

# HAM RADIO 2013



## 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!

$$U = R \cdot I$$

Ohm

$$b = S \cdot a$$

S-Par.

Antwort

System

Anregung



gleichwertige  
Beschreibungen

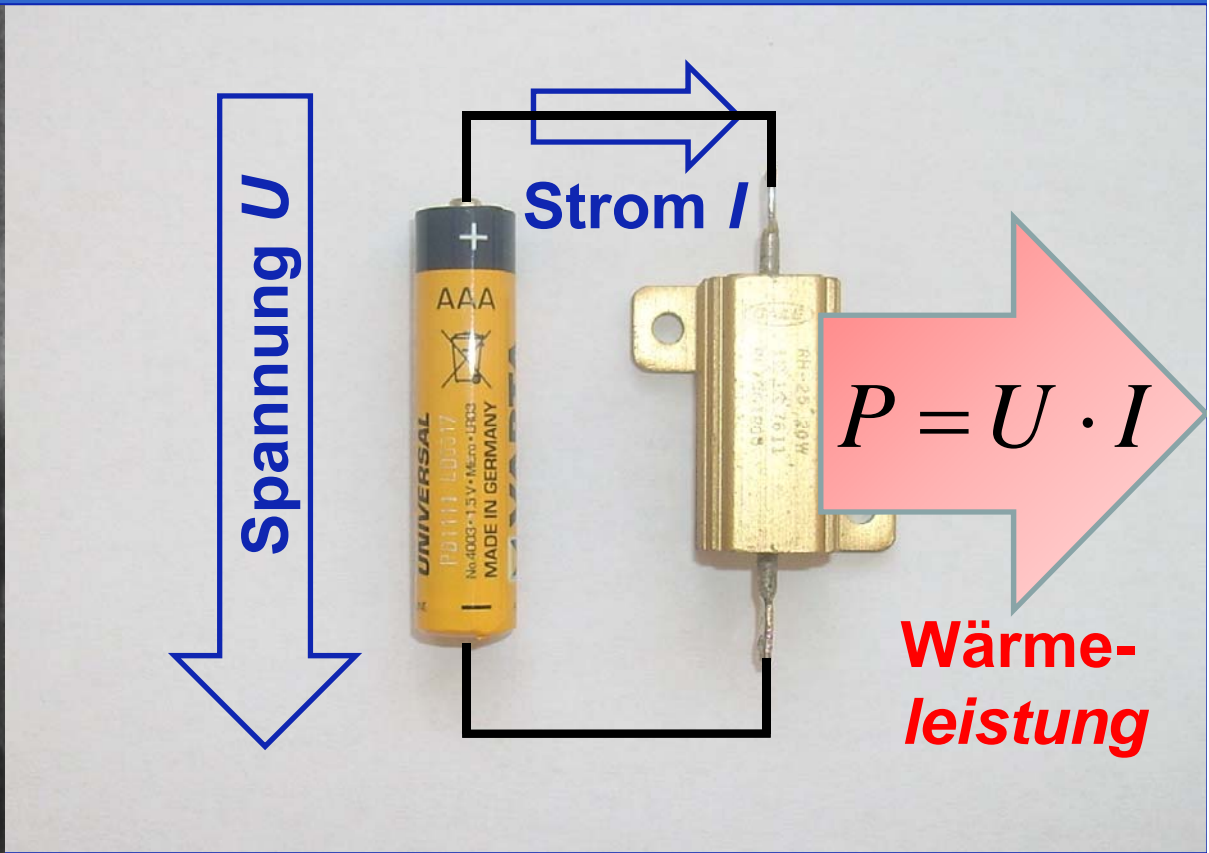


# Gleichstromelektrik einmal anders

## Das Ohmsche Gesetz (1)



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

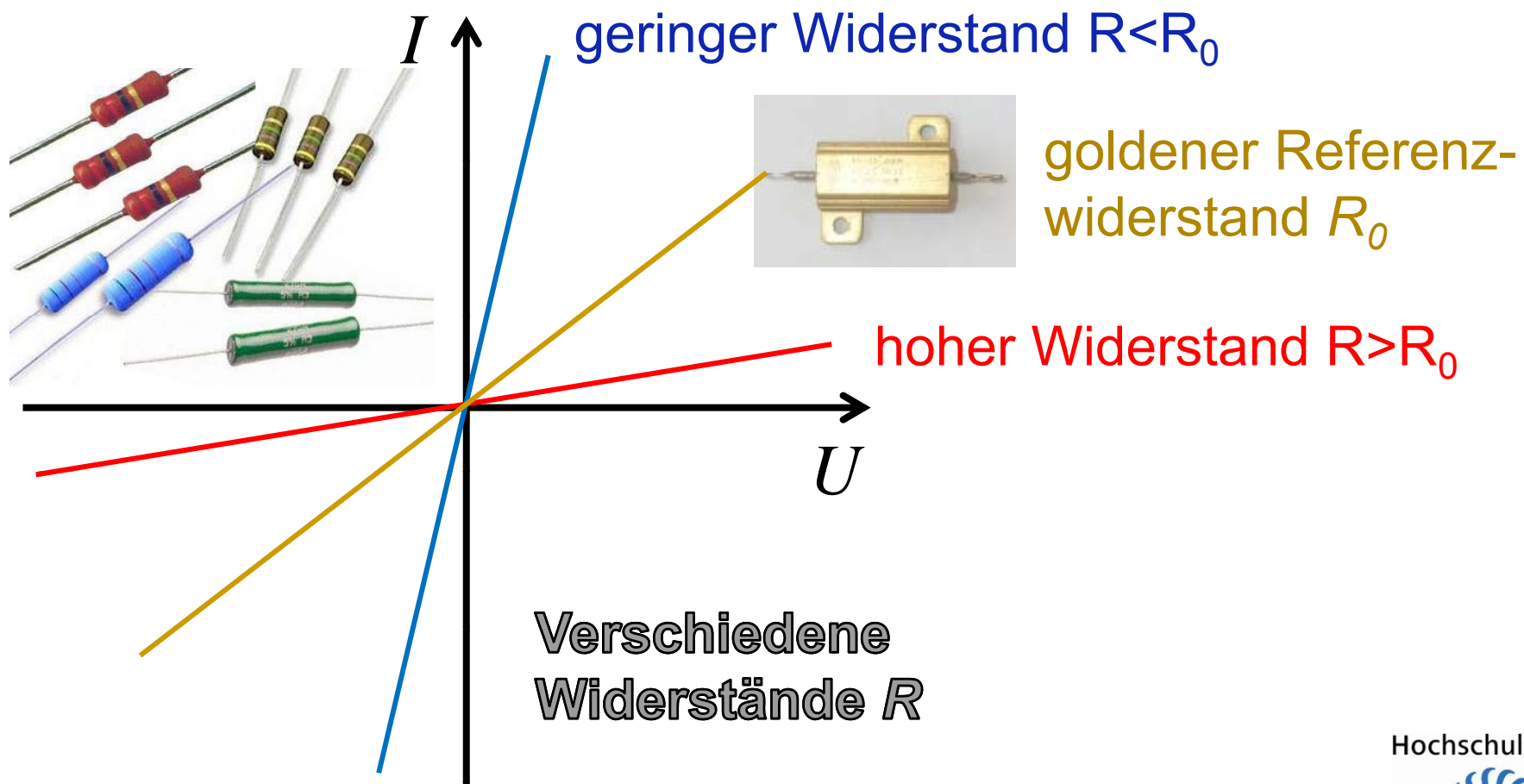


$$U = R \cdot I$$

Hochschule Ulm



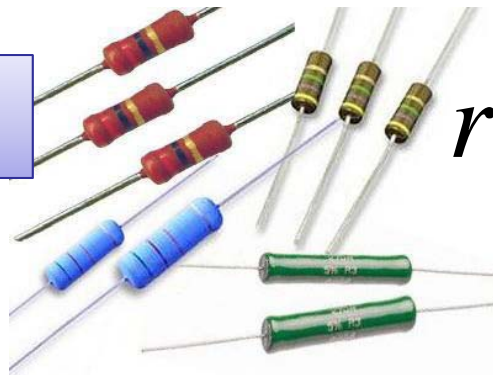
# Das Ohmsche Gesetz (2)



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

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

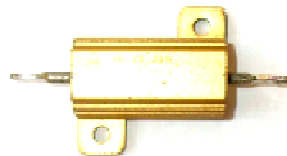
Widerstand  $R$



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

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  $\sqrt{\text{Watt}}$

Widerstand  $R_0$  im Stromkreis

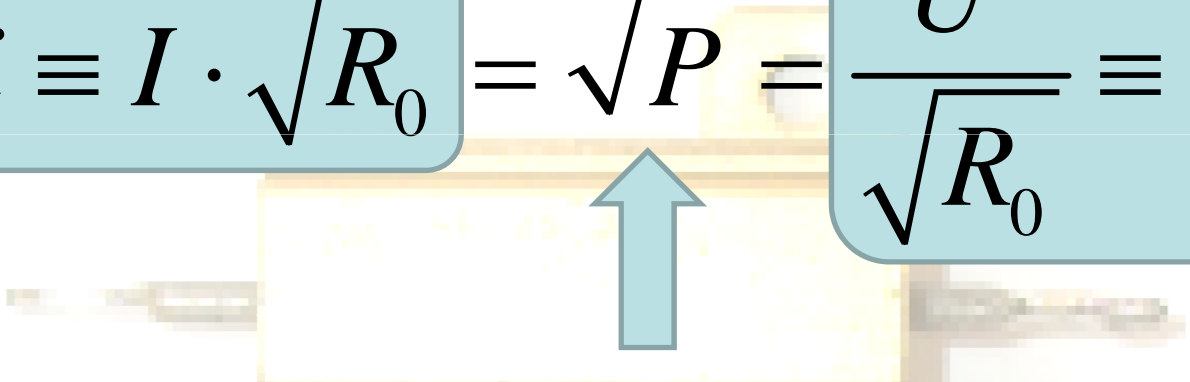


# Neue Einheiten für Spannung und Strom

$$I \rightarrow i$$

$$U \rightarrow u$$

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:

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

Normierter  
Widerstand!



