate 2-port measurement and do 12 term correction

# Beispiel offene 50 Ohm – Leitung (3) Umschalten auf ideale Cal Parameter

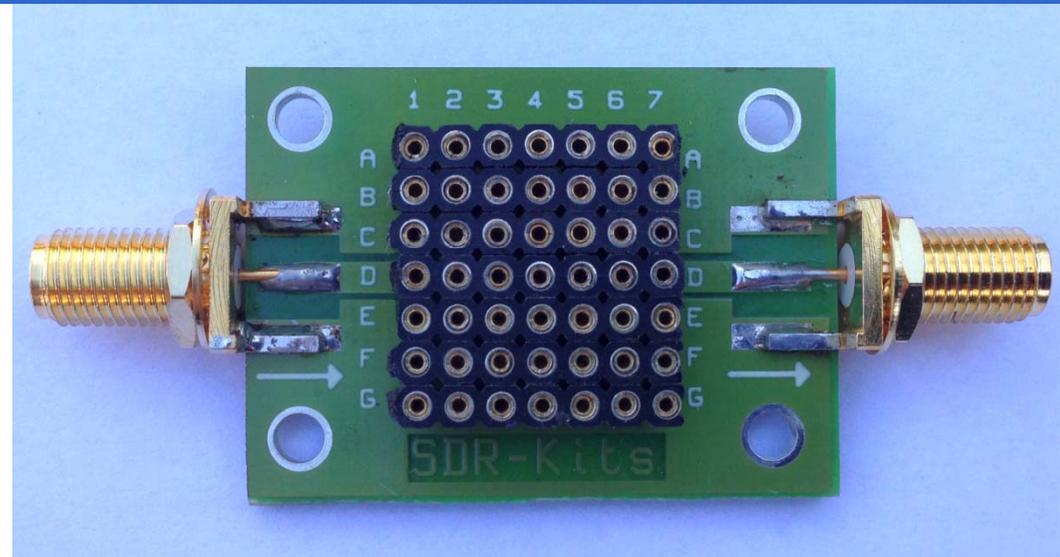
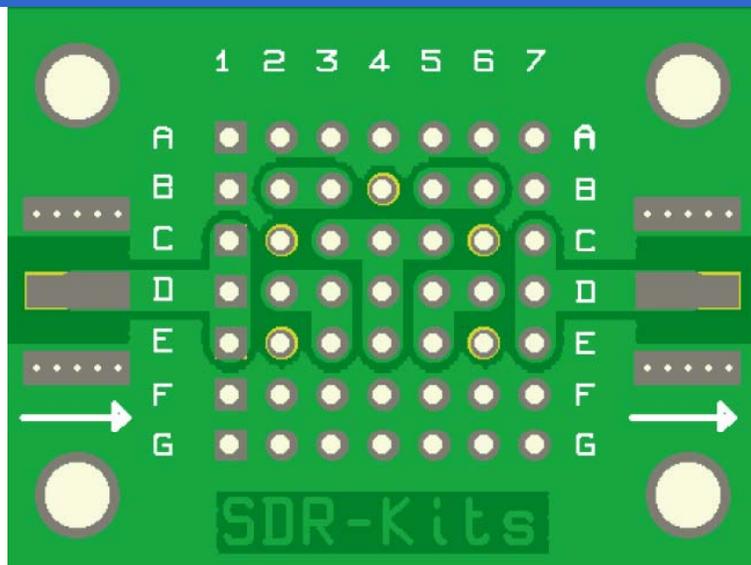


Zuvor simulierte Messdaten erneut fehlerkorrigiert  
mit geänderten Cal-Parametern

# Anwendungsbeispiele ...



# Testboard für Experimente im KW-Bereich



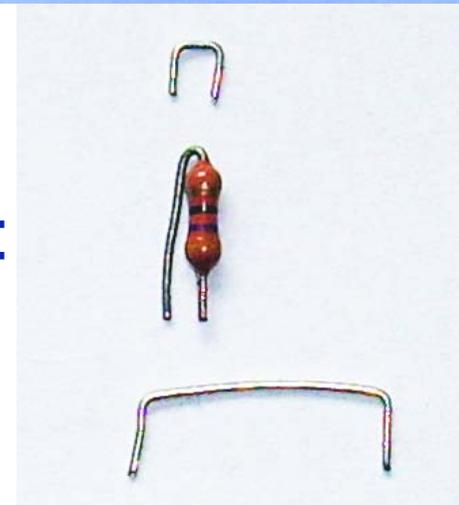
**Kalibrations-  
standards:**

Open = n.c.

Short:

Load =  $47\Omega$ :

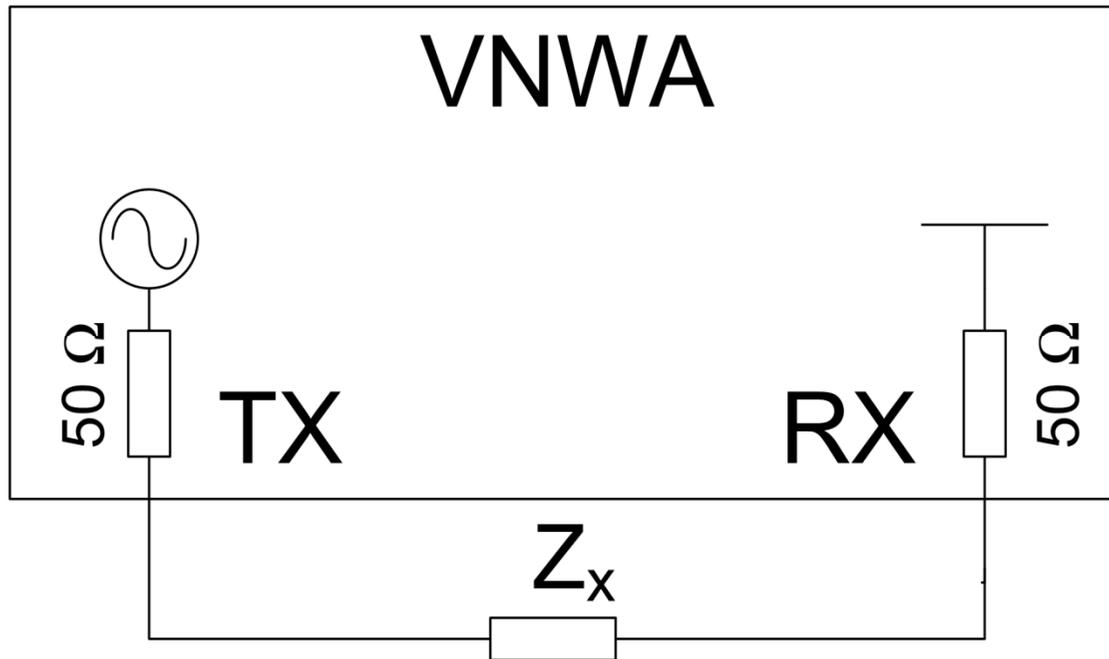
Thru:



Hochschule Ulm



# Vermessung des „Load“-Widerstands ohne SOL-Kalibrierung?

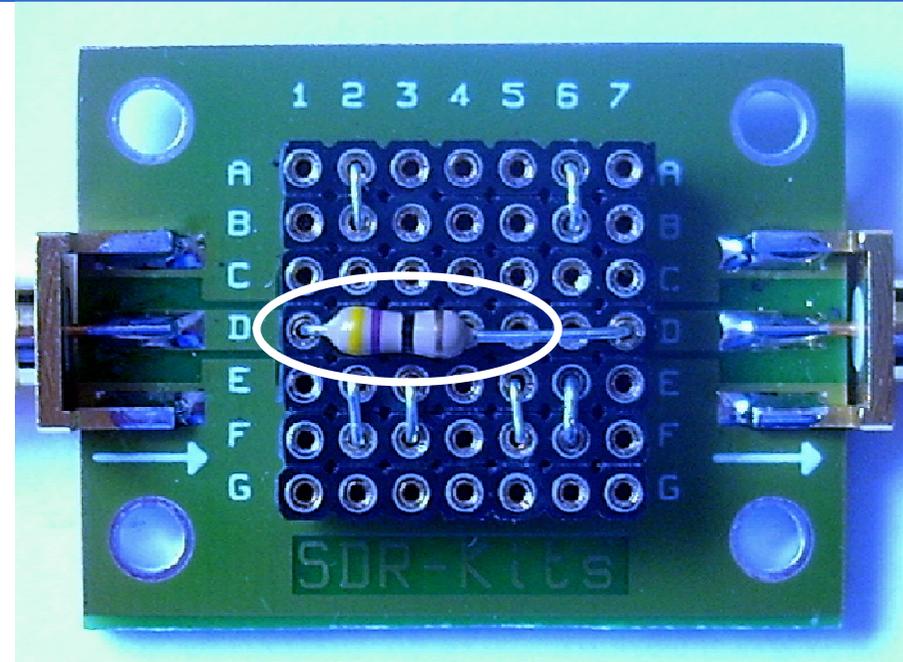
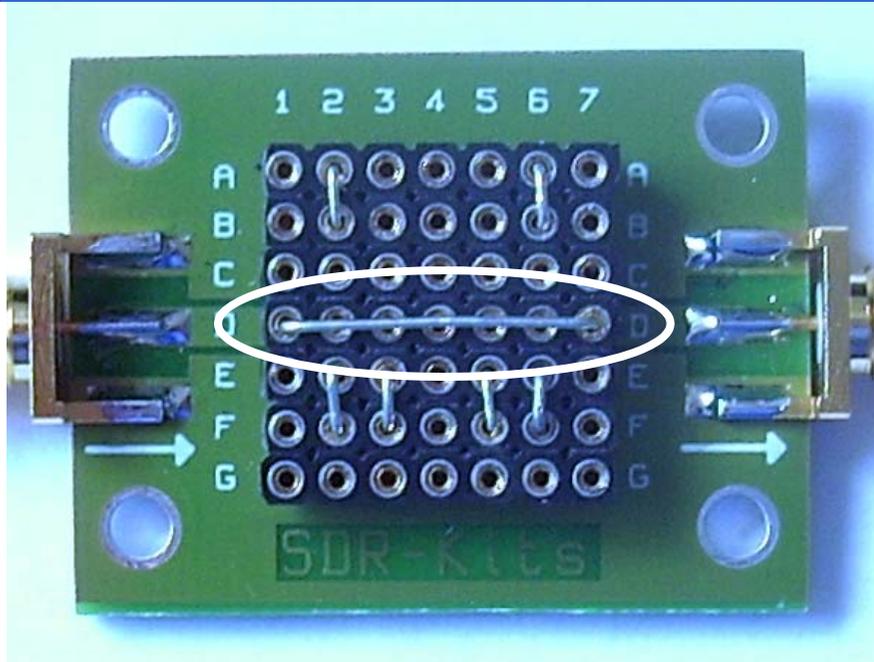


$Z_x = 47 \Omega$  erzeugen ca. 3,4 dB Einfügedämpfung.

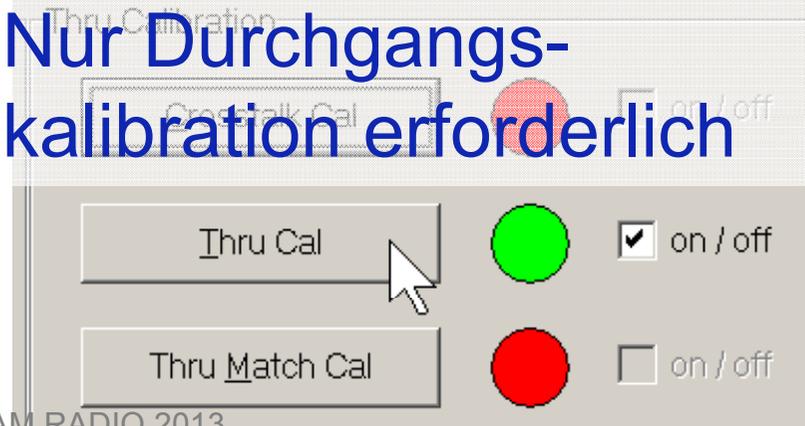
Funktioniert, weil VNWA TX und RX Impedanzen sehr genau  $50 \Omega$ .

➤ nur Thru-Kalibration erforderlich!