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

# An beliebigen Widerstand $R$ abgegebene Leistung

$$P = u \cdot i$$

stimmt immer noch

denn:

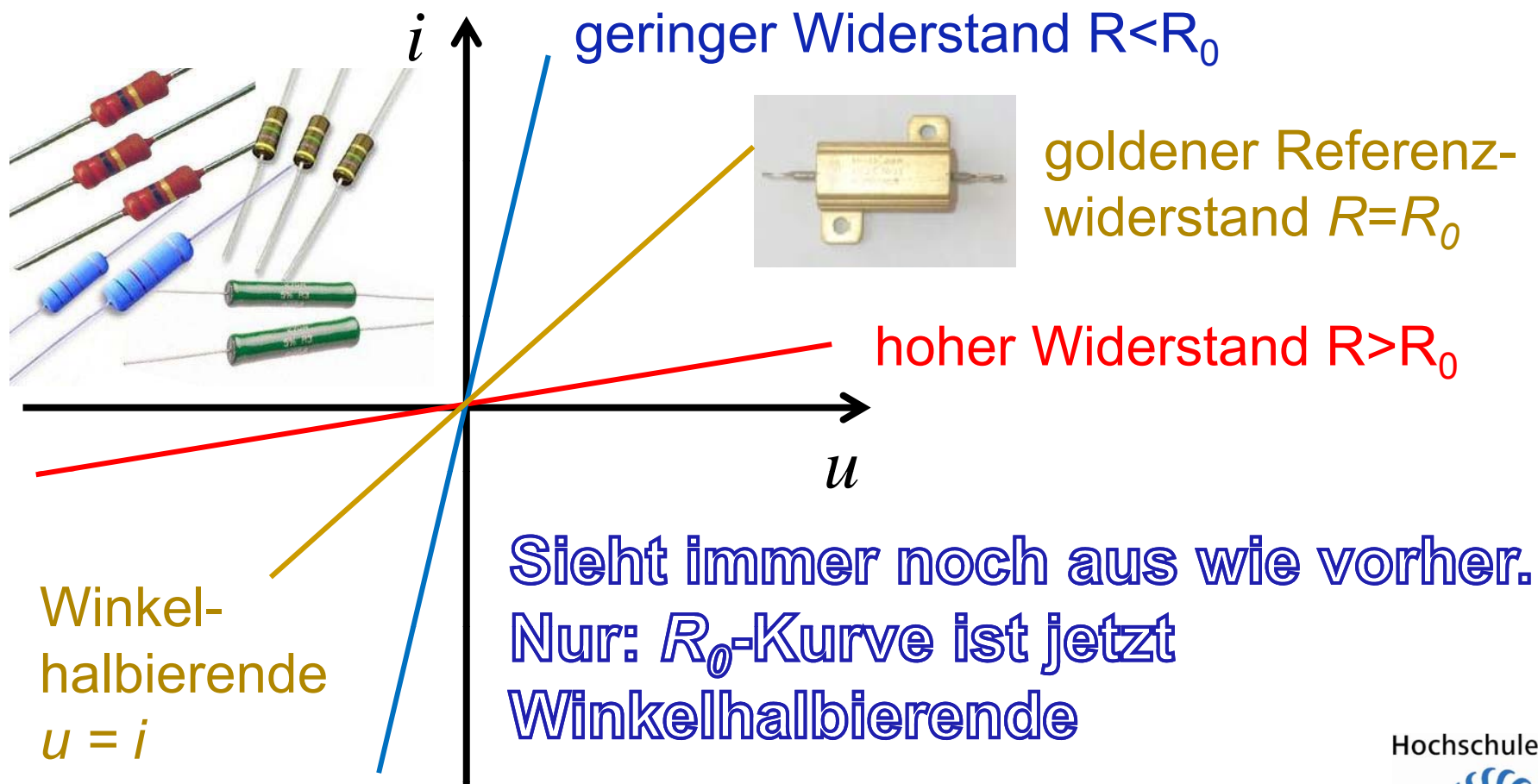
$$u \cdot i = \frac{U}{\sqrt{R_0}} \cdot I \cdot \cancel{\sqrt{R_0}} = U \cdot I = P$$

Wurzel kürzen!

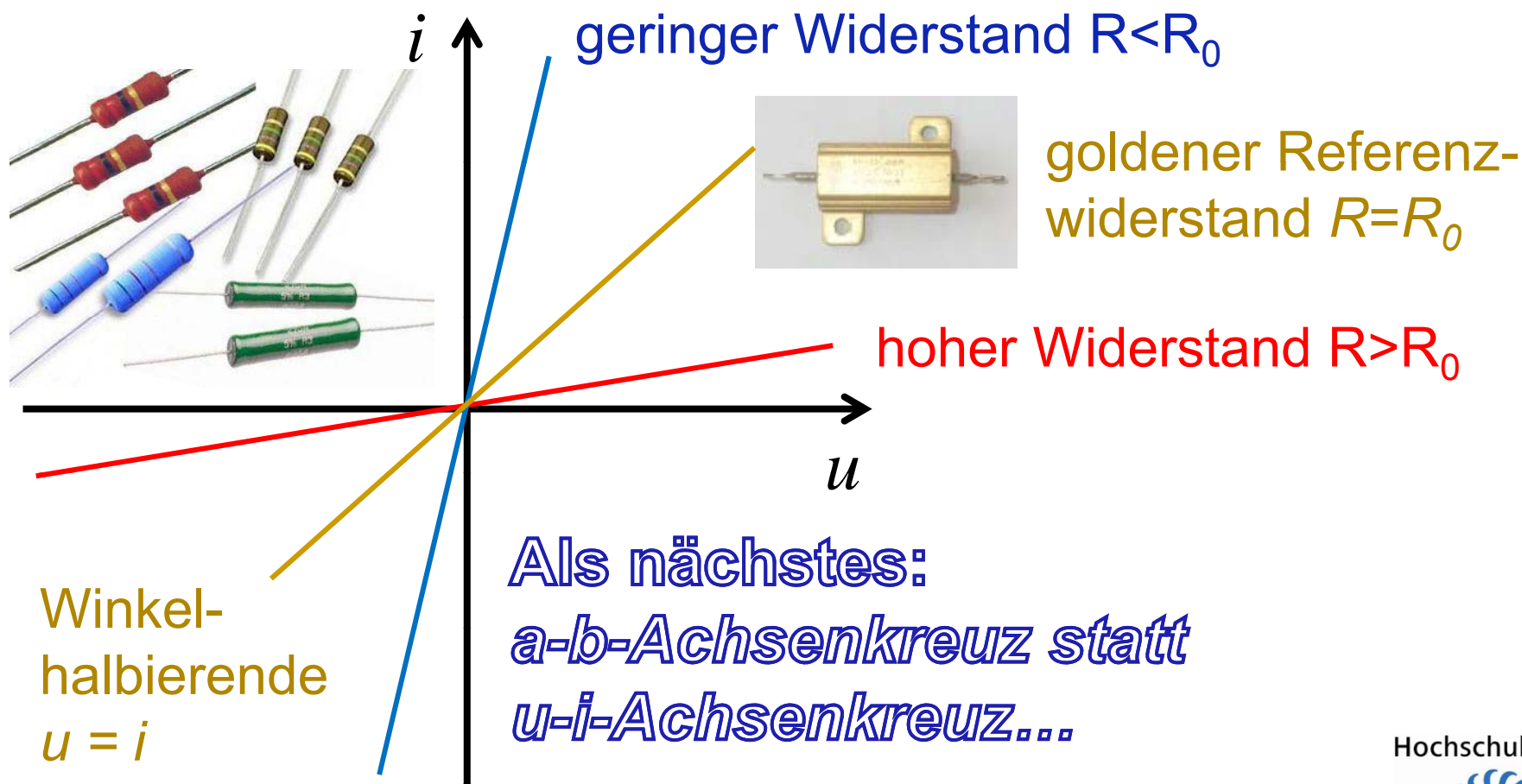
**Beliebiger Widerstand  $R$ !!!**



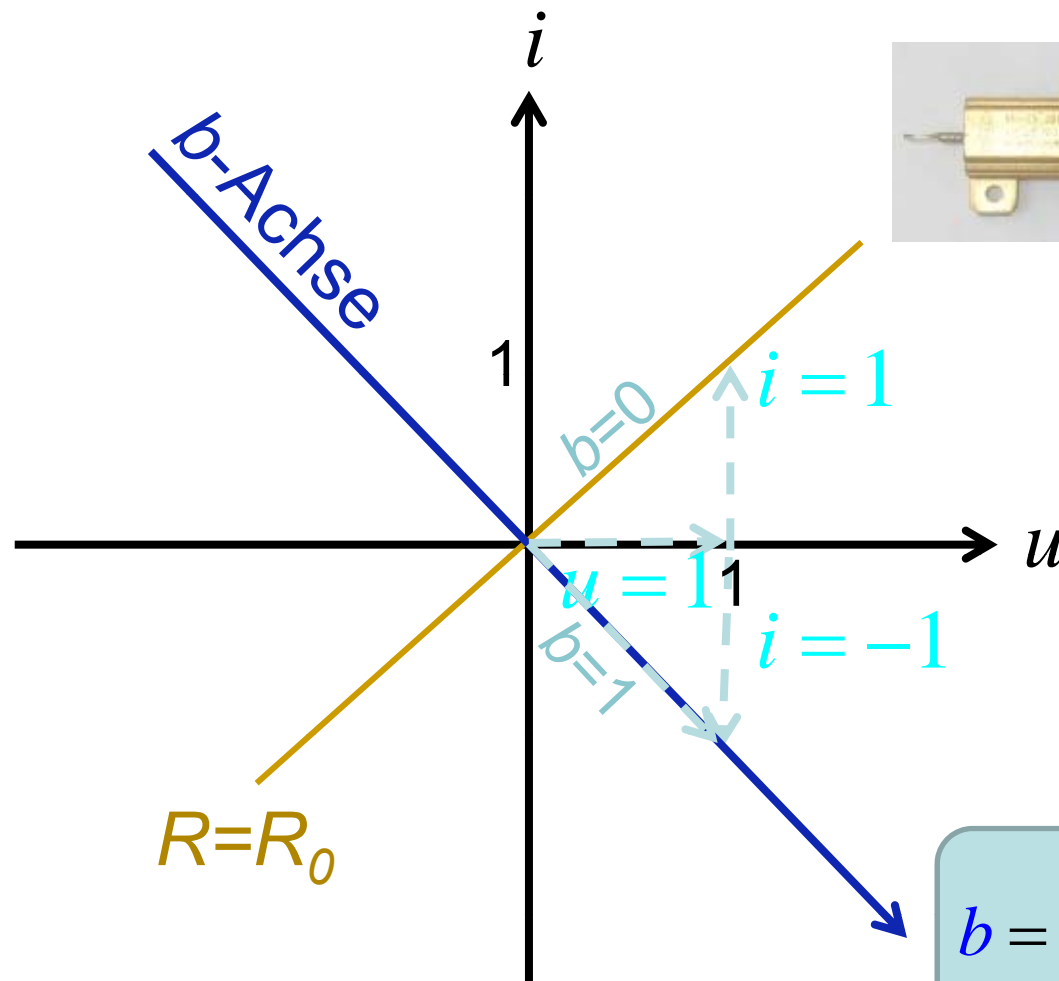
# Das Ohmsche Gesetz in neuen Spannungs- und Stromeinheiten



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



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

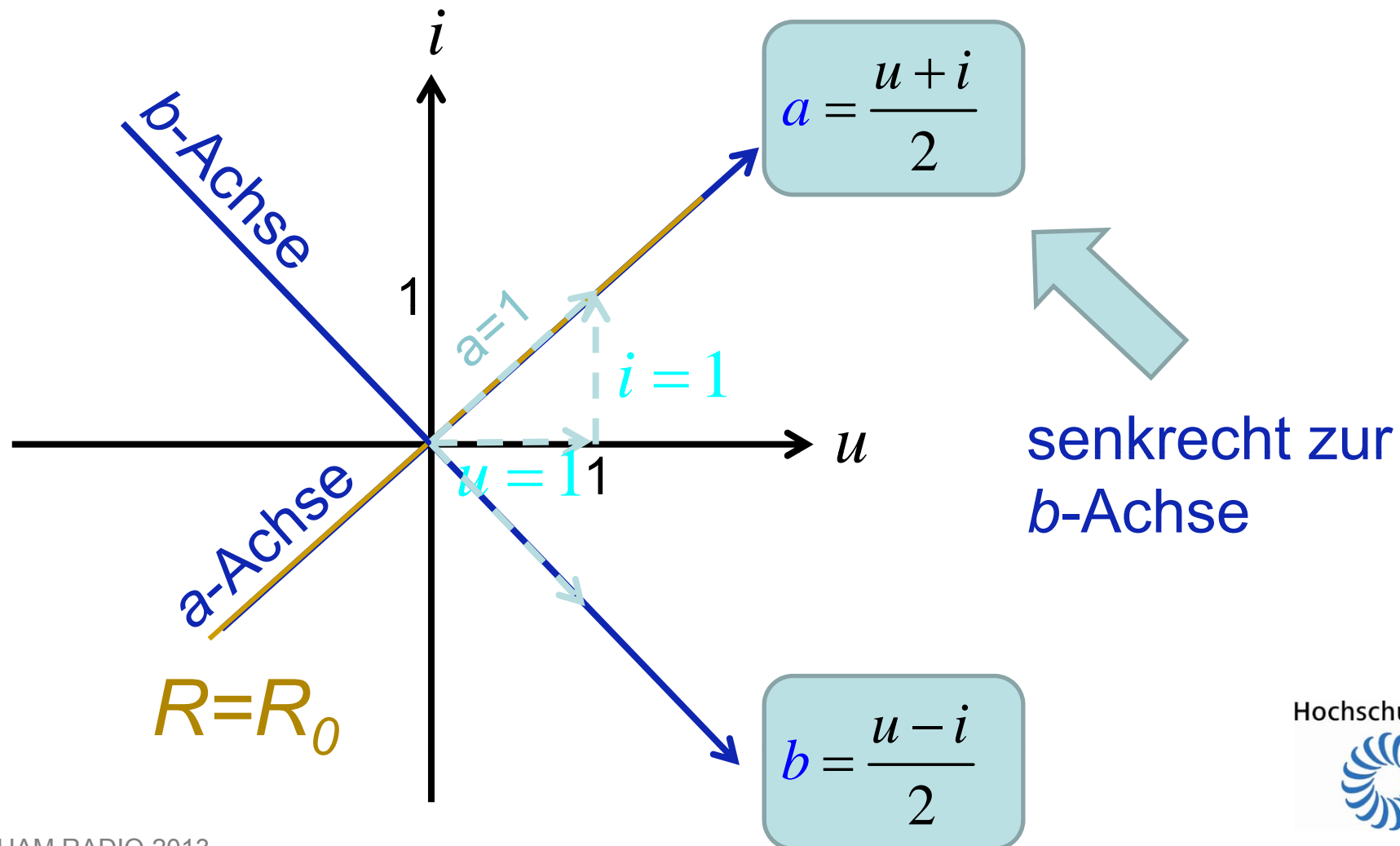


$b$  soll Null werden,  
wenn  $R=R_0$ ,  
d.h. für  $u = i$

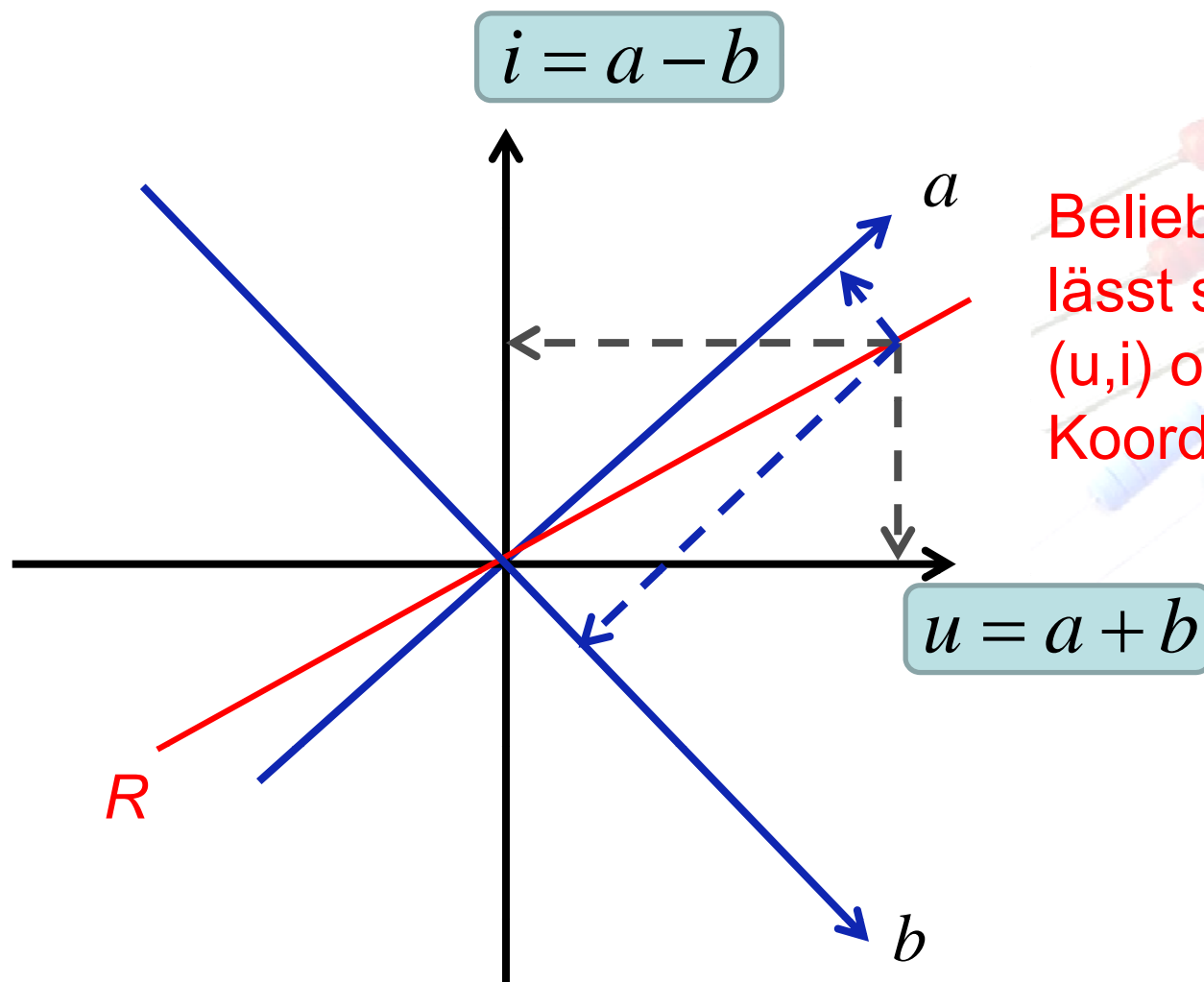
$$b = \frac{u - i}{2}$$



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

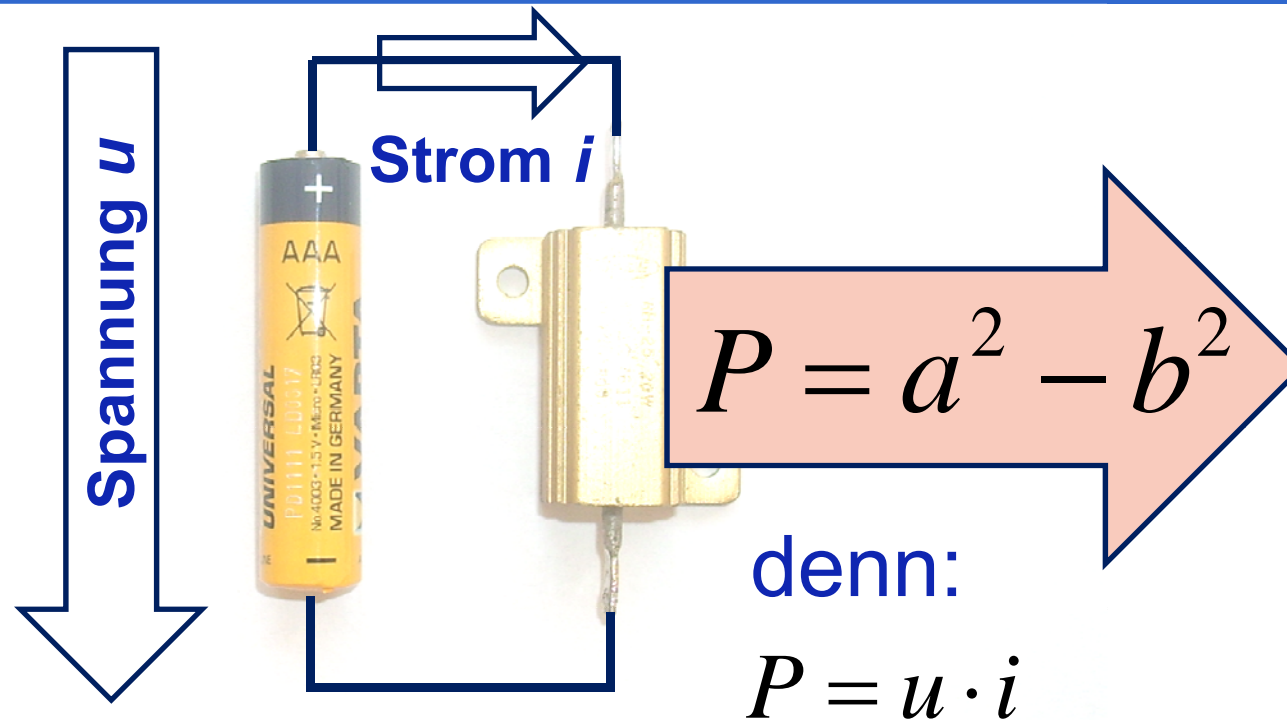


# Das geht auch umgekehrt: Spannung und Strom aus $a$ und $b$



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

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



denn:

$$P = u \cdot i$$

falls  $R = R_0 \Rightarrow b = 0$

$$\Rightarrow P = a^2$$

$$= (a + b) \cdot (a - b)$$

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

Hochschule Ulm



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  $i$ :

$$\begin{array}{l} u = a + b \\ i = a - b \end{array} \Leftrightarrow \begin{array}{l} u + i = 2a \\ u - i = 2b \end{array}$$



# 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

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



# Jetzt fließt Wechselstrom!

## Komplexer Reflexionsfaktor $S = b/a$



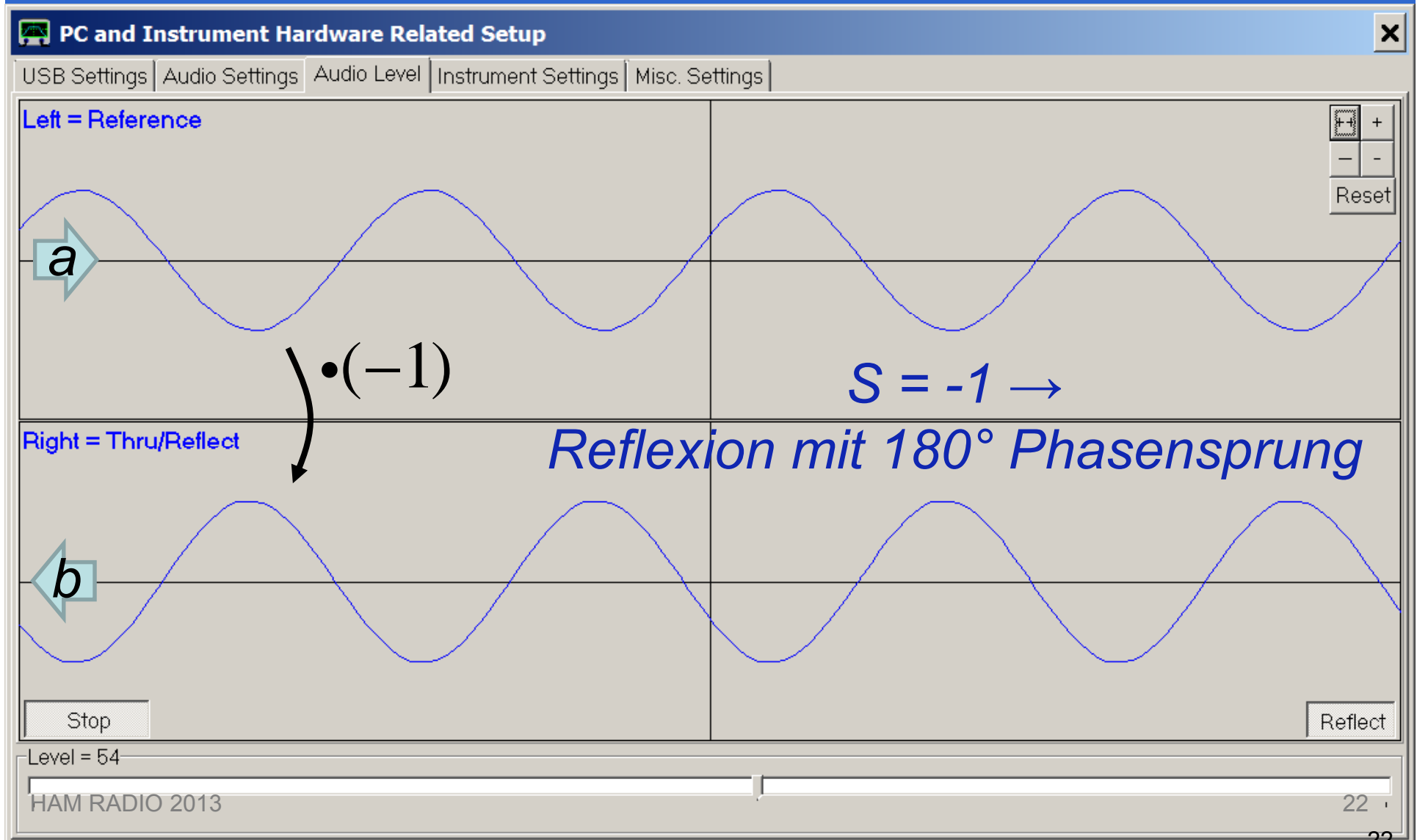
$a, b$  = komplexe Zahlen, enthalten Amplituden- und Phaseninformation, da Wechselstrom.