# Vermessung des „Load“-Widerstands in Transmission (=S<sub>21</sub>-Messung)



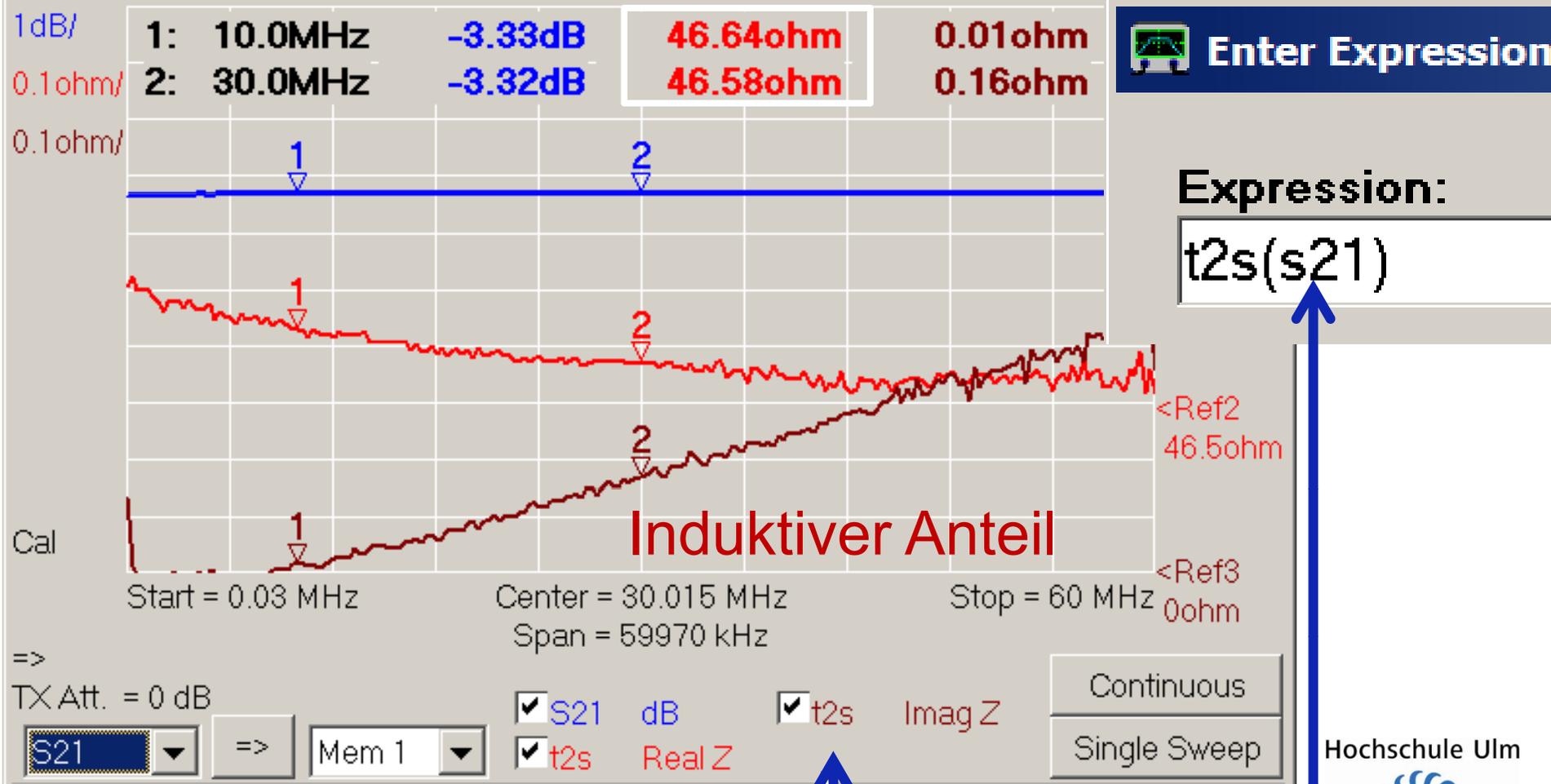
Nur Durchgangskalibration erforderlich



**Messung:**  
Widerstand zwischen  
TX und RX

# Vermessung des „Load“-Widerstands

## Ergebnis = 46,6 $\Omega$

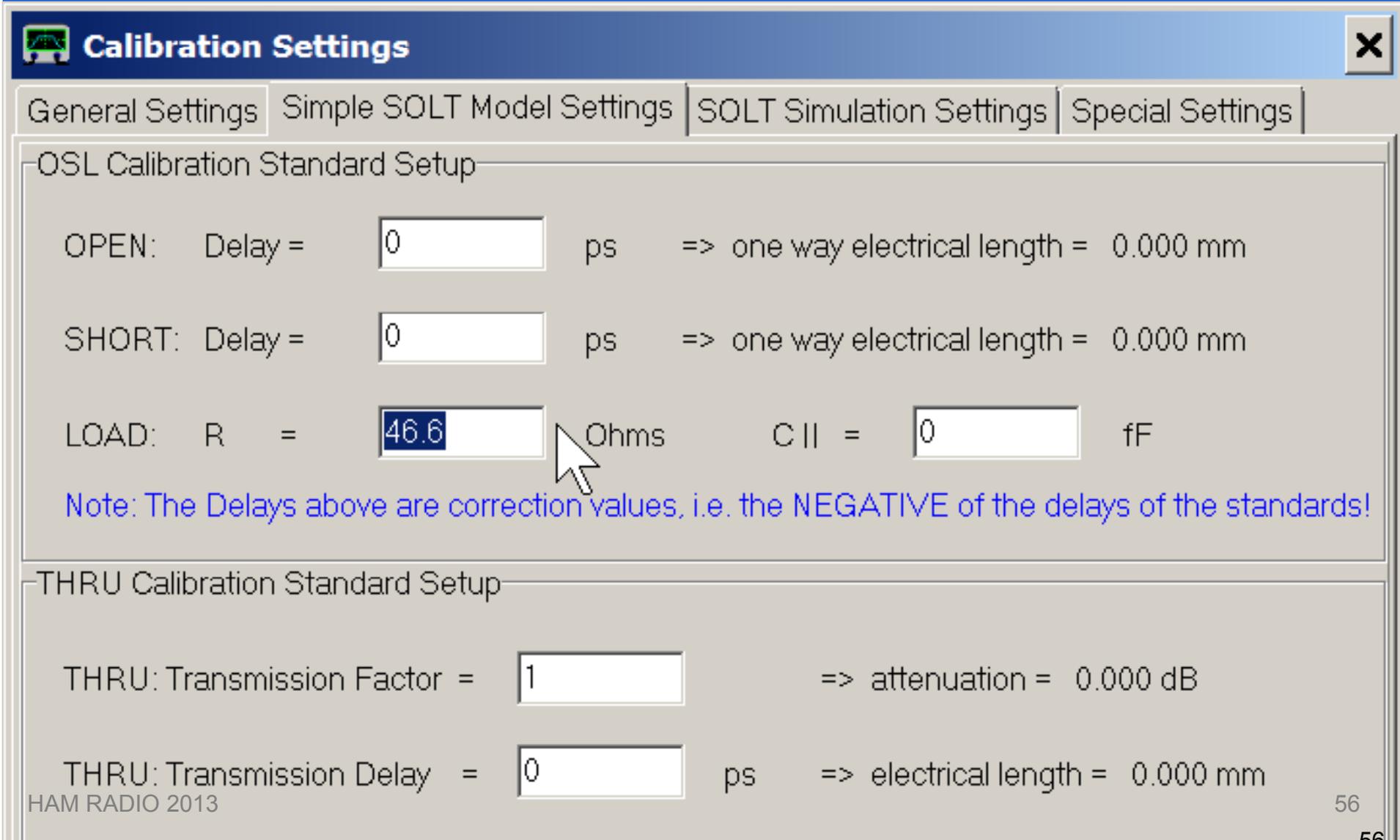


Auswertung mit Custom Trace

Hochschule Ulm



# Einfaches Kalibrationsstandardmodell: Nur gemessener Load-Widerstand



The screenshot shows a software window titled "Calibration Settings" with a close button (X) in the top right corner. The window has four tabs: "General Settings", "Simple SOLT Model Settings", "SOLT Simulation Settings", and "Special Settings". The "Simple SOLT Model Settings" tab is active. The window is divided into two main sections: "OSL Calibration Standard Setup" and "THRU Calibration Standard Setup".

**OSL Calibration Standard Setup**

OPEN: Delay =  ps => one way electrical length = 0.000 mm

SHORT: Delay =  ps => one way electrical length = 0.000 mm

LOAD: R =  Ohms C || =  fF

Note: The Delays above are correction values, i.e. the NEGATIVE of the delays of the standards!

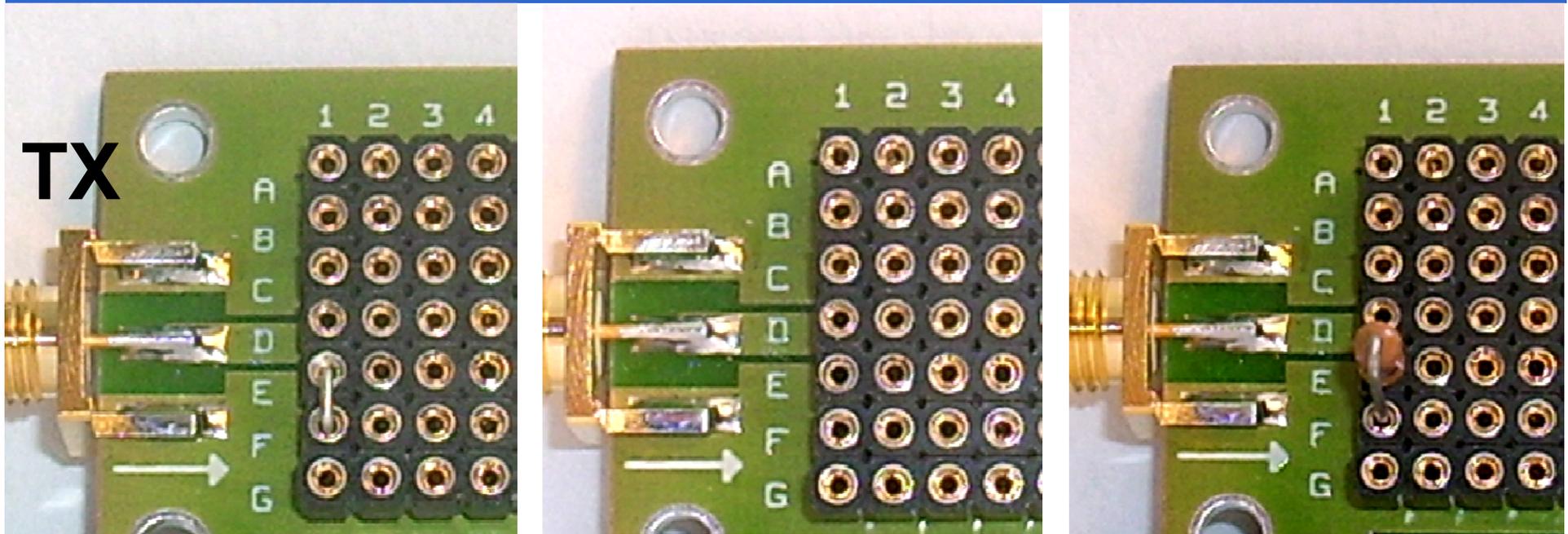
**THRU Calibration Standard Setup**

THRU: Transmission Factor =  => attenuation = 0.000 dB

THRU: Transmission Delay =  ps => electrical length = 0.000 mm

HAM RADIO 2013

# SOL-Kalibration für $S_{11}$ -Messung



Reflect Calibration

**Short** 

Short

Open 

Load 

HAMRAD  2013/off 

Thru Calibration

**Open** 

Crosstalk Cal on / off

Thru Cal  on / off

Thru Match Cal  on / off

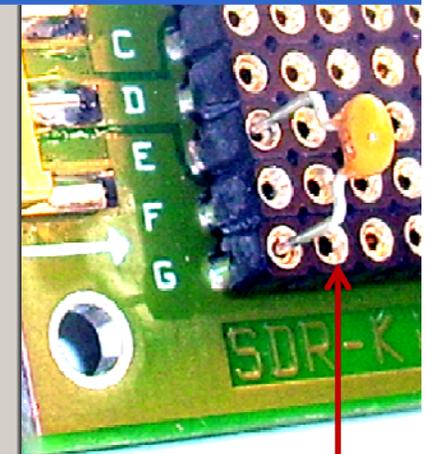
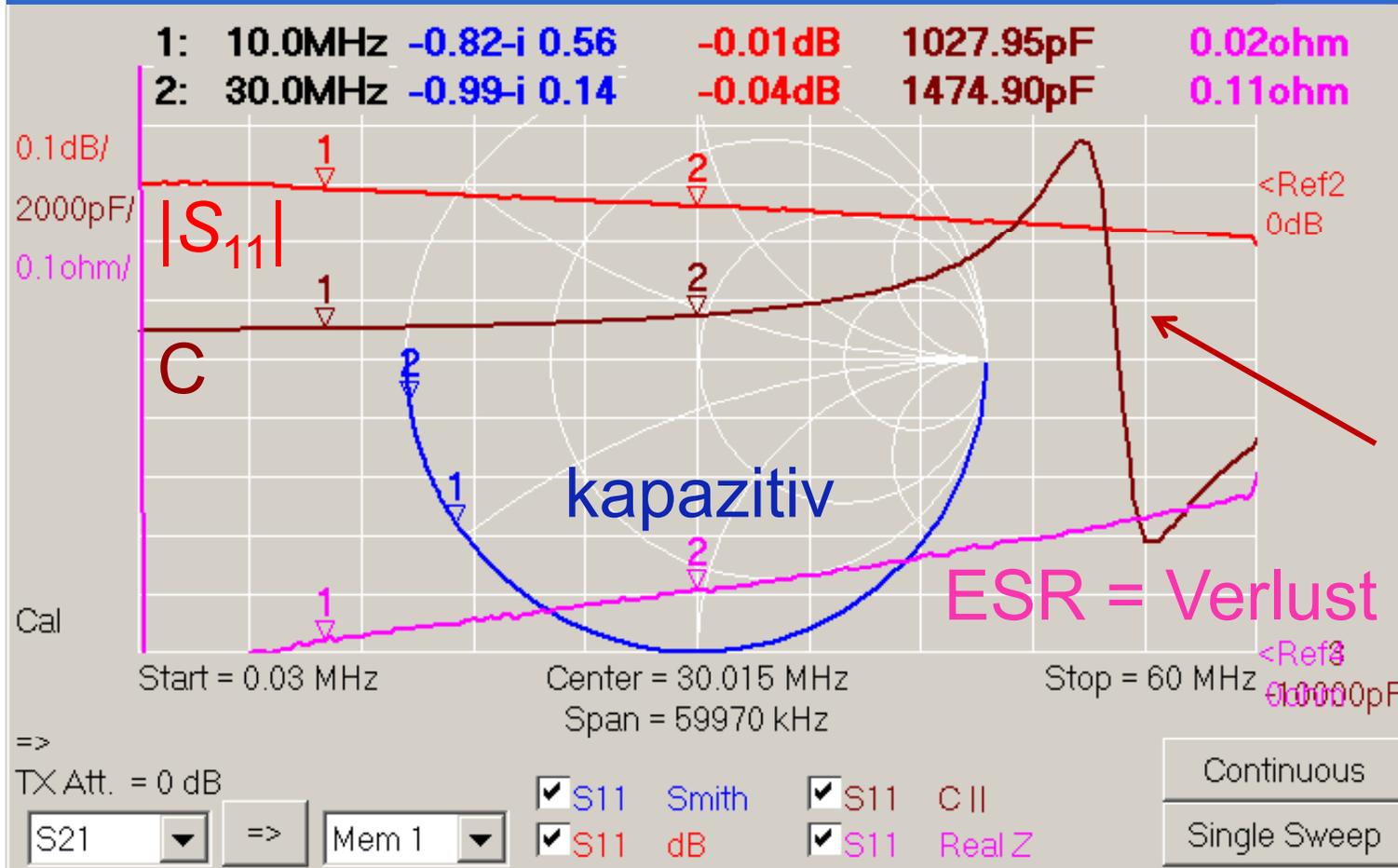
Invalidate All Thru Calibrations

**Load**

Hochschule Ulm



# Reflexionsmessung ( $S_{11}$ ) an einem 1 nF Kondensator



Resonanz durch Anschlussdrähte

Kondensator reflektiert fast alles,  $|S_{11}| \approx 0$  dB



# Modellierung der Messung in VNWA mit Hilfe einer Custom-Trace

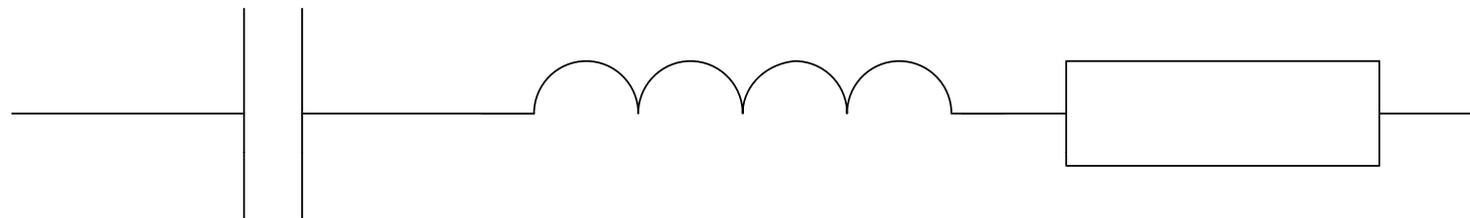


Enter Expression 2 for trace 2:

Expression.

Reflexionsfaktor aus Impedanz

$z2s(1/(j*w*0.984e-9)+j*w*9.3e-9+0.22)$



0,984 nF

9,3 nH

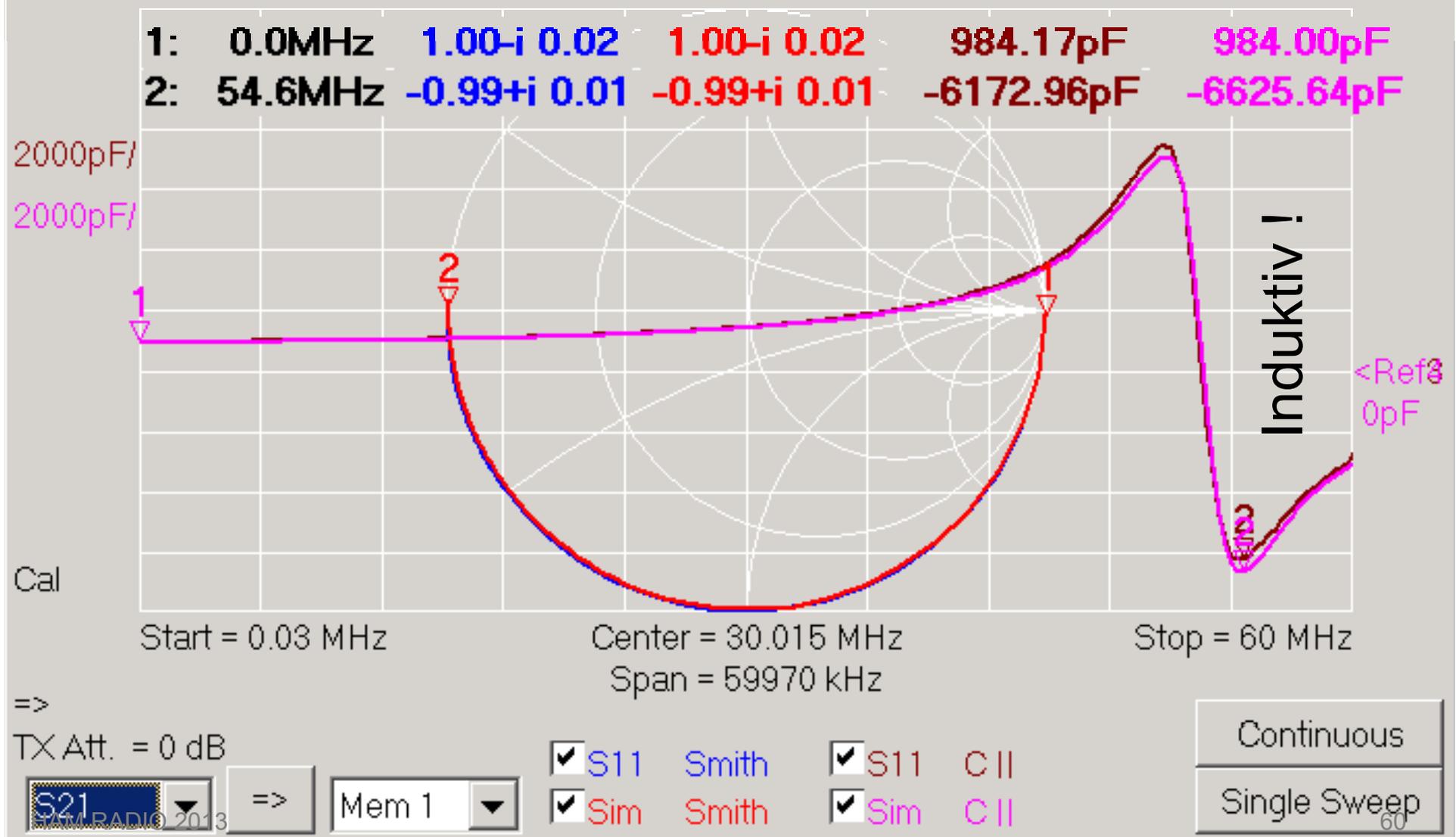
0,22  $\Omega$

Hochschule Ulm



einfaches Modell

# Das Modell stimmt ziemlich genau!

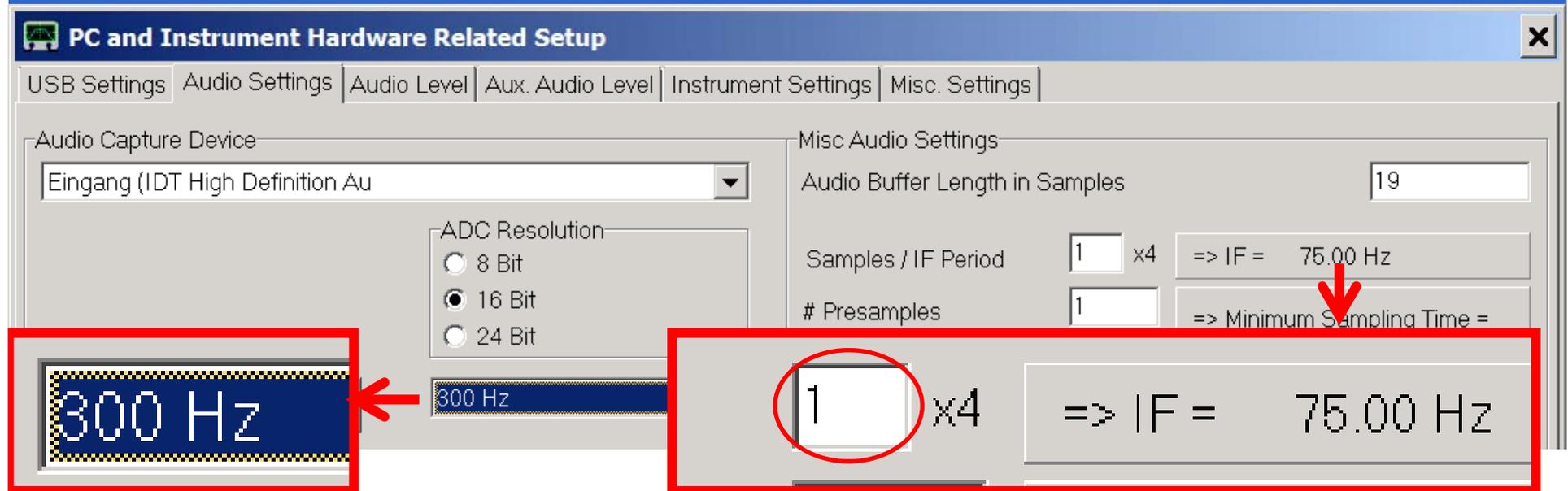


# Zweitormessung an einem 12 kHz Bandpassfilter

- S-Parameter funktionieren auch bei niedrigen Frequenzen.
- Der VNWA auch!



# Spezielle VNWA Einstellungen für niedrige Frequenzen



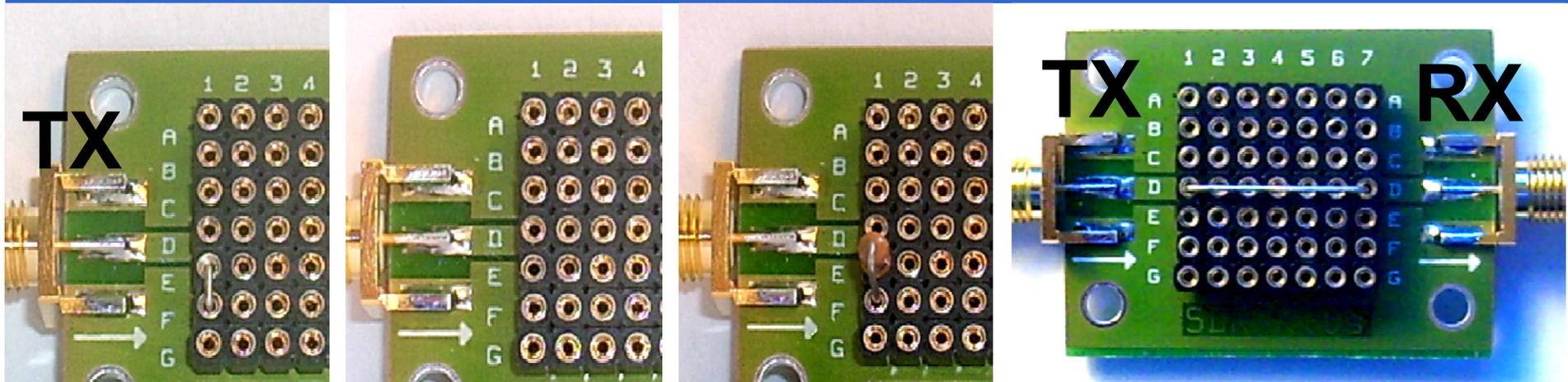
**Minimal 300 Hz Abtastrate**  
→ Nyquistgrenze 150 Hz  
→ Man kann bis ca.  
**150 Hz herunter messen**

**IF muss im Durchlassbereich des Codecs liegen (20 Hz...16kHz)**

Hochschule Ulm

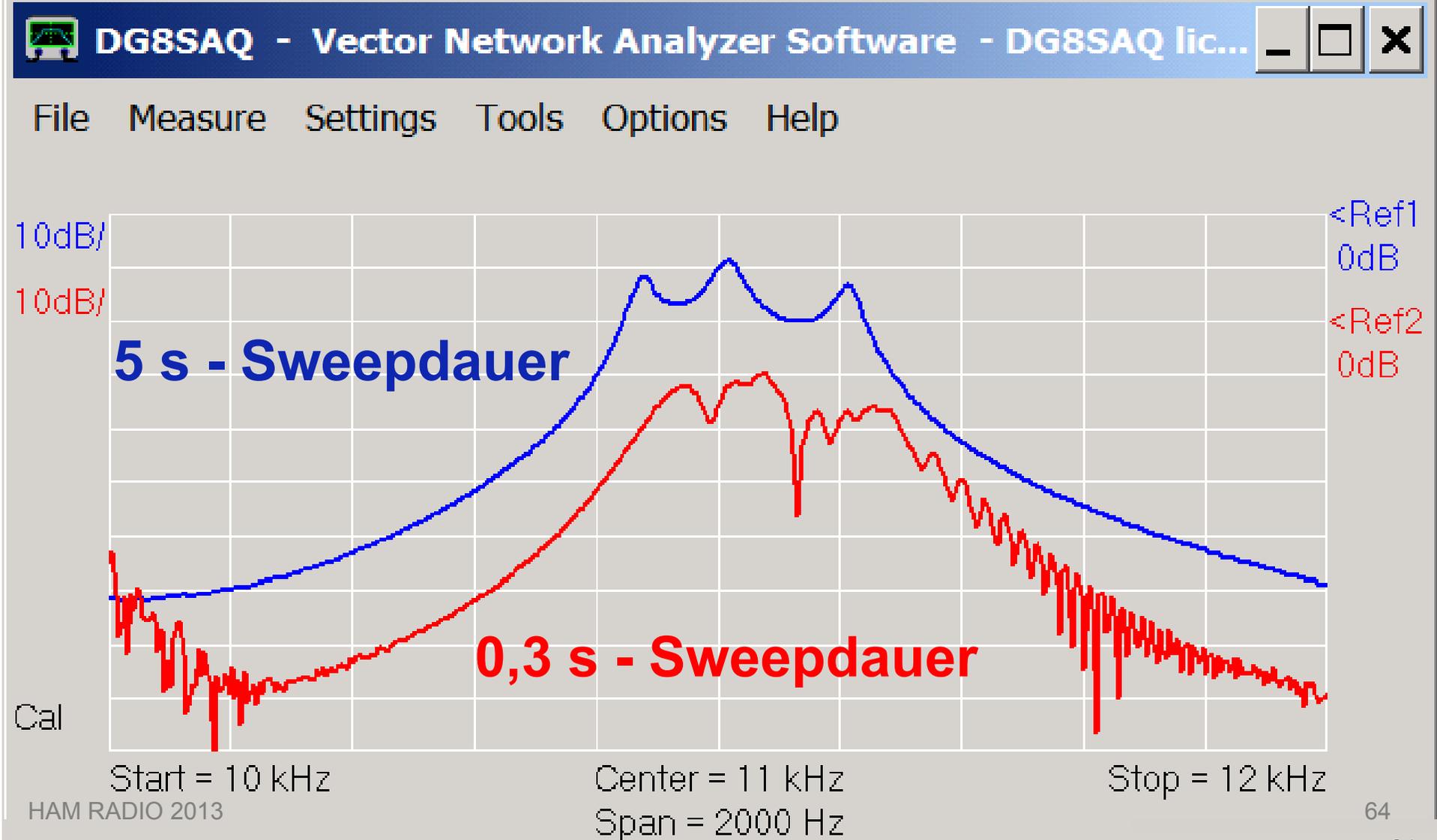


# SOLT-Kalibration für Zweitor-Messung

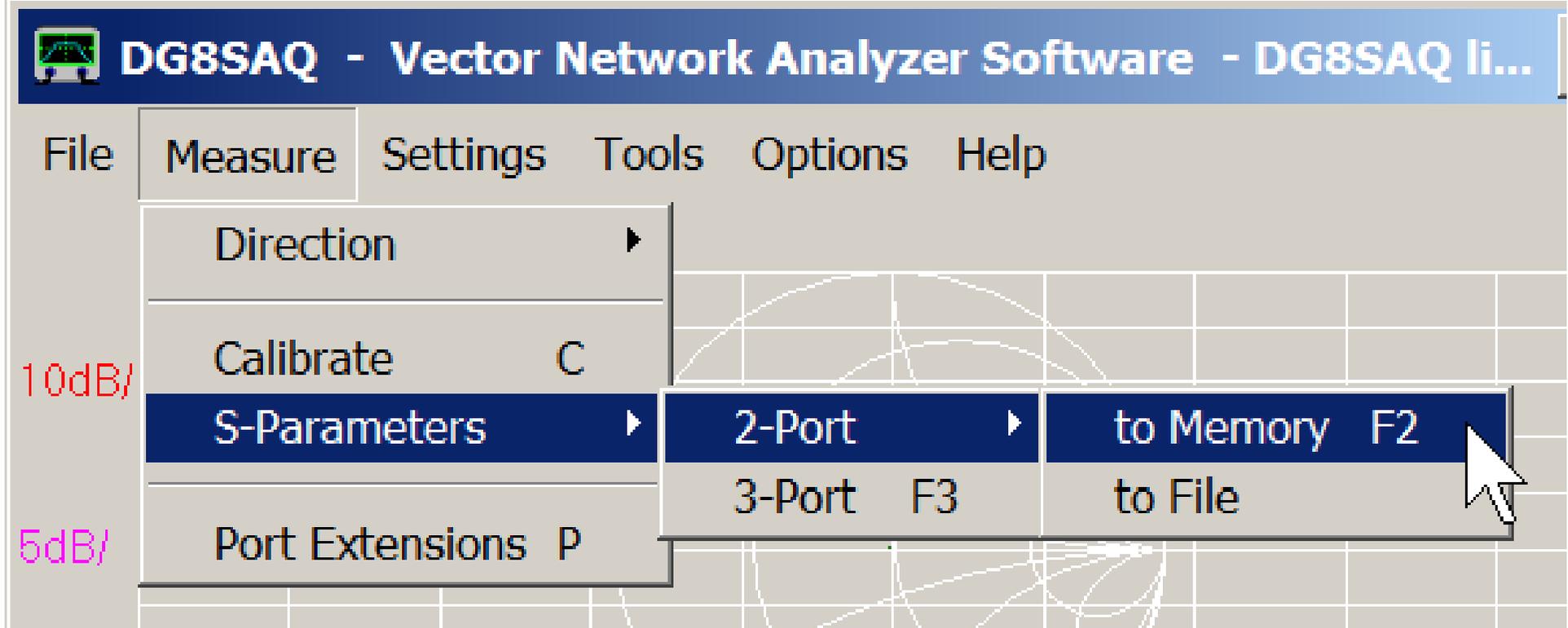


Reflect Calibration		Thru Calibration	
Short	Open	Load	Thru
Short		Crosstalk Cal	 <input type="checkbox"/> on / off
Open		Thru Cal	 <input checked="" type="checkbox"/> on / off
Load		Thru Match Cal	 <input checked="" type="checkbox"/> on / off
Cal <input checked="" type="checkbox"/> on / off		Invalidate All Thru Calibrations	