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

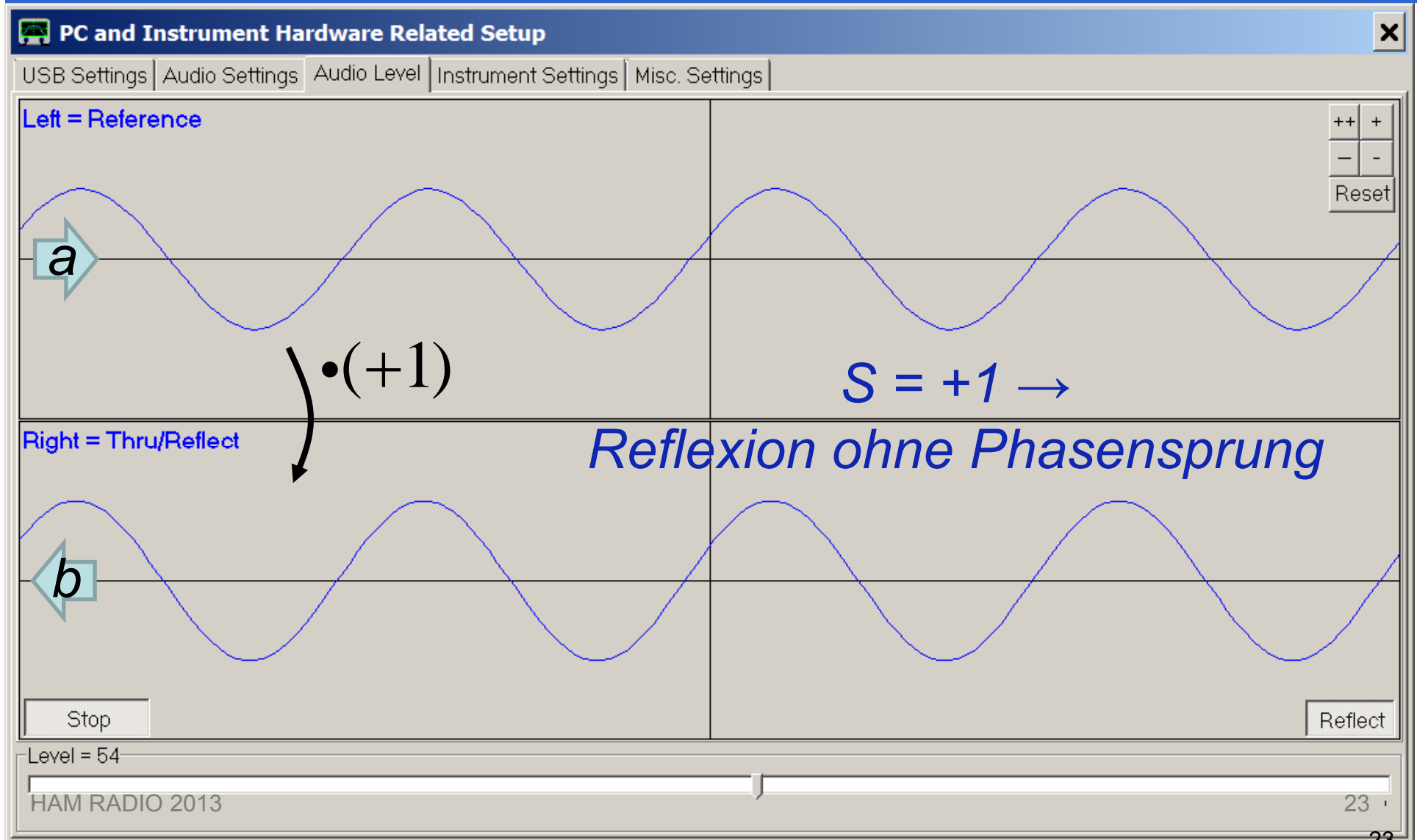
mit  $z = \frac{Z}{Z_0}$

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

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

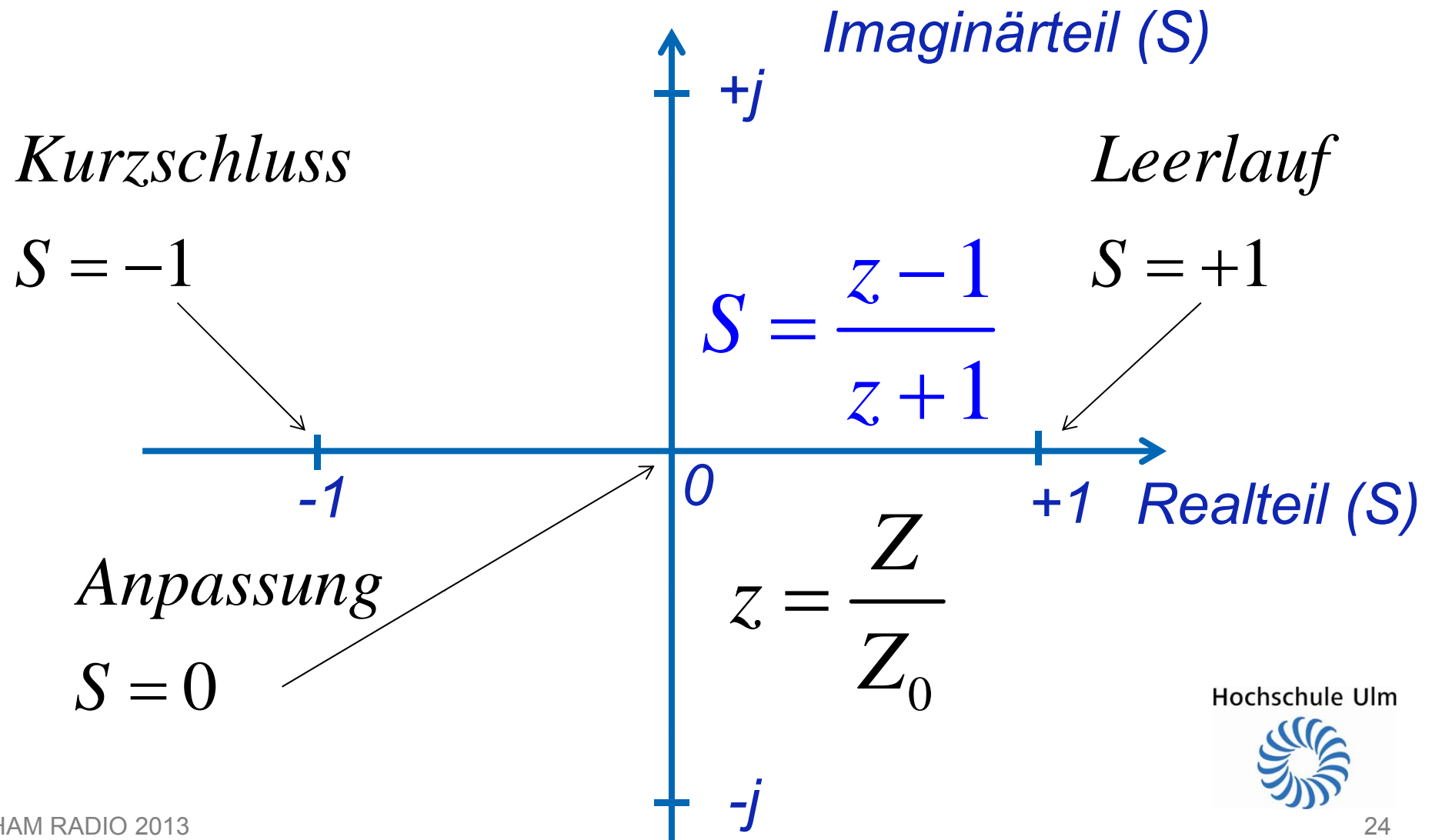


Beim VNWA kann man  $a$  und  $b$  anschauen, z.B. Leerlauf  $S=+1$ :



# Komplexer Reflexionsfaktor $S = b/a$

...