# Achtung: Ein steiflankiges Filter benötigt Zeit zum Einschwingen!



# Messung der Zweier-S-Parameter des Bandpassfilters

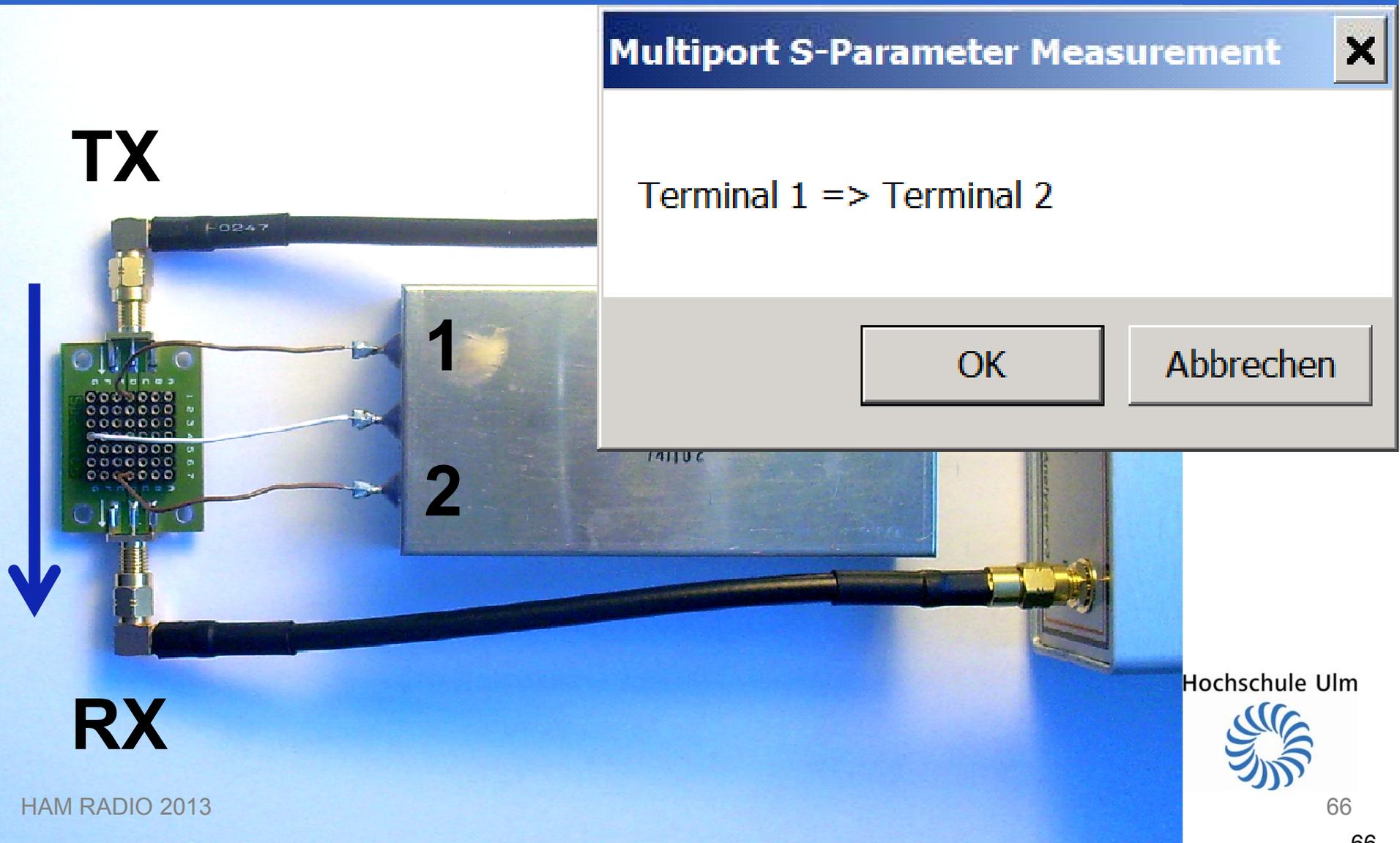


Es müssen alle vier S-Parameter ( $S_{11}$ ,  $S_{21}$ ,  $S_{12}$ ,  $S_{22}$ ) gemessen werden...

Hochschule Ulm



# Messung der Zweitor-S-Parameter des Bandpassfilters: Vorwärtsmessung



# Messung der Zweiter-S-Parameter des Bandpassfilters: Rückwärtsmessung

Multiport S-Parameter Me

Terminal 2 => Terminal 1

OK

2

1

TX

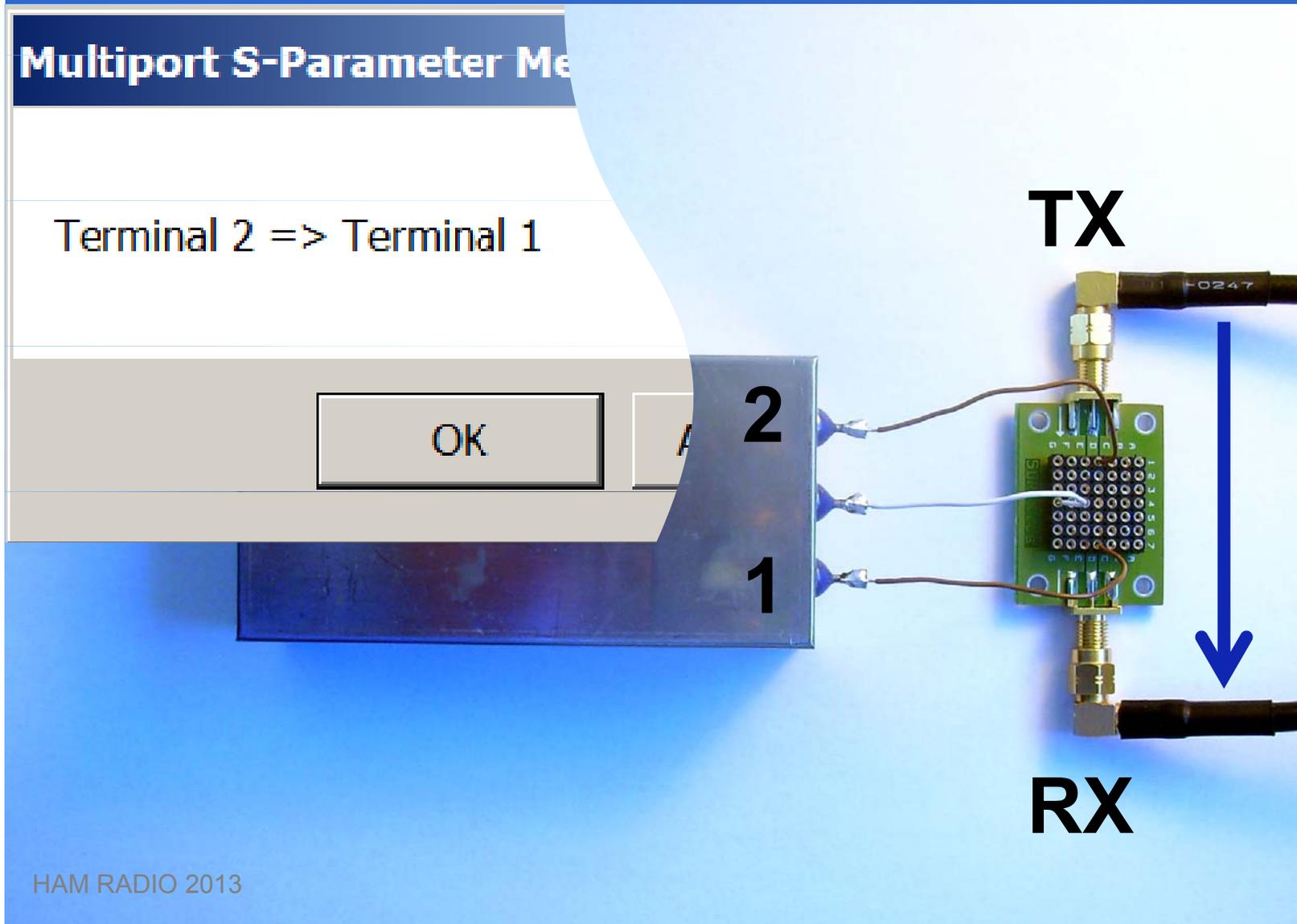
RX

Hochschule Ulm

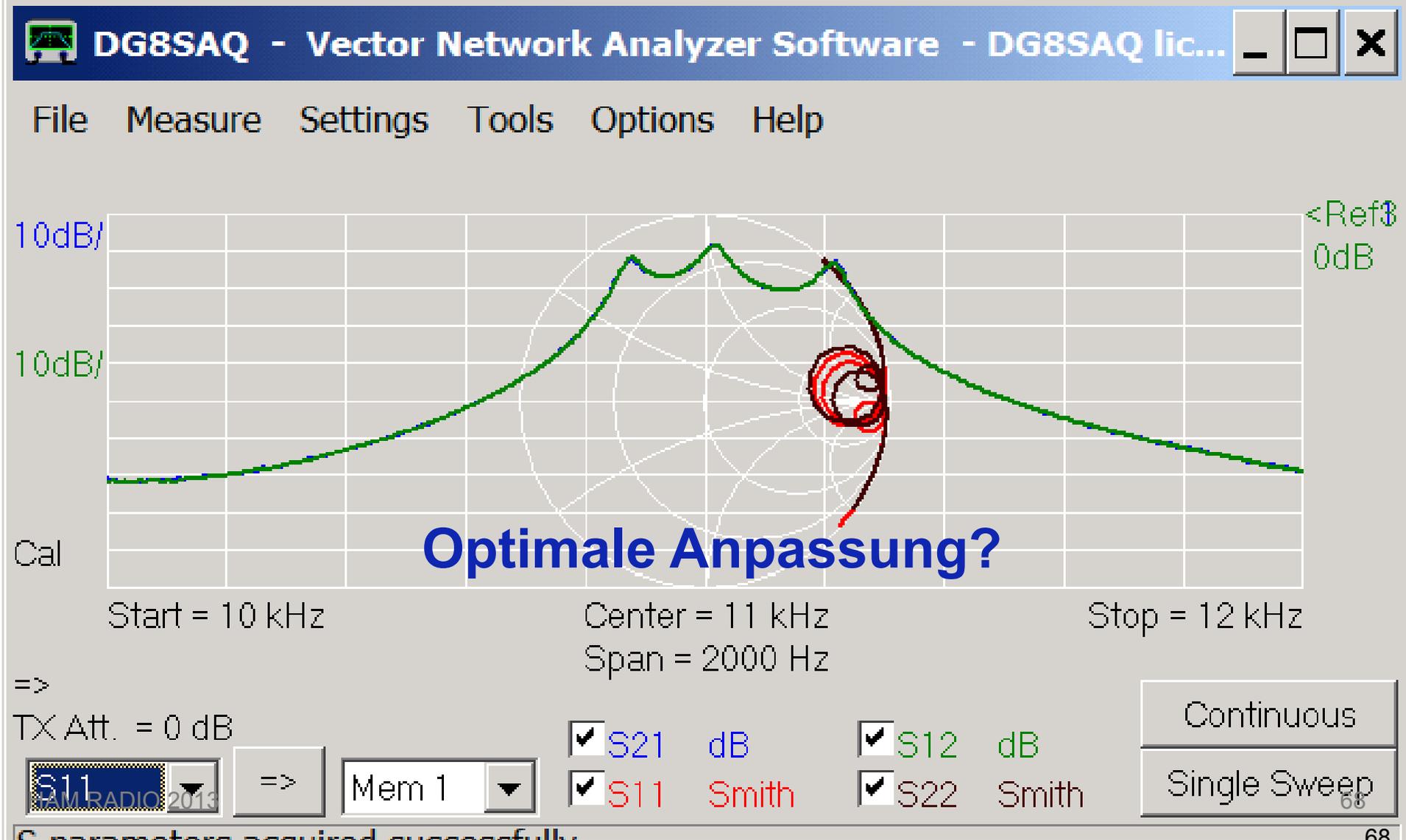


67

67

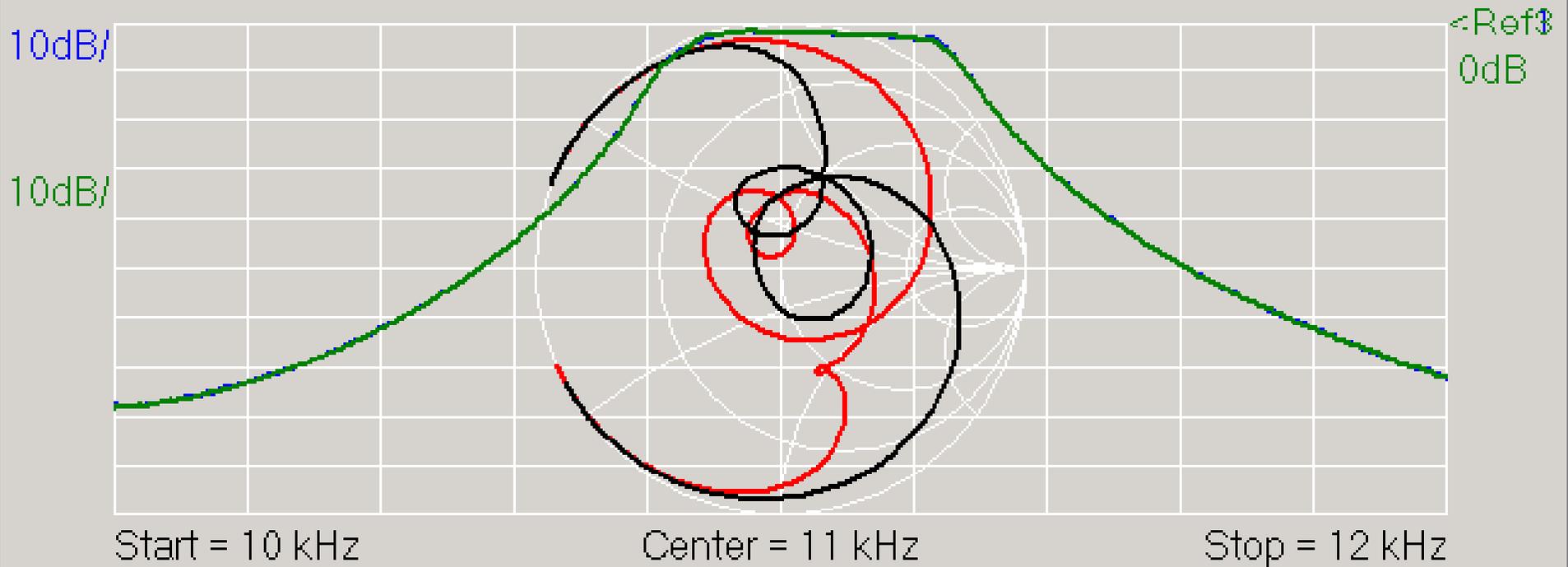


# Wozu sind die Zweitor-S-Parameter des Bandpassfilters gut?

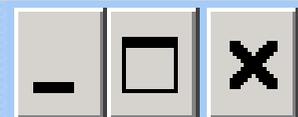


# Anpassanalyse: VNWA Matching Tool

Optimal:  $Z_{in} = Z_{out} = 610 \Omega$



**Recalculate to new source and load conditi...**



Port 1

Port 1 Impedance

610

Ohm



C parallel  
(neg. possible)

0

pF



Port 2

Port 2 Impedance

610

Ohm



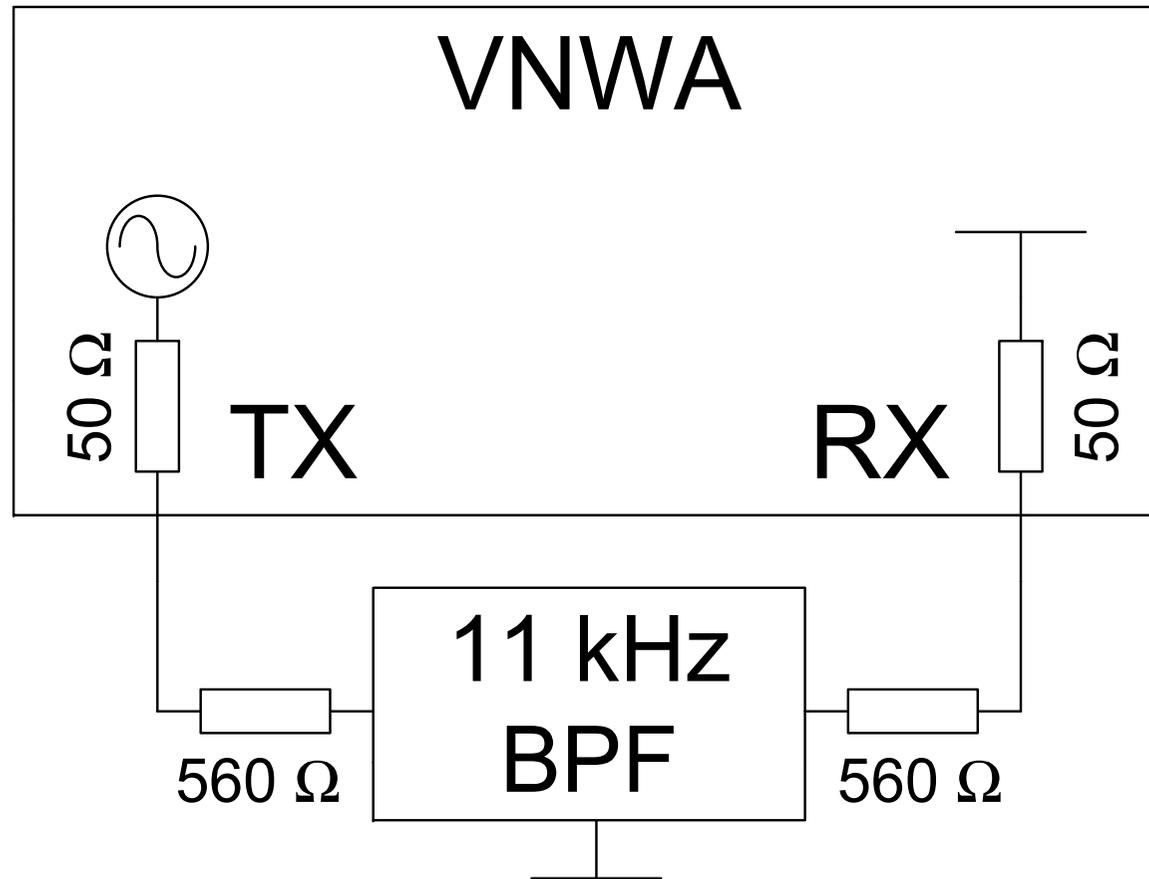
C parallel  
(neg. possible)