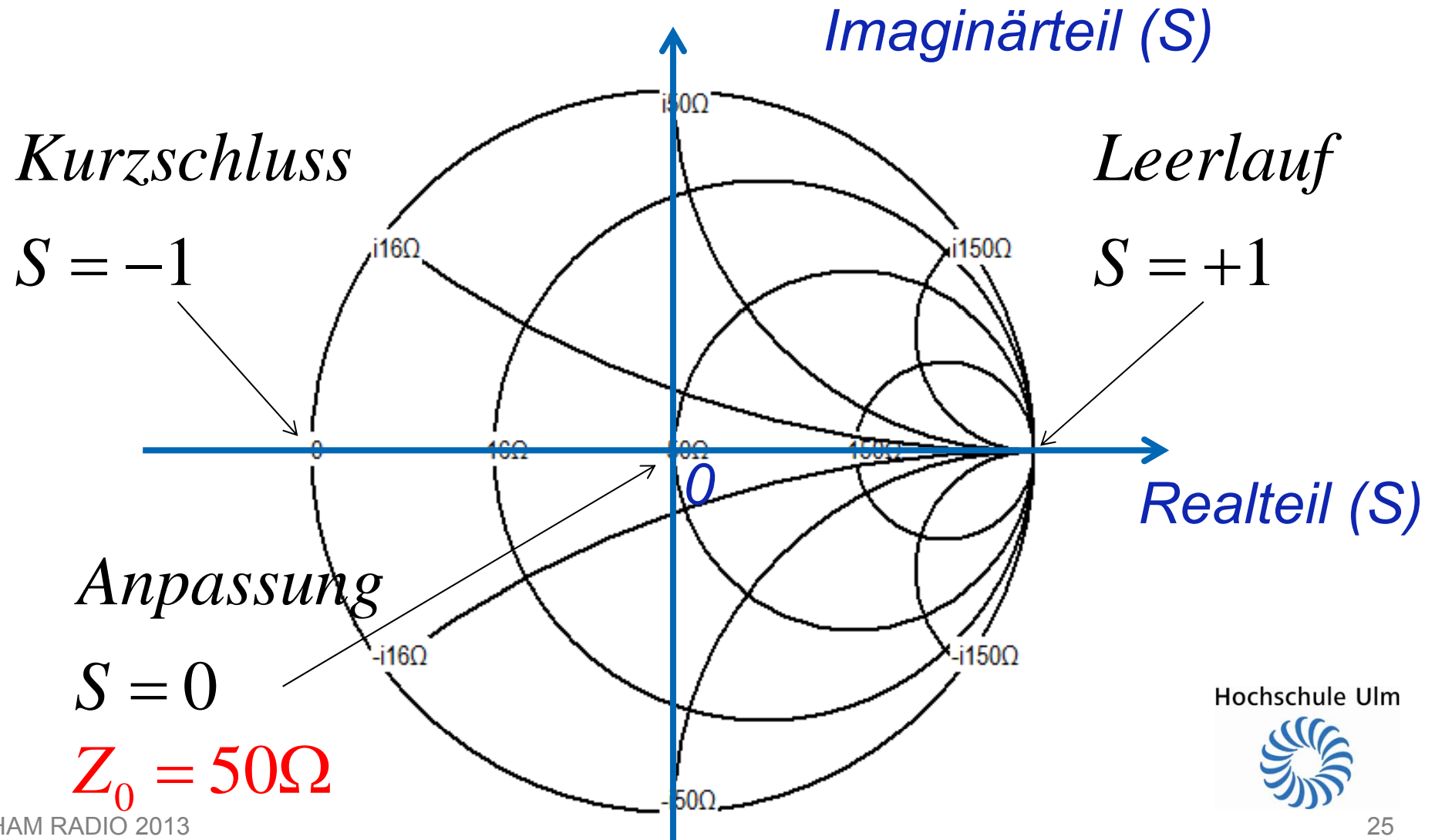
Hochschule Ulm



24

24

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

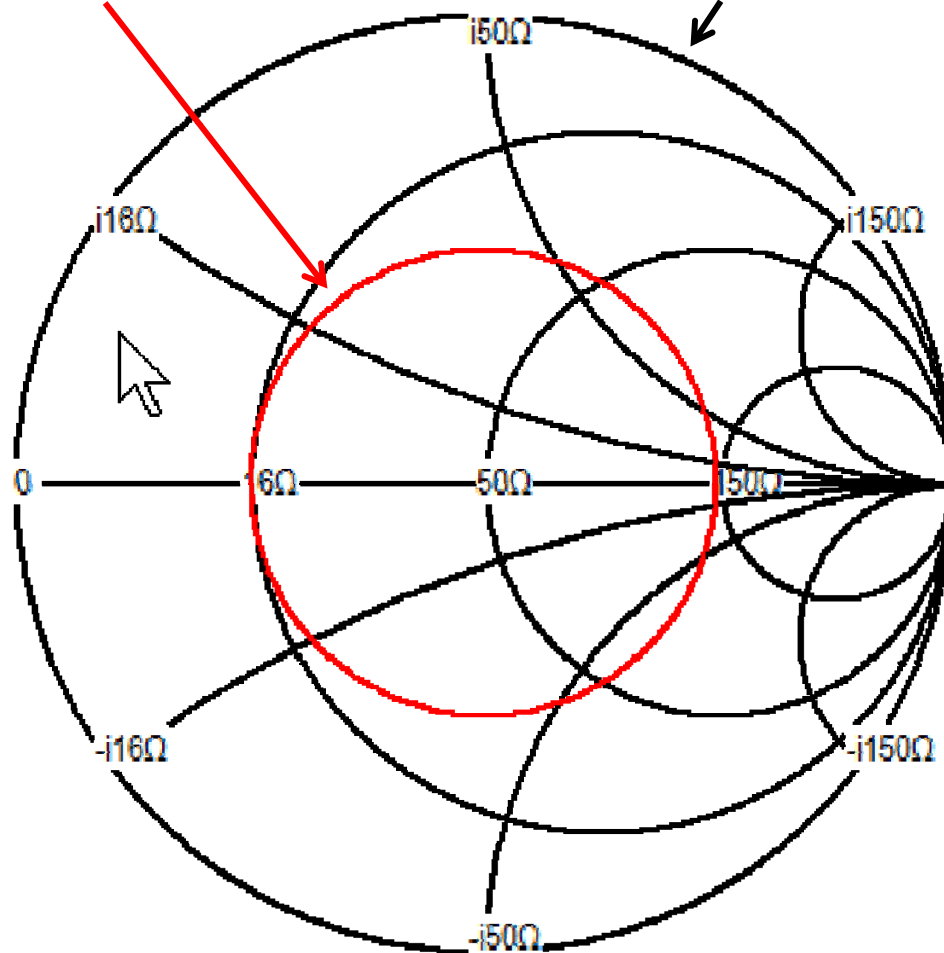


# Komplexer Reflexionsfaktor $S = b/a$ und Stehwellenverhältniss VSWR

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

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

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

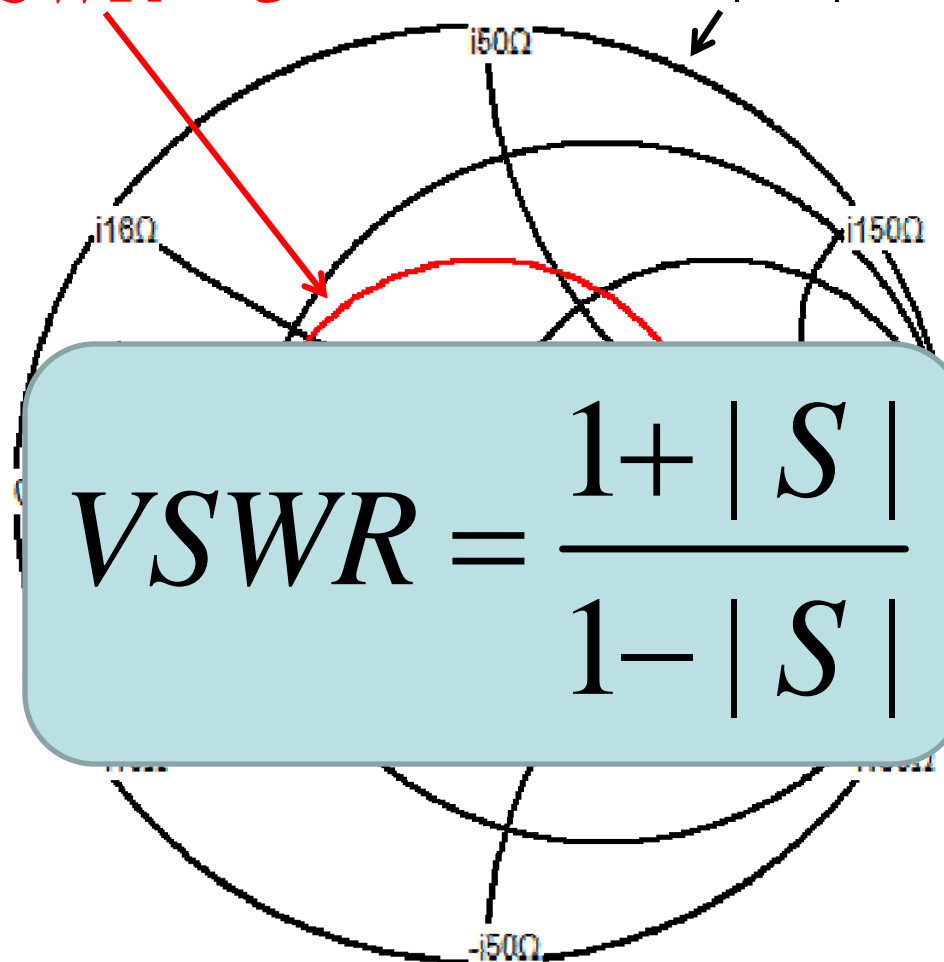


1 · 1 = 100%  
reflektierte Leistung

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

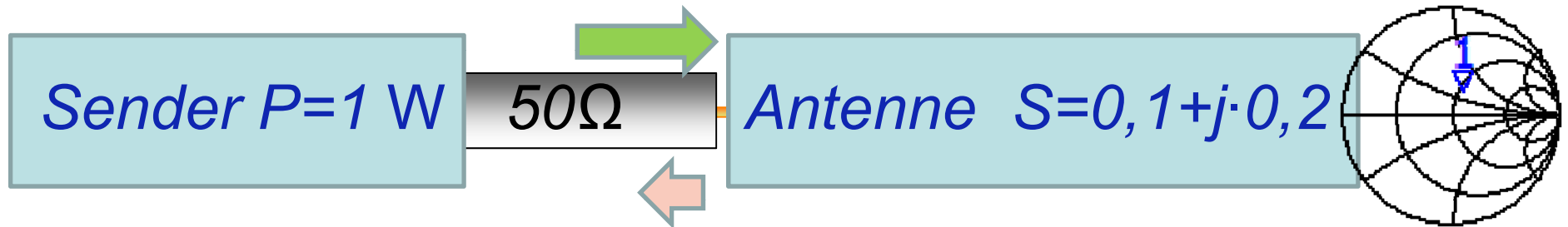
$$|S| = 0,5 \quad VSWR = 3$$

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



# Komplexer Reflexionsfaktor $S = b/a$

## Rechenbeispiel: Reflektierte Leistung



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

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

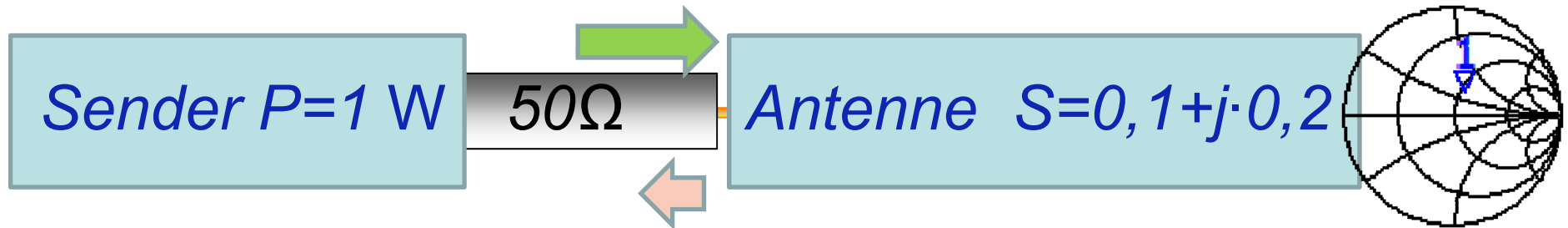
Reflektierte Leistung:

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



# Komplexer Reflexionsfaktor $S = b/a$

## Rechenbeispiel: VSWR



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

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

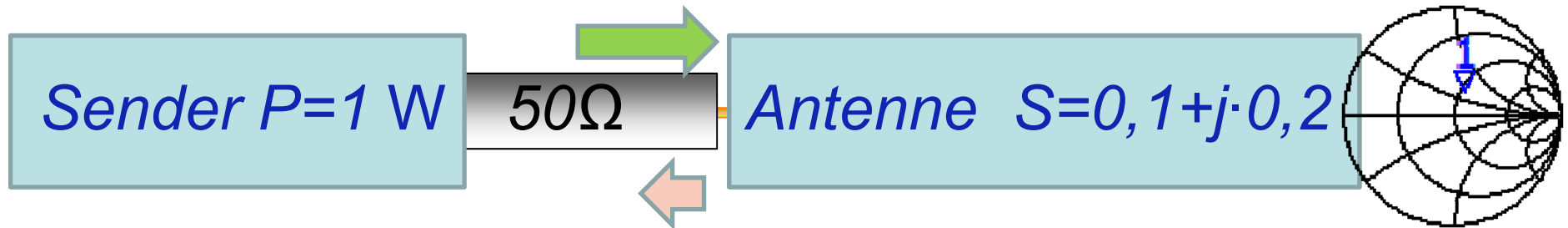
VSWR:

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

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

# Komplexer Reflexionsfaktor $S = b/a$

## Rechenbeispiel: Antennenspannung



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

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

Effektivspannung an Antenne:

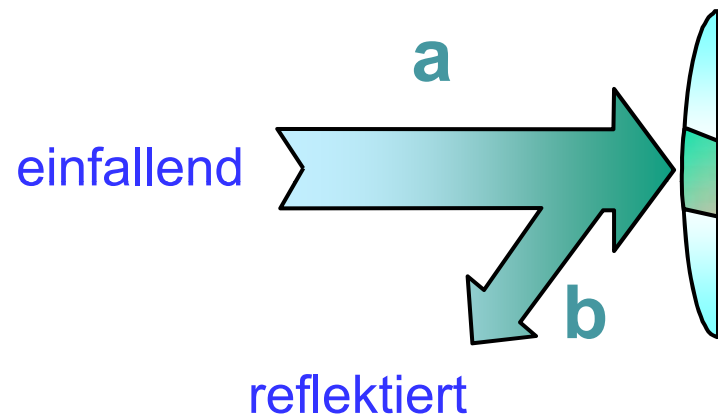
$$u = a + b = 1,1\sqrt{W} + j0,2\sqrt{W}$$

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

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

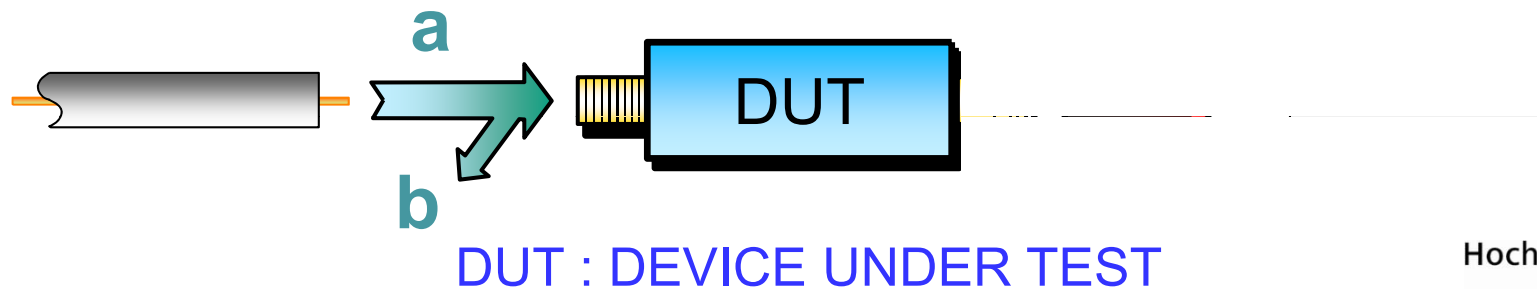
Komplexer Reflexionsfaktor  $S = b/a$   
heißt jetzt Streuparameter!

## Optik



Streuung und  
Absorption von  
Wellen an einem  
Anschluss

## Elektrik

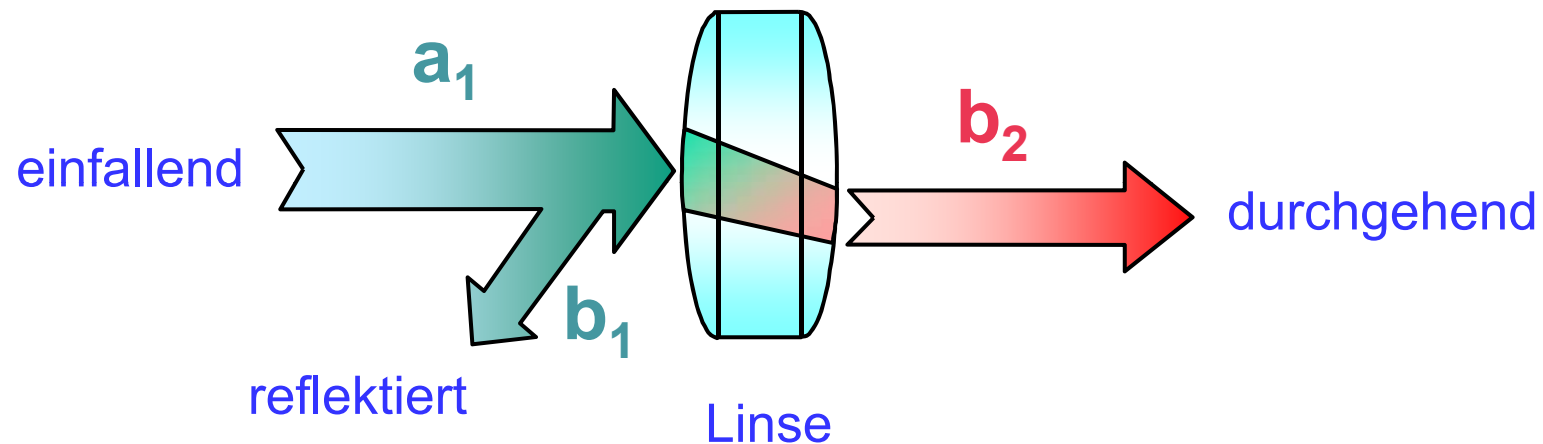


Hochschule Ulm

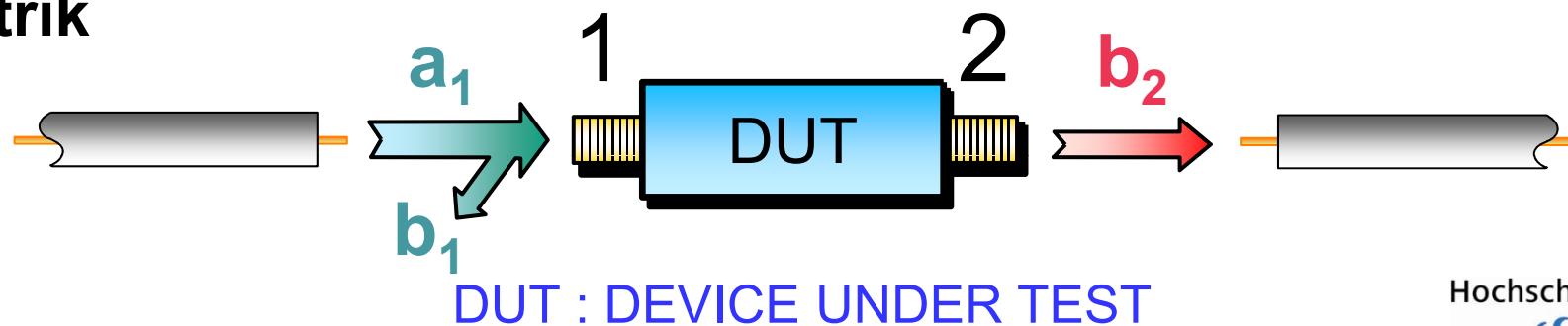


# Streuparameter oder kurz S-Parameter: Jetzt 2 Anschlüsse!

## Optik



## Elektrik

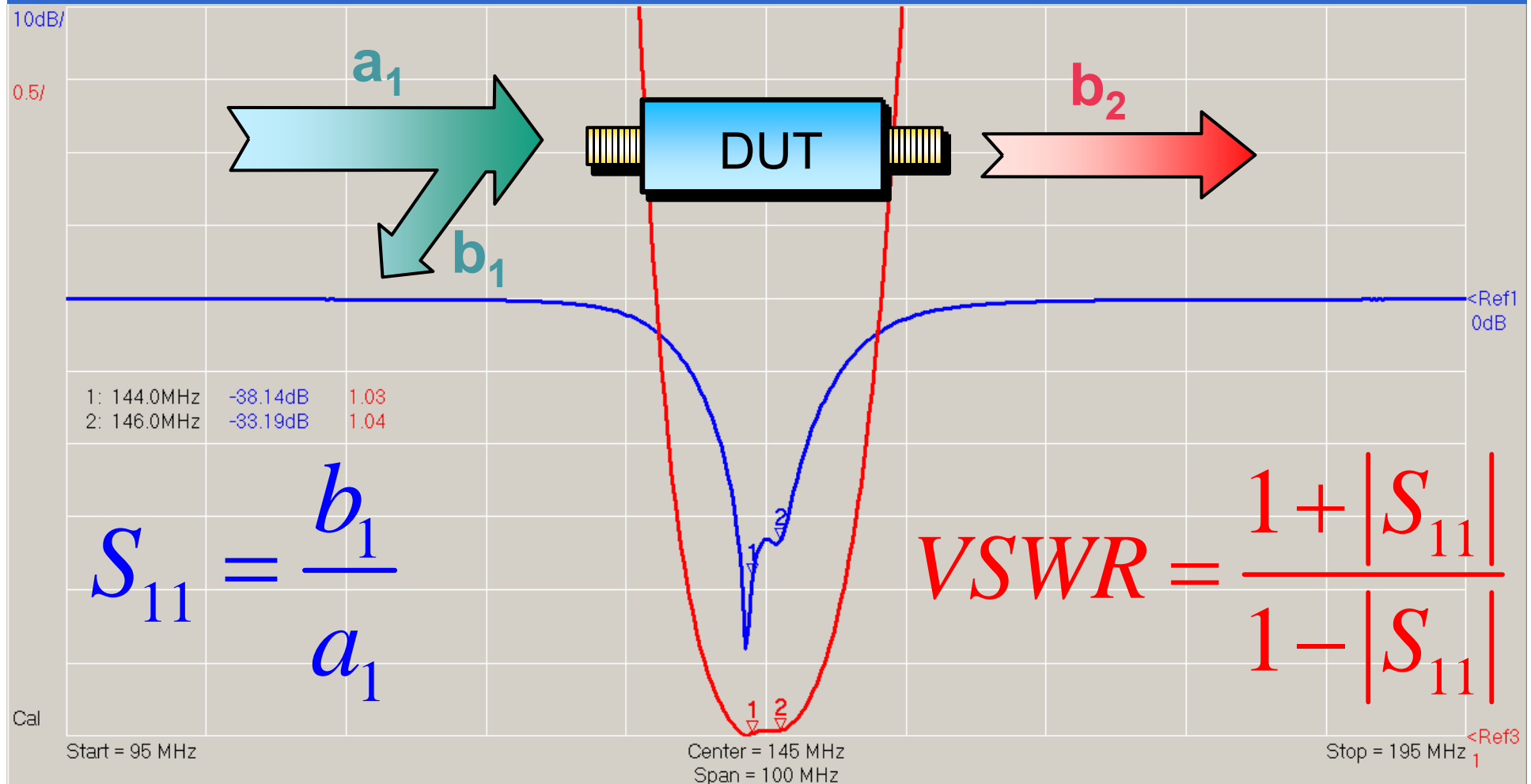


Hochschule Ulm



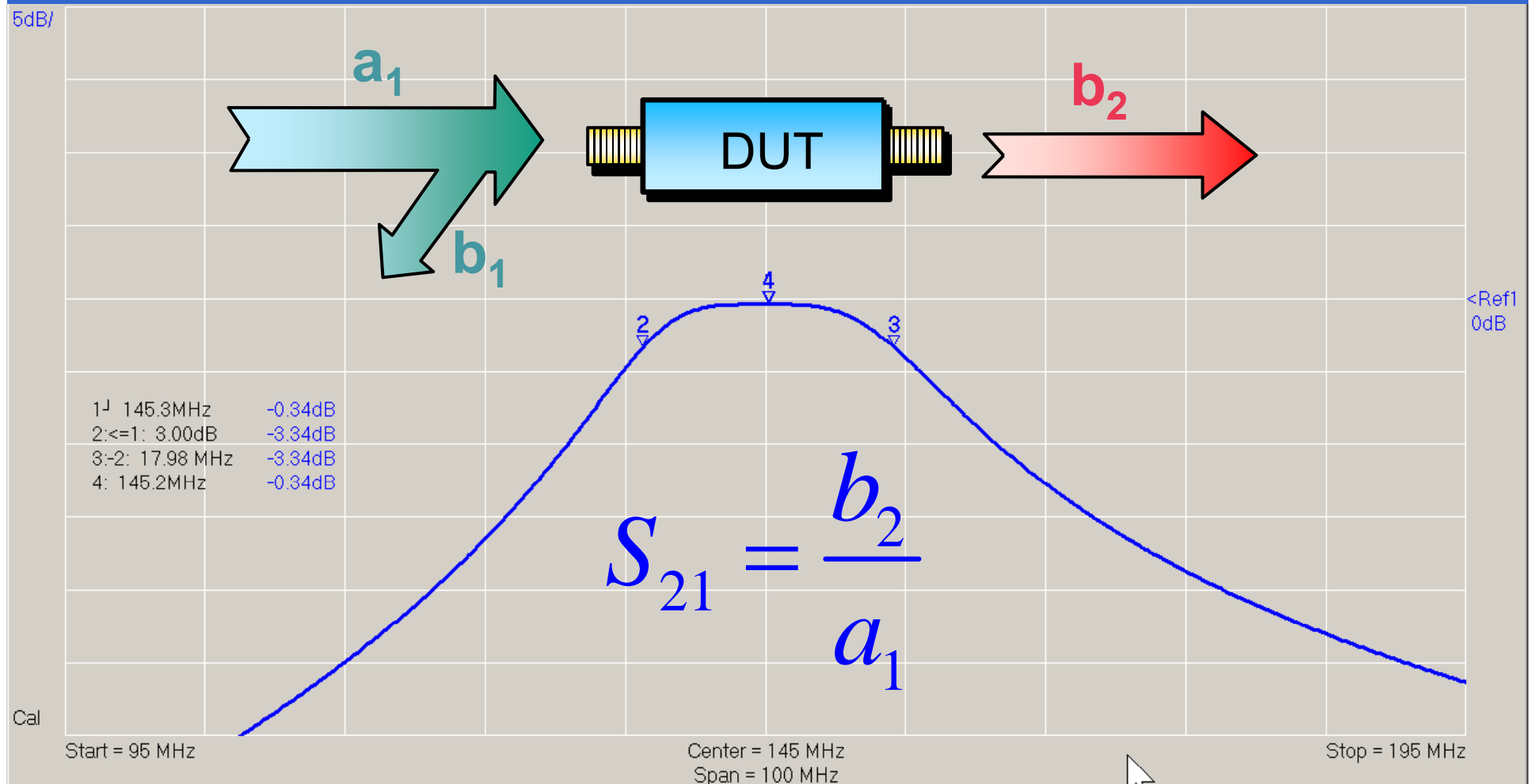
# S-Parameter $S_{11}$ (war bisher S)

→  $|S_{11}|$  → Rückflussdämpfung

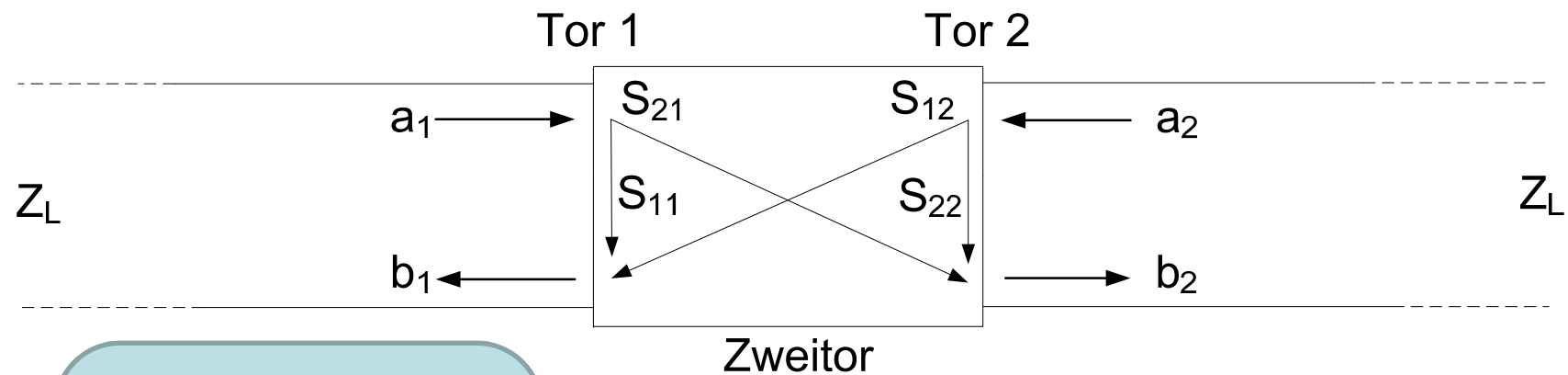