0

pF

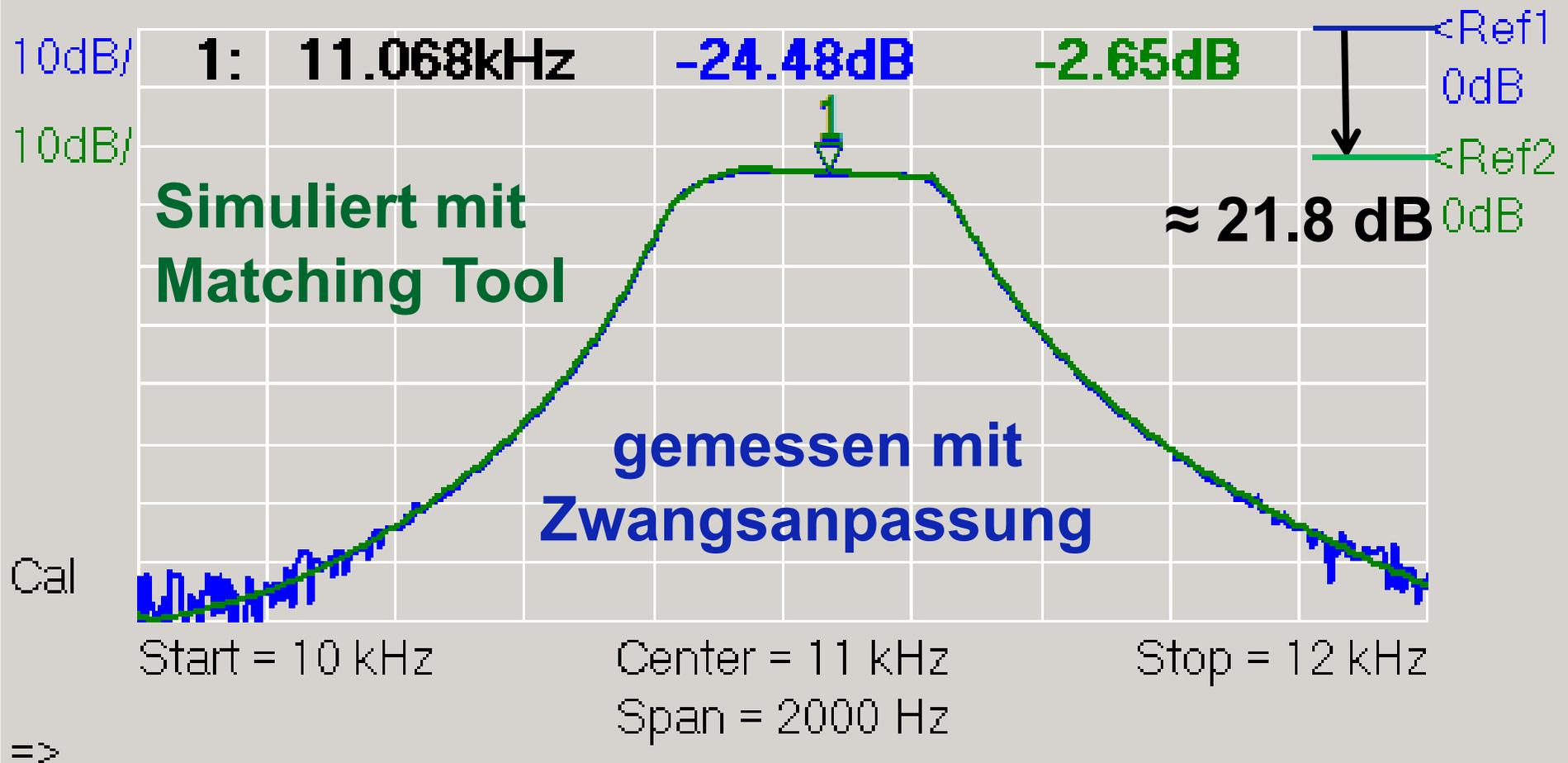


# Zwangsweise Anpassung mit Widerständen



$$50\ \Omega + 560\ \Omega = 610\ \Omega$$

# Anpassung funktioniert bis auf erhöhte Einfügedämpfung



# Effekt der beiden $560 \Omega$ Widerstände im Signalpfad: VNWA Complex Calculator

The screenshot shows a window titled "Simple Calculator". On the left, there is a "Workspace" panel with a "Variable" section containing the variable "ans". The main "History" panel shows the input command: `>> db (s2t (z2s (2*560)))`. Below the command, the result is displayed as `ans =` followed by a blue-bordered box containing the value `-21.727196613495`. The window has standard minimize, maximize, and close buttons in the top right corner.

**21,7 dB zusätzliche Dämpfung**



Hochschule Ulm



# Das kann man auch „richtig“ simulieren!

## Simulationswerkzeug QUCS



- <http://qucs.sourceforge.net/>
- universeller Schaltungssimulator
- kostenlos
- keine Einschränkungen
- einfach zu bedienen
- Grafik und Datenexport  
verbesserungswürdig



# Gemessene S-Parameter in QUCS

Qucs 0.0.16 - Project: 11kHzBPF

File Edit Positioning Insert Project Tools Simulation View Help

11kHzBPF.sch 11kHzBPF.dpl

**S parameter simulation**

SP1  
Type=lin  
Start=10 kHz  
Stop=12 kHz  
Points=400

**gemessene S-Parameter aus s2p-Datei**

X1  
File=11kHz\_BPF.s2p

P1 Num=1 Z=50 Ohm

R1 R=560 Ohm

R2 R=560 Ohm

P2 Num=2 Z=50 Ohm

# Anpasssimulation in QUCS

Qucs 0.0.16 - Project: 11kHzBPF

File Edit Positioning Insert Project Tools Simulation View Help

11kHzBPF.sch 11kHzBPF.dpl

Simulate (F2)

diagrams

Projects: Cartesia Polar Tabular

Content: n

Components: Smith Admittan Chart ce Smith

Polar-S Smith-P mith olar

Combi Combi

3D-Carte Locus sian Curve

Timing Truth Diagram Table

Gain

Standard-Diagramm-darstellung gewöhnungsbedürftig

→ Export des Simulationsergebnisses nach VNWA

1e-05 1e-04 1e-03 0.01 0.1

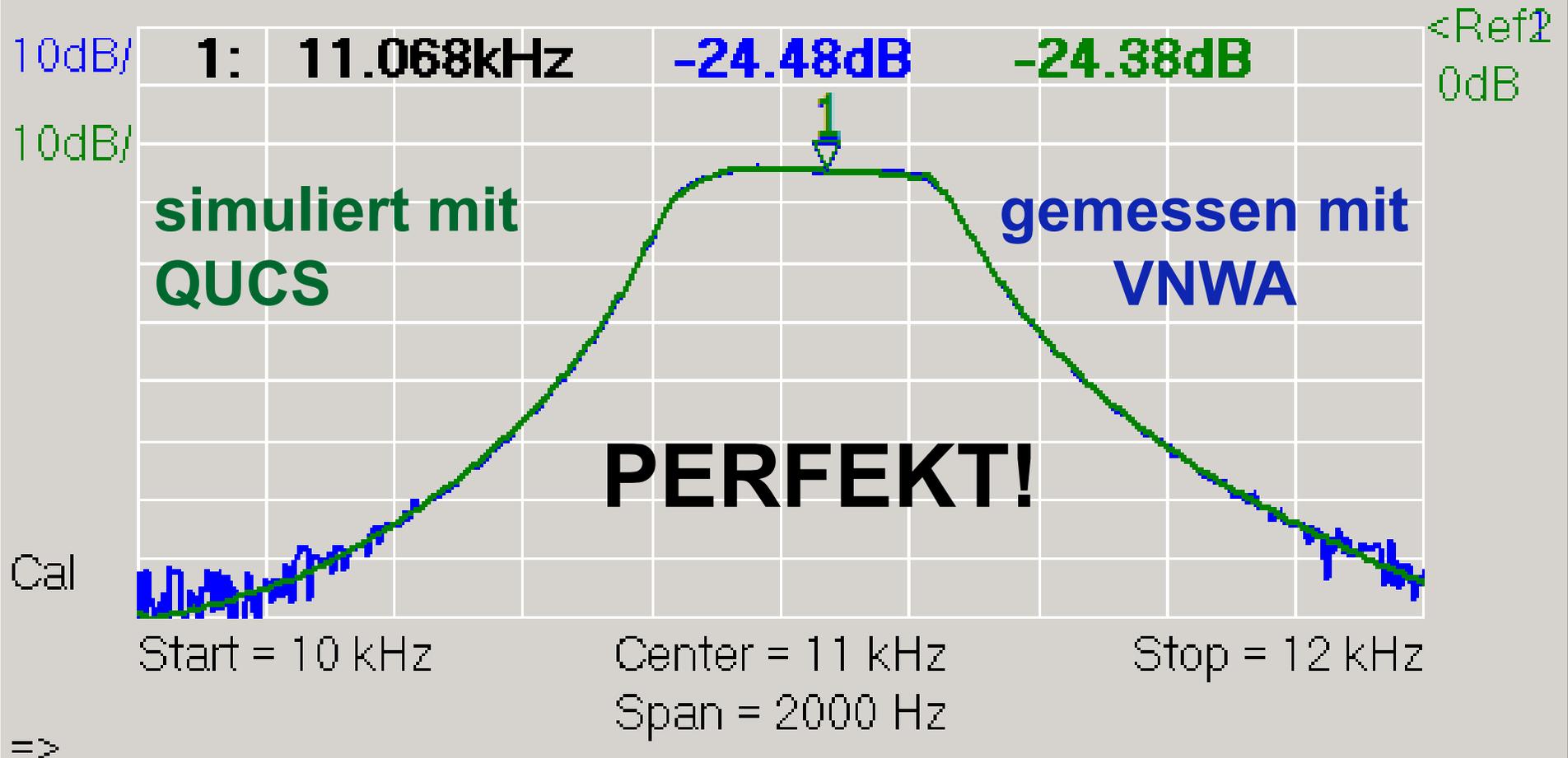
1e04 1.02e04 1.04e04 1.06e04 1.08e04 1.1e04 1.12e04 1.14e04 1.16e04 1.18e04 1.2e04

HAM RADIO 2013

no warnings 0 : 0

75

# Vergleich QUCS-Simulation mit Messung



# Kostenlose Filterdesign-Software (1): Elsie – für LC-Filter

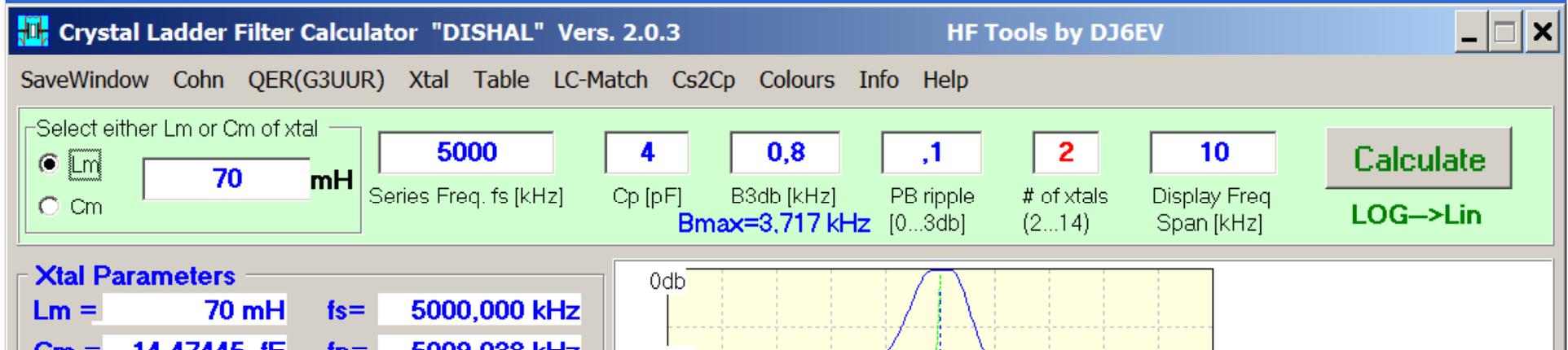
 Elsie Student Edition - Welcome !

This is the Student Edition of  
**Elsie**

- <http://tonnesoftware.com/elsiedownload.html>
- **LC-Filter Designer und Analysator**
- **Student Version auf 7 Dipole beschränkt**
- **Numerische Simulationsergebnisse einfach in s2p-Datei exportierbar!**



# Kostenlose Filterdesign-Software (2): Dishal – für Quarzfilter



- <http://www.bartelsos.de/dk7jb.php/quarzfilter-horst-dj6ev>
- **Quarzfilter Designer und Analysator**
- **Rechnet ohne Quarzverluste**
- **$S_{21}$ -Simulationsdaten exportierbar**

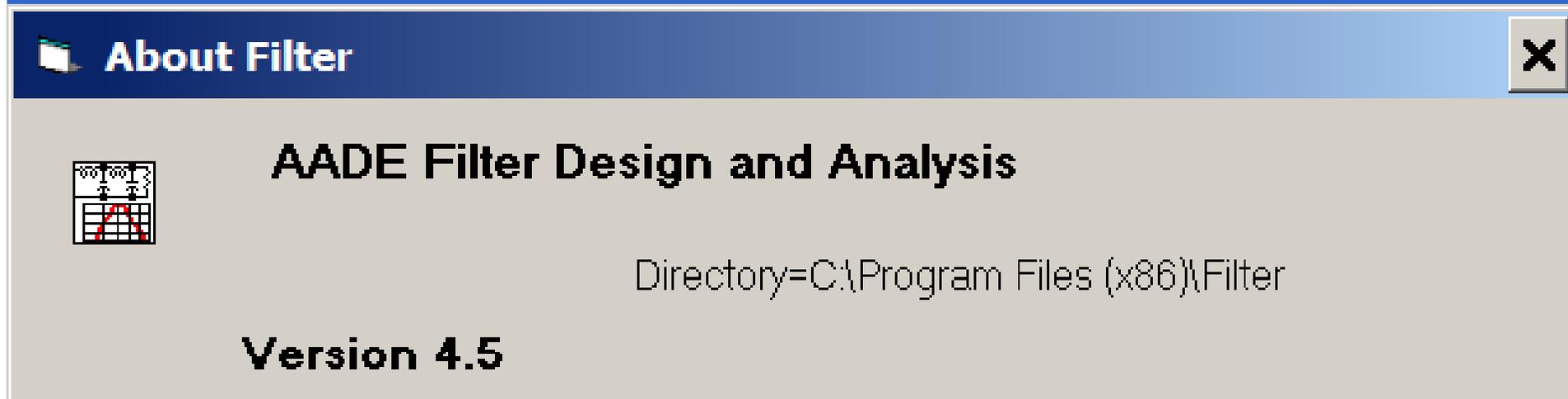
Hochschule Ulm



78

78

# Kostenlose Filterdesign-Software (3): AADE Filter Design - für alles



- <http://aade.com/filter32/download.htm>
- **Universeller Filter Designer und Analysator**
- **Kostenlos, aber mit Nag-Screen**
- **einfach zu bedienen**
- **Numerische Simulationsergebnisse nicht exportierbar**

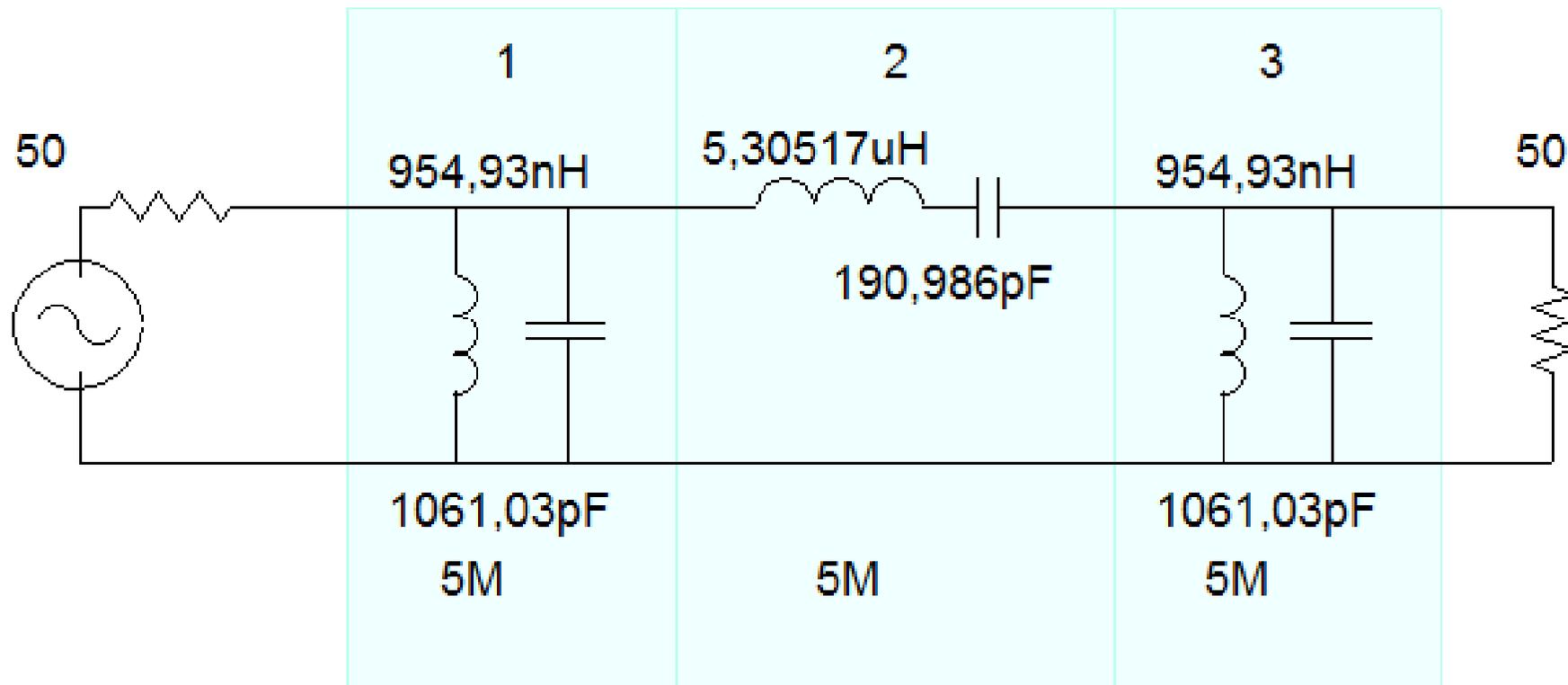
Hochschule Ulm



79

79

# Design 3-poliger Butterworth $\pi$ -Bandpass für 5 MHz mit 3 MHz Bandbreite an 50 $\Omega$



**Filter Design mit Elsie**

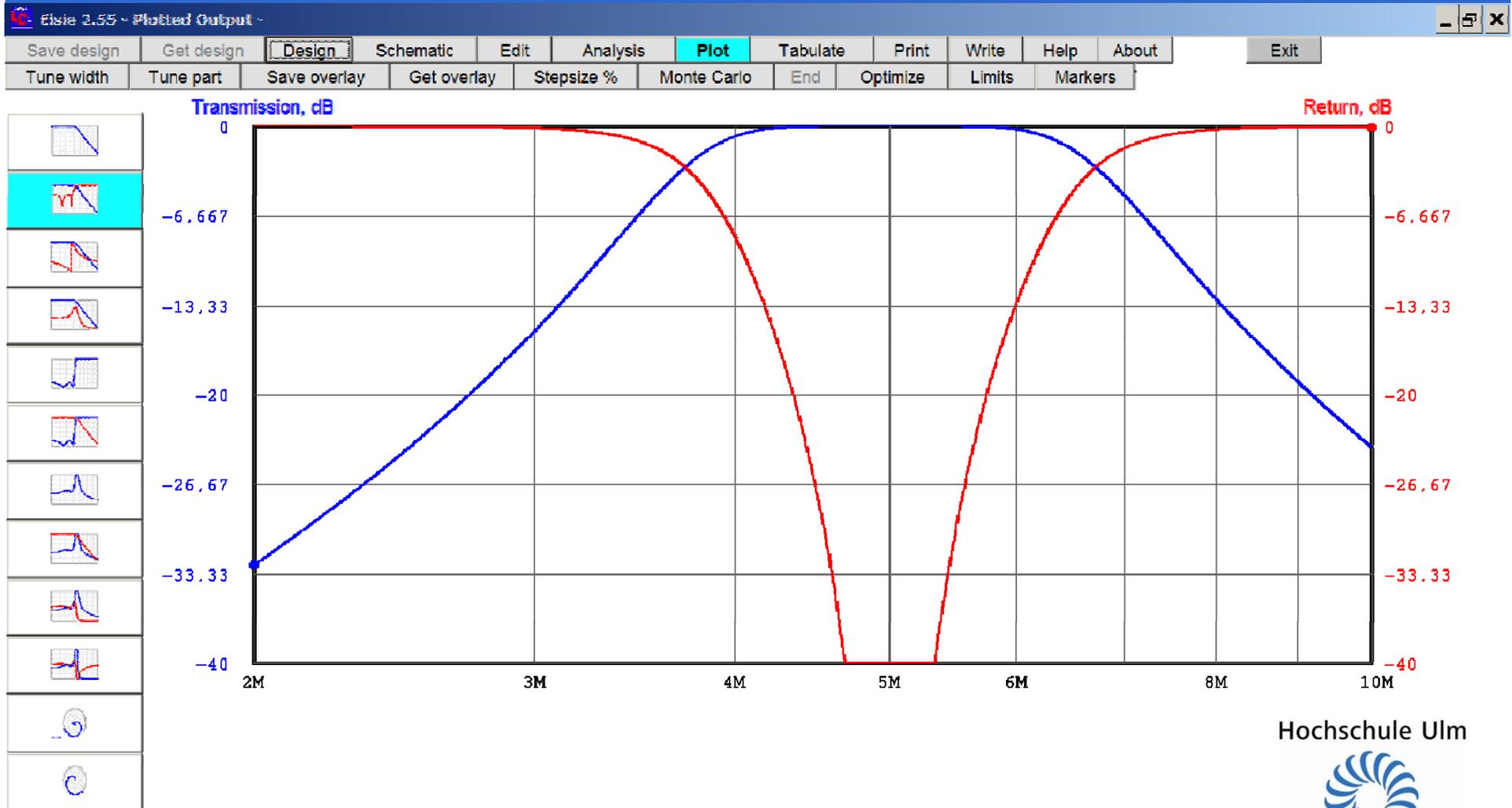
Hochschule Ulm



80

80

# Elsie Simulationsergebnis



Hochschule Ulm



# Änderung der Bauteilwerte in Elsie auf Normwerte und endliche Güten ...

Schematic

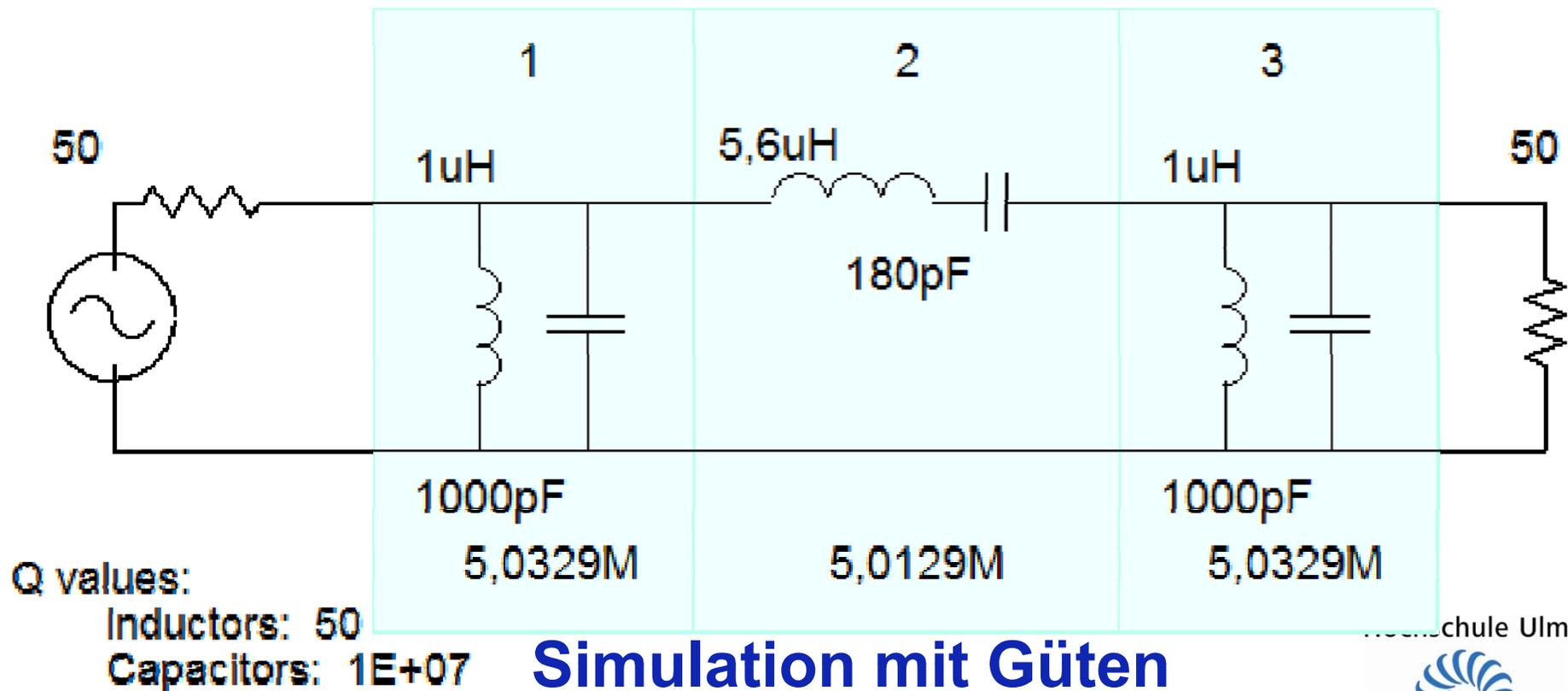
**Edit**

Analysis

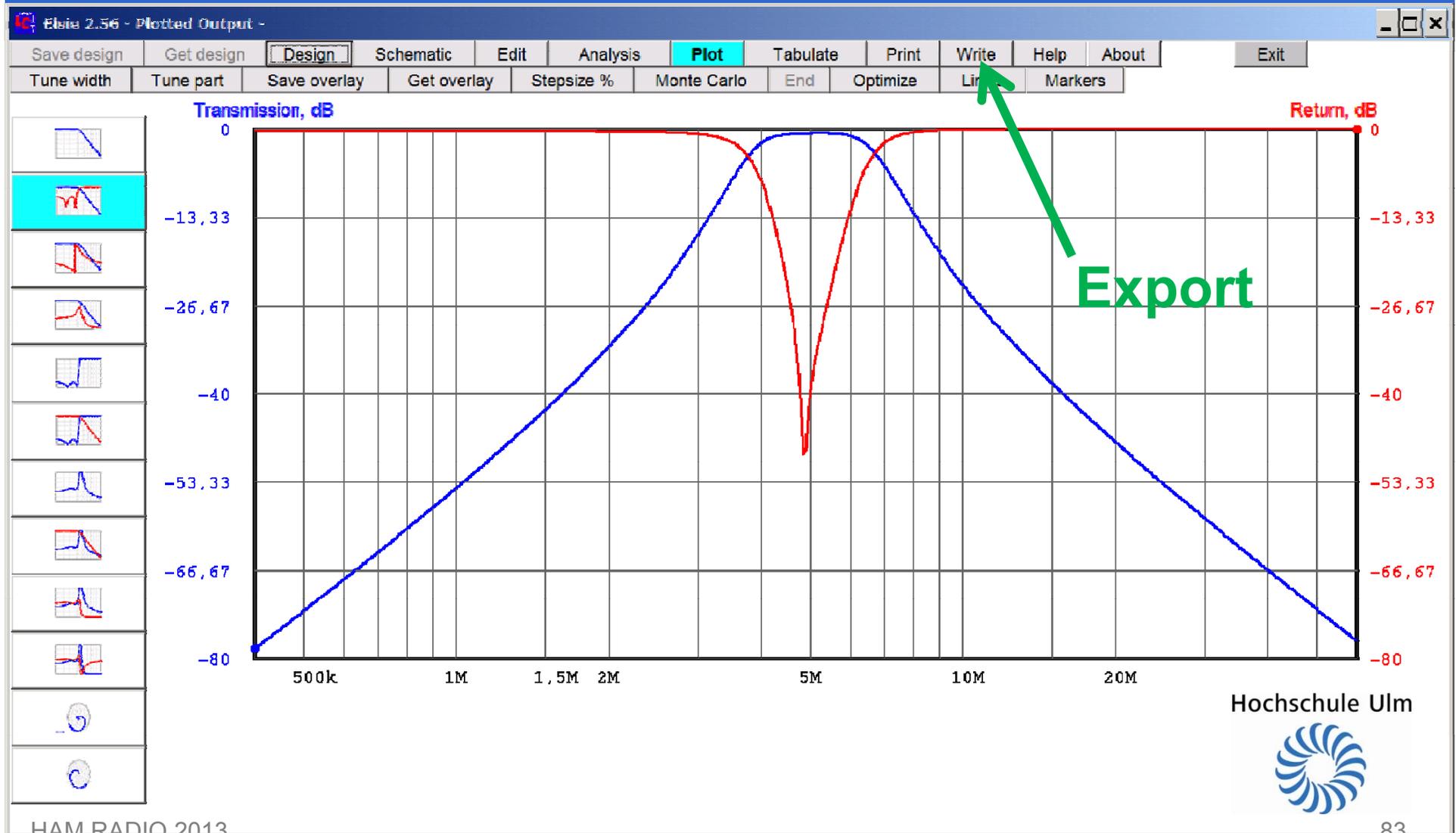
Plot

Tabulate

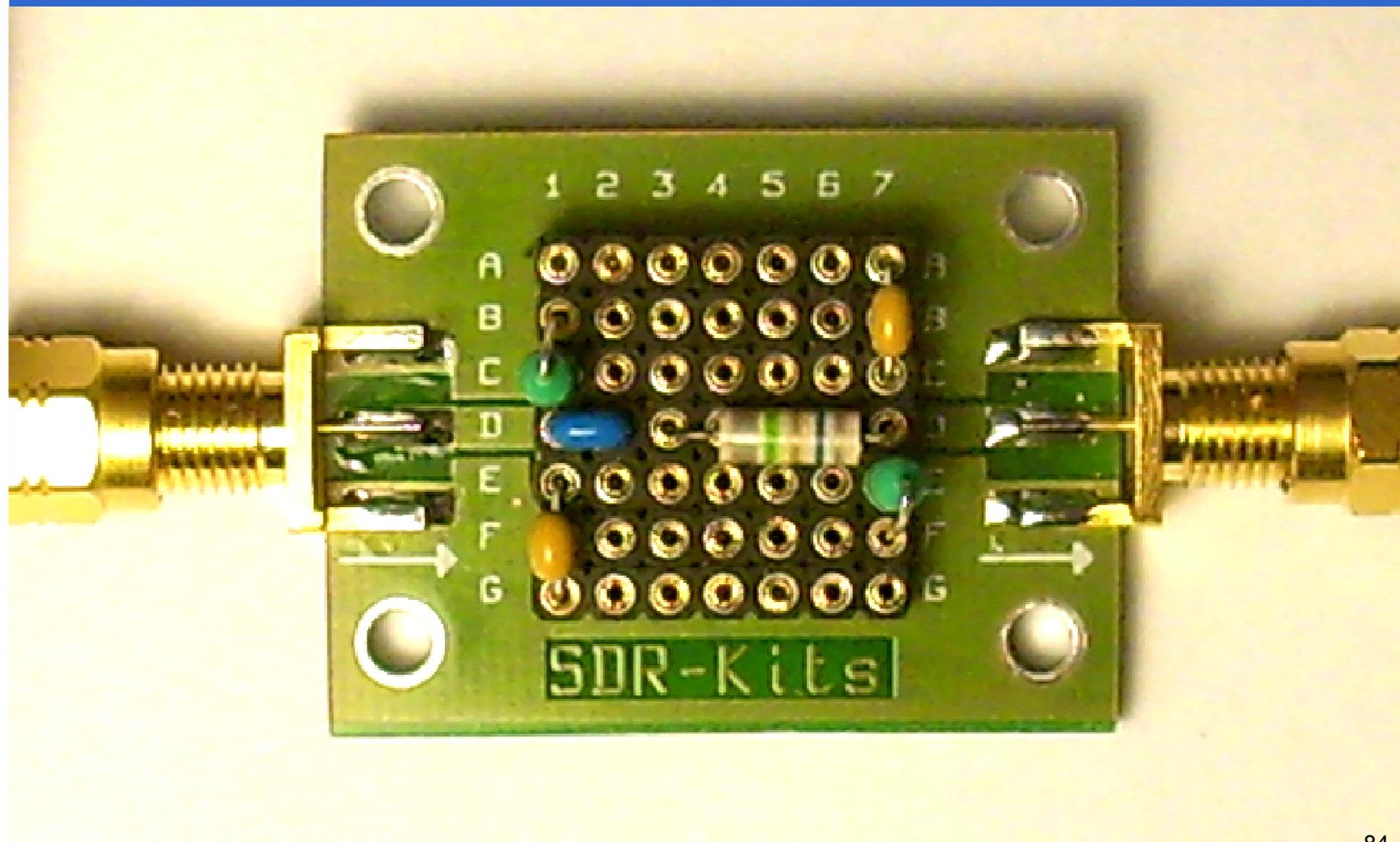
Print



# ...und Export der Simulation in s2p-Datei für Messungs-Rechnungsvergleich.

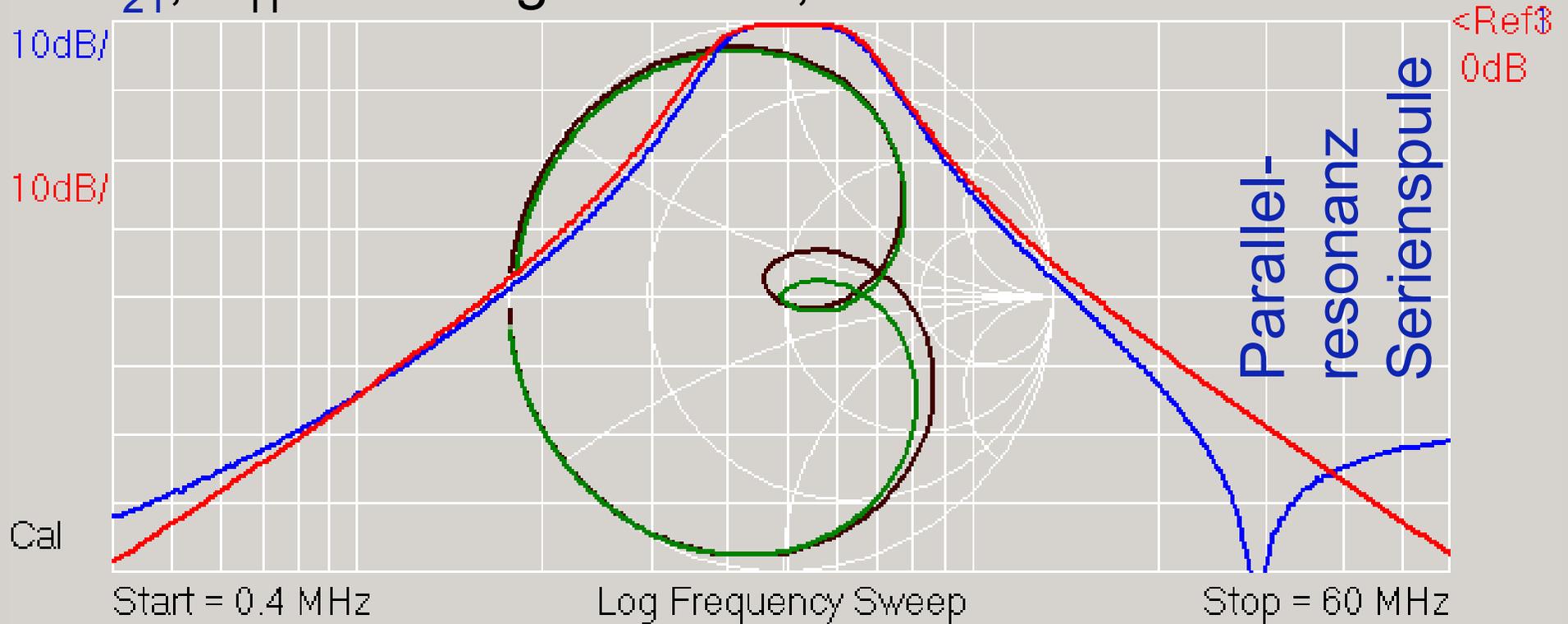


# Filteraufbau



# Vergleich Messung - Elsie Simulation

$S_{21}$ ,  $S_{11}$  Messung - Plot1, Plot2 Elsie Simulation



=>

TX Att. = 0 dB

S21

=>

Mem 1

S21 dB

S11 Smith

Plot1 dB

Plot2 Smith

Continuous

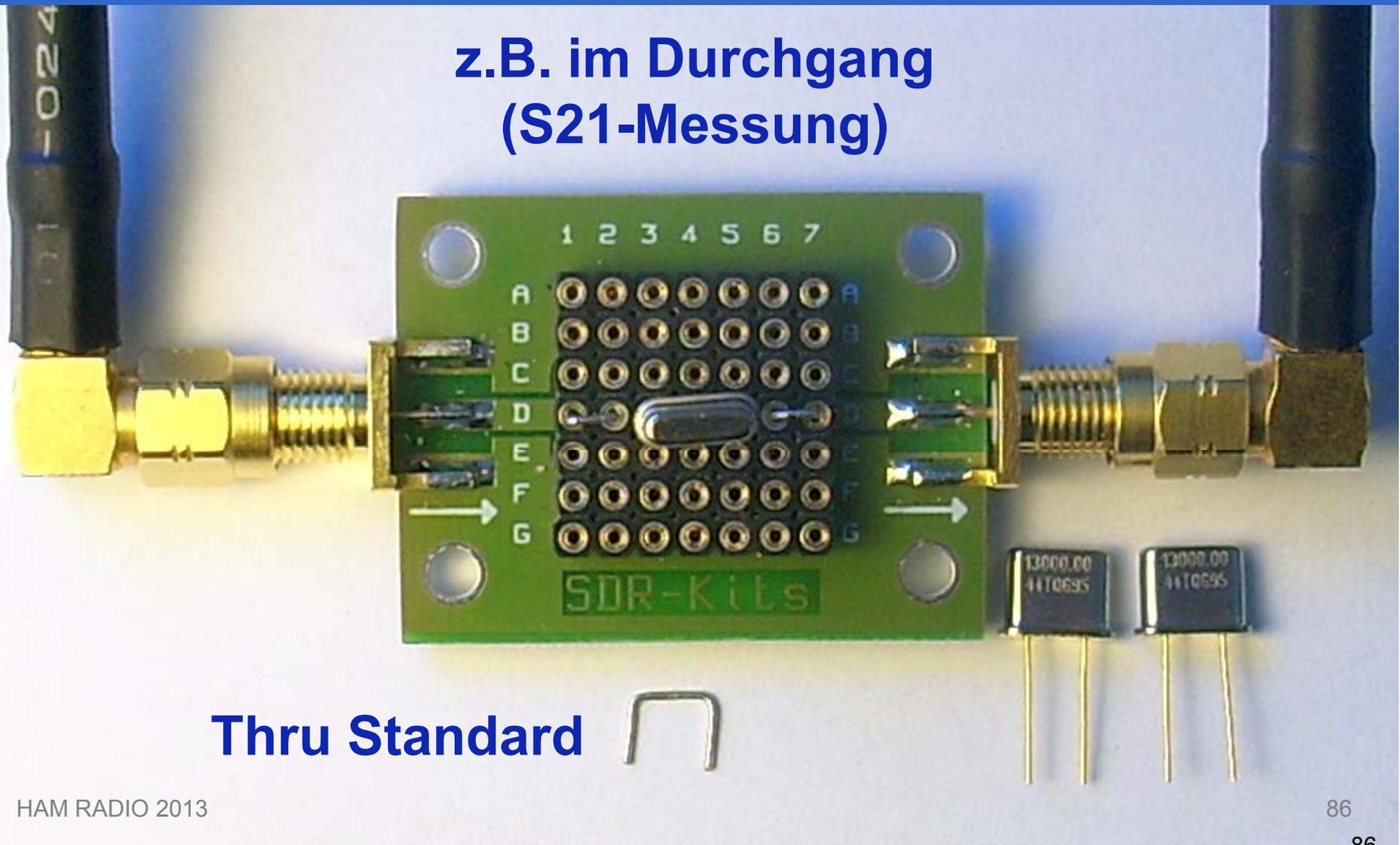
Single Sweep

HAM RADIO 2013

85

# Vermessung / Selektion von Quarzen mit dem VNWA Crystal Analyzer

z.B. im Durchgang  
(S21-Messung)

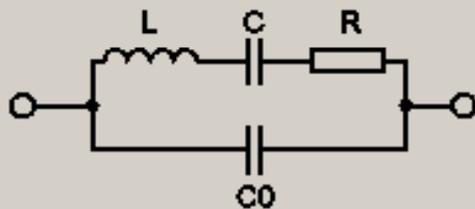


Thru Standard

# Das Crystal Analyzer Tool: Drei möglichst ähnliche Quarze...

Crystal Analyzer - Analysis will be performed into 3-port data spaces s\_11 an... ✕

## Equivalent Circuit



L = 23.22917 mH

C = 6.456461 fF

R =  Ohm

C0 =  pF

$f = 1/2\pi\sqrt{L \cdot C}$  =  MHz

$R \cdot Q = \sqrt{L/C}$  =  x1000

Q = 69517

source = S21

Test Jig Impedances =  Ohms

## Batch Crystal Analyzer

#	f / Hz	Q	L / H	C / F	R / Ohm	C0 / F	figure of m
1	12995915.37	48842	0.02349916516	6.382253945E-15	39.29	2.468043934E-12	0.000775
2	12995927.72	54196	0.02368969902	6.330910084E-15	35.69	2.420346928E-12	0.00116
3	12995886.98	69517	0.02322917961	6.456461114E-15	27.29	2.465710412E-12	0.0015

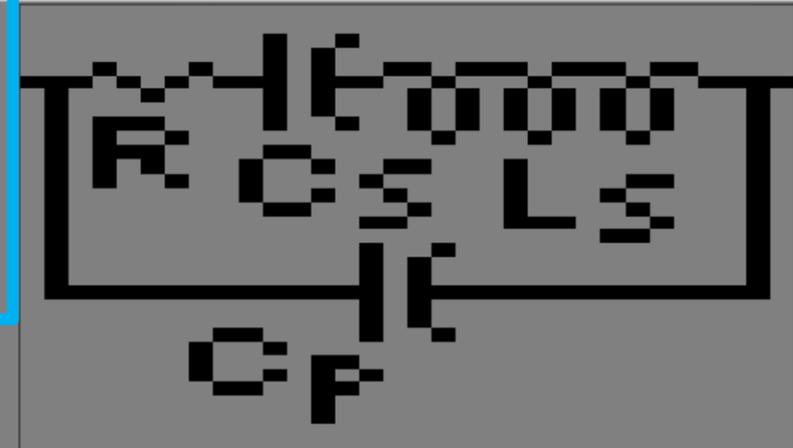
# Damit wollen wir ein Quarzfilter bauen. → In AADE typische Quarzparameter eingeben:

## Enter data

Enter values from the keyboard or by clicking on the calculator pad shown. Tab advances to the next value.

7	8	9	+	-	M
4	5	6	*	/	K
1	2	3	%	=	m
0	.	√	x <sup>2</sup>	μ	
tab	bksp	CLR	n		
ENTER	Cancel	p			

Cp = 2,46804p  
 Ls = 23,499m  
 Cs = ,00638p  
 Qx = 48,842K



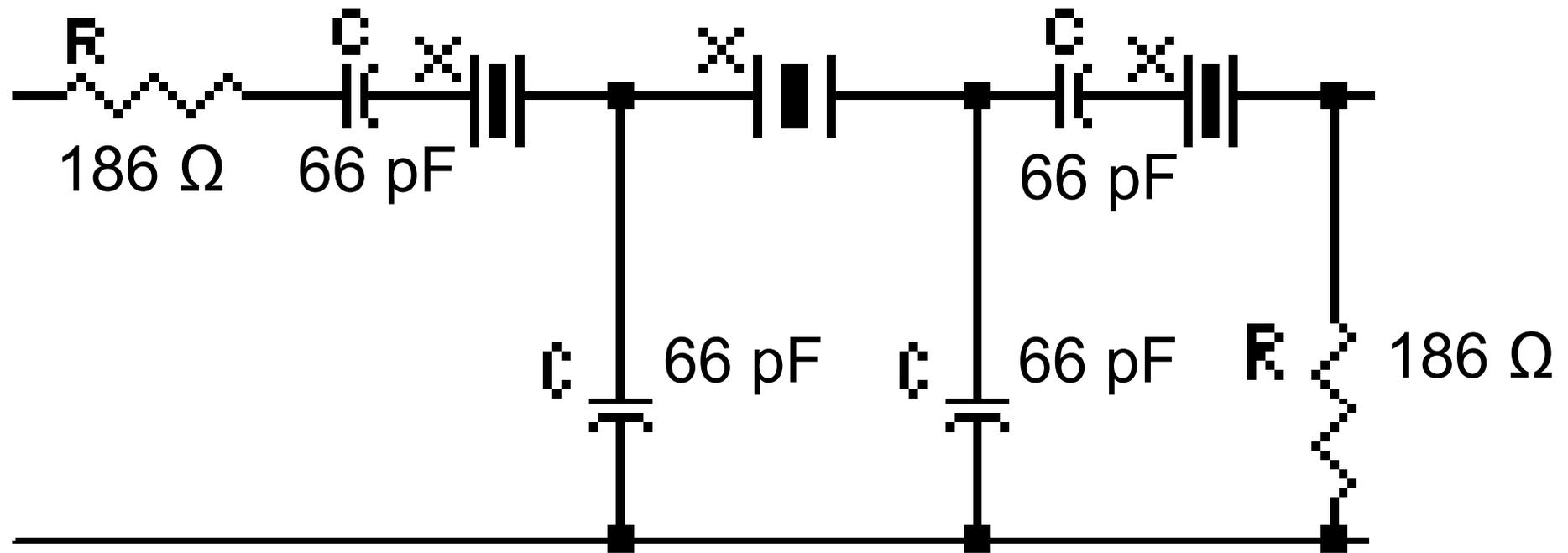
Daten vom  
VNWA  
Crystal  
Analyzer  
übertragen

Enter the crystals parallel capacitance in Farads. L/C Meter II will measure it.

#	f / Hz	Q	L / H	C / F	R / Ohm	C0 / F	figure of m
1	12995915.37	48842	0.02349916516	6.382253945E-15	39.29	2.468043934E-12	0.000775



# AADE Minimum Loss (Cohn) Design

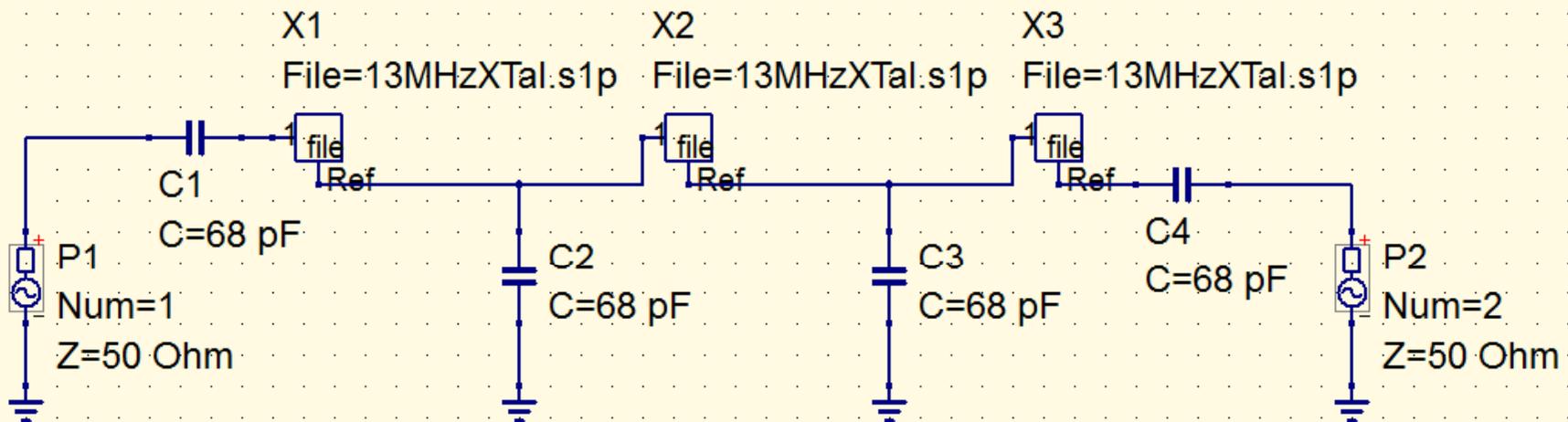


# Quarzfilter Simulation in QUCS an 50 $\Omega$ mit Norm-Bauteilwerten

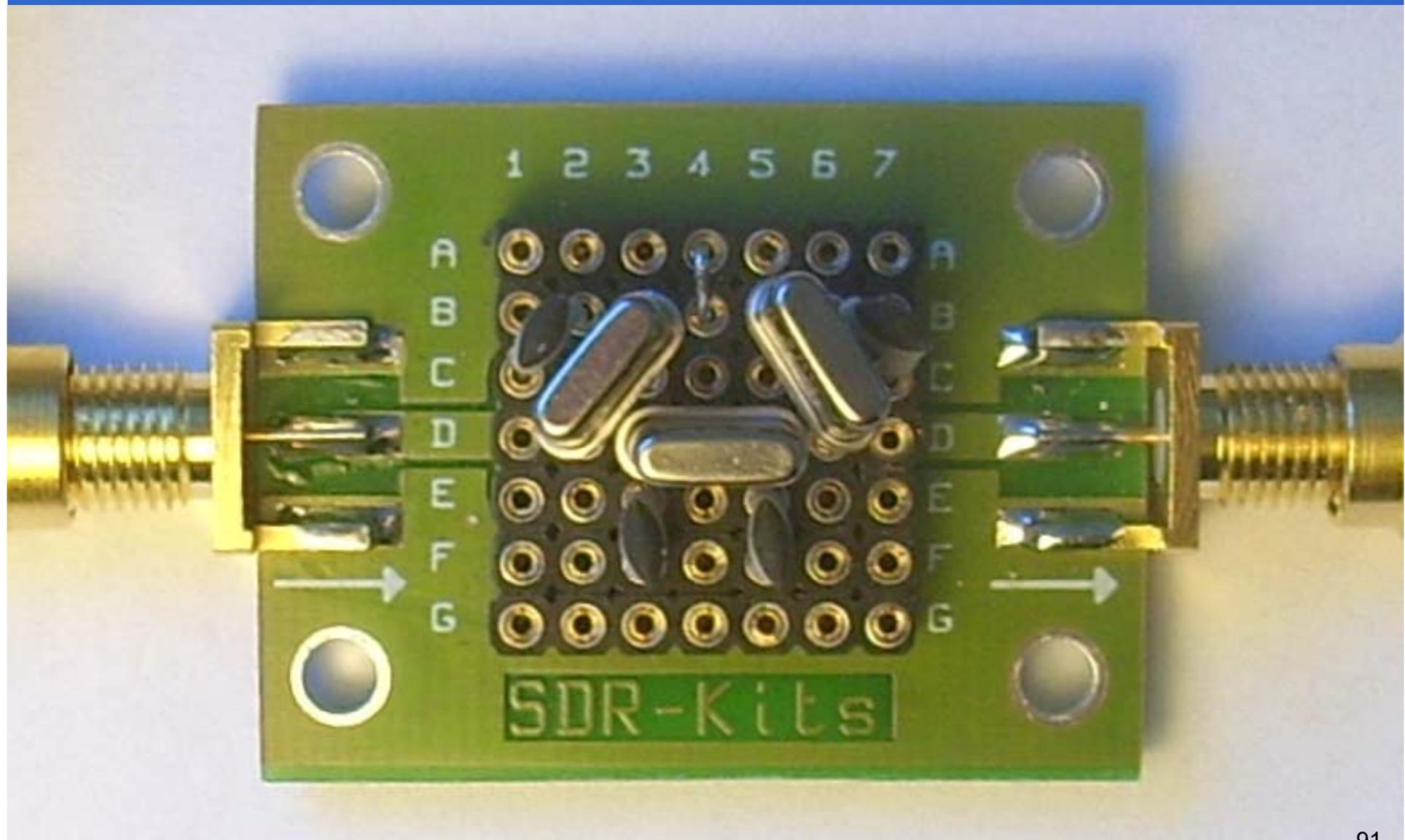
## S parameter simulation

SP1  
Type=lin  
Start=12.987 MHz  
Stop=13.007 MHz  
Points=800

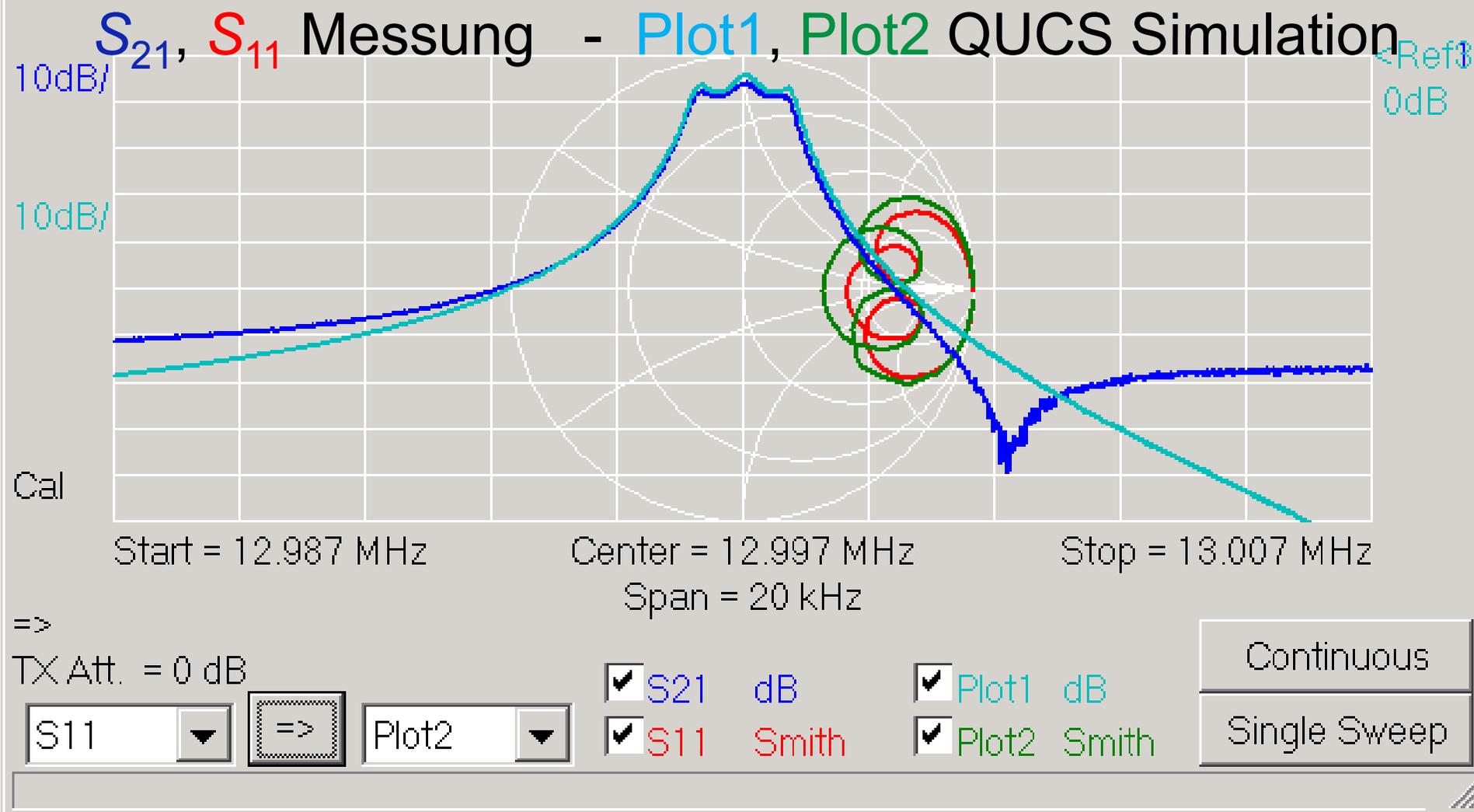
**Quarze werden mit  
VNWA Messdaten aus  
s1p-Datei simuliert!**



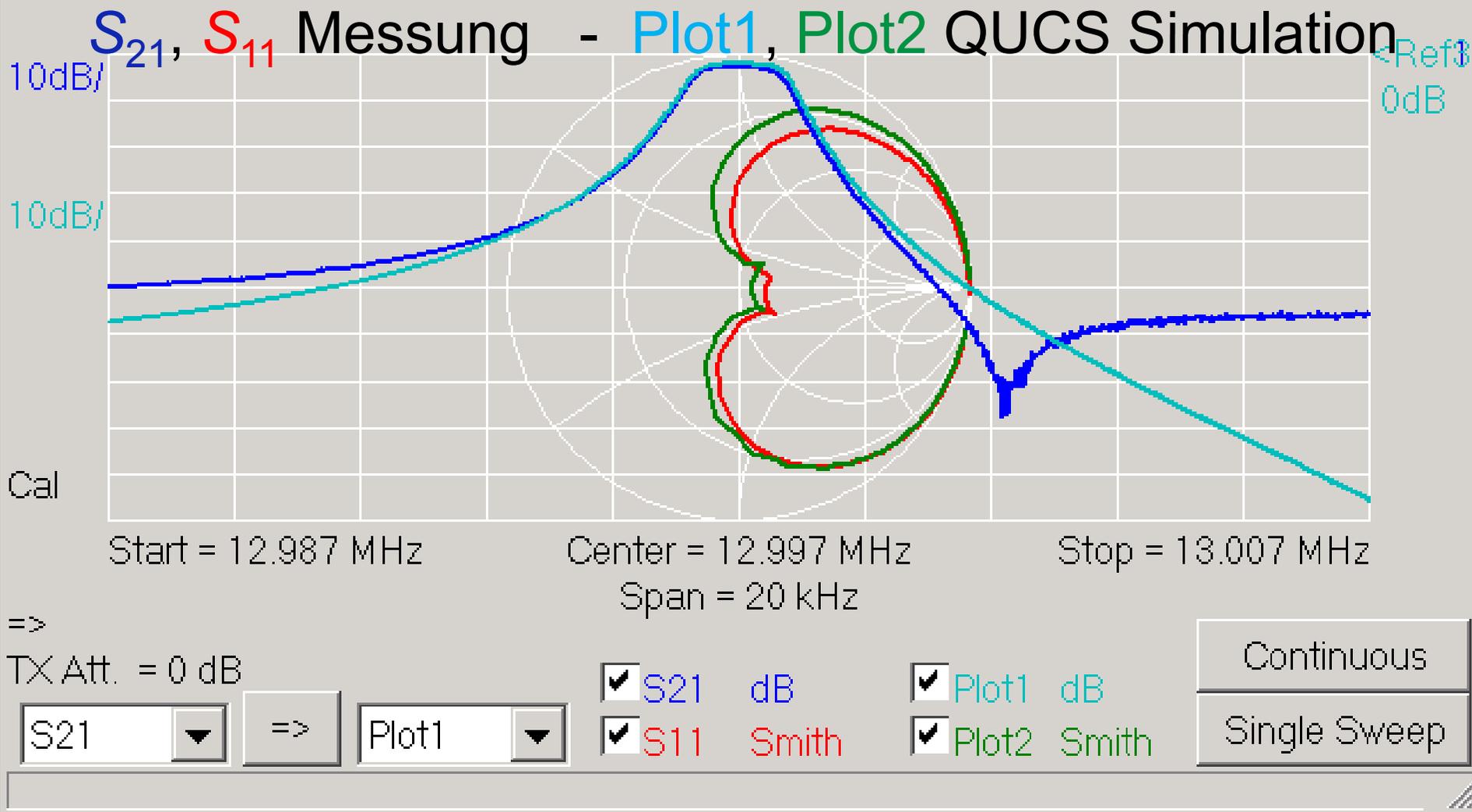
# Quarzfilter Aufbau



# Quarzfilter: Vergleich Messung – Rechnung an 50 $\Omega$



# Quarzfilter: Vergleich Messung – Rechnung an 186 $\Omega$



Wir können jetzt ...

- **Bauelemente vermessen**
- **Filter designen**
- **Filter simulieren**
- **Filter vermessen**



Viel Erfolg beim Workshop!



Vielen Dank für Ihr Interesse!

Do I get this right? You tell your wife: "Sorry dear, not tonight. I have a headache" and then you can sit all night and work with your Vector Network Analyzer!?!

Dipl. Psychologe  
dra. Quin

OMICRON  
LAB