# S-Parameter $S_{21}$

→  $|S_{21}| =$  Durchgangsverstärkung



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



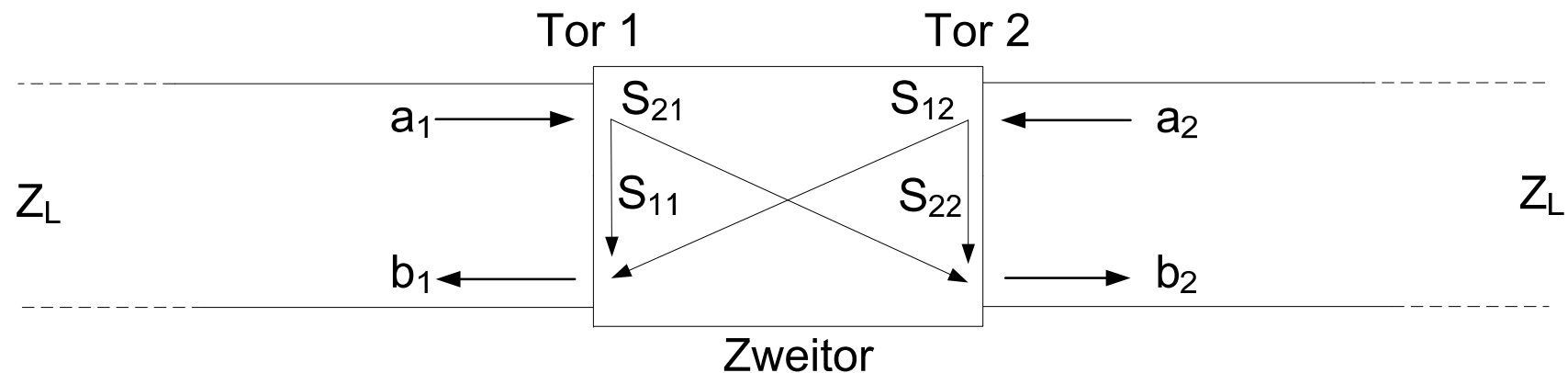
$$S_{ik} = \frac{b_i}{a_k}$$

$i, k = 1 \dots \text{Anzahl Tore}$

Hochschule Ulm



# 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 ???



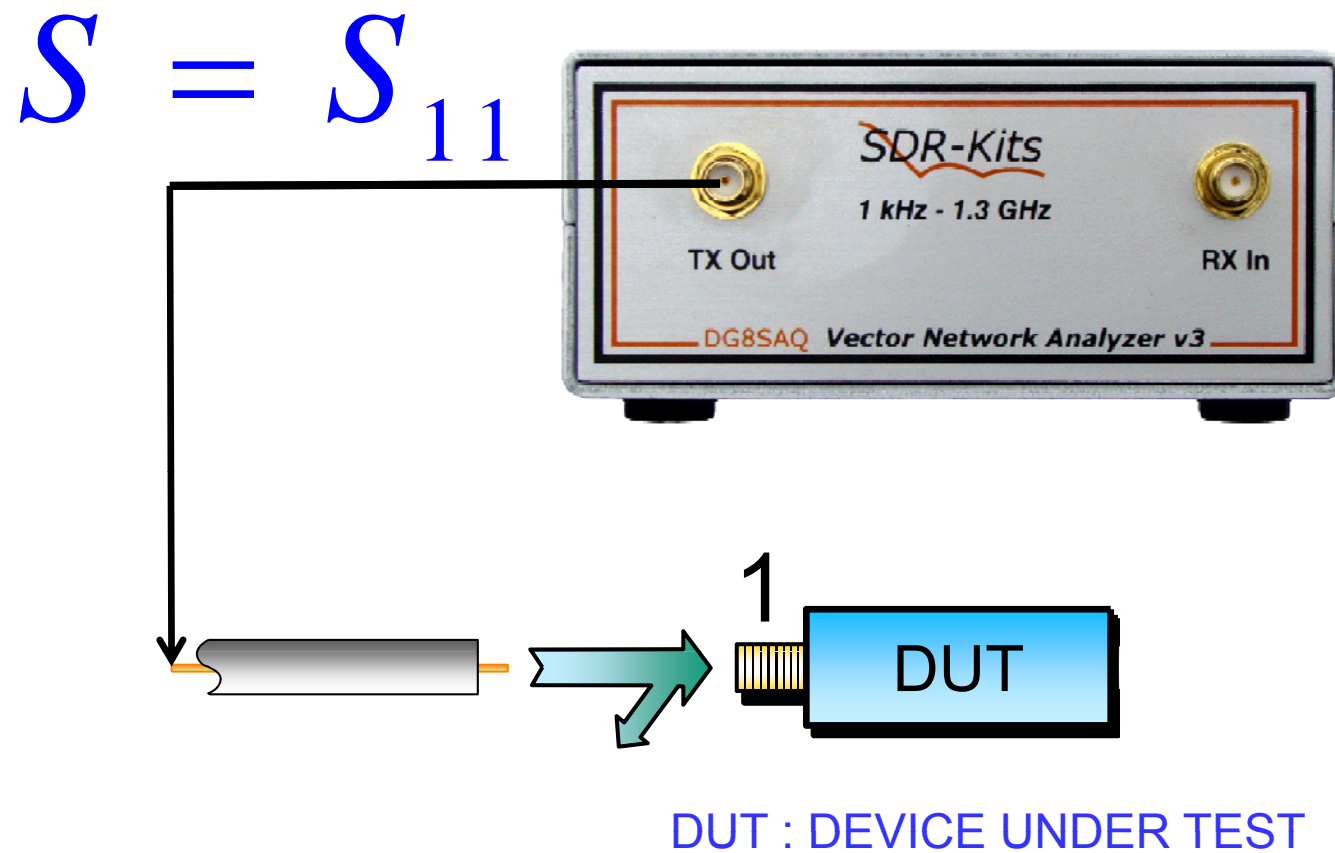
# Wie misst man S-Parameter mit einem Vektor-Netzwerkanalysator?

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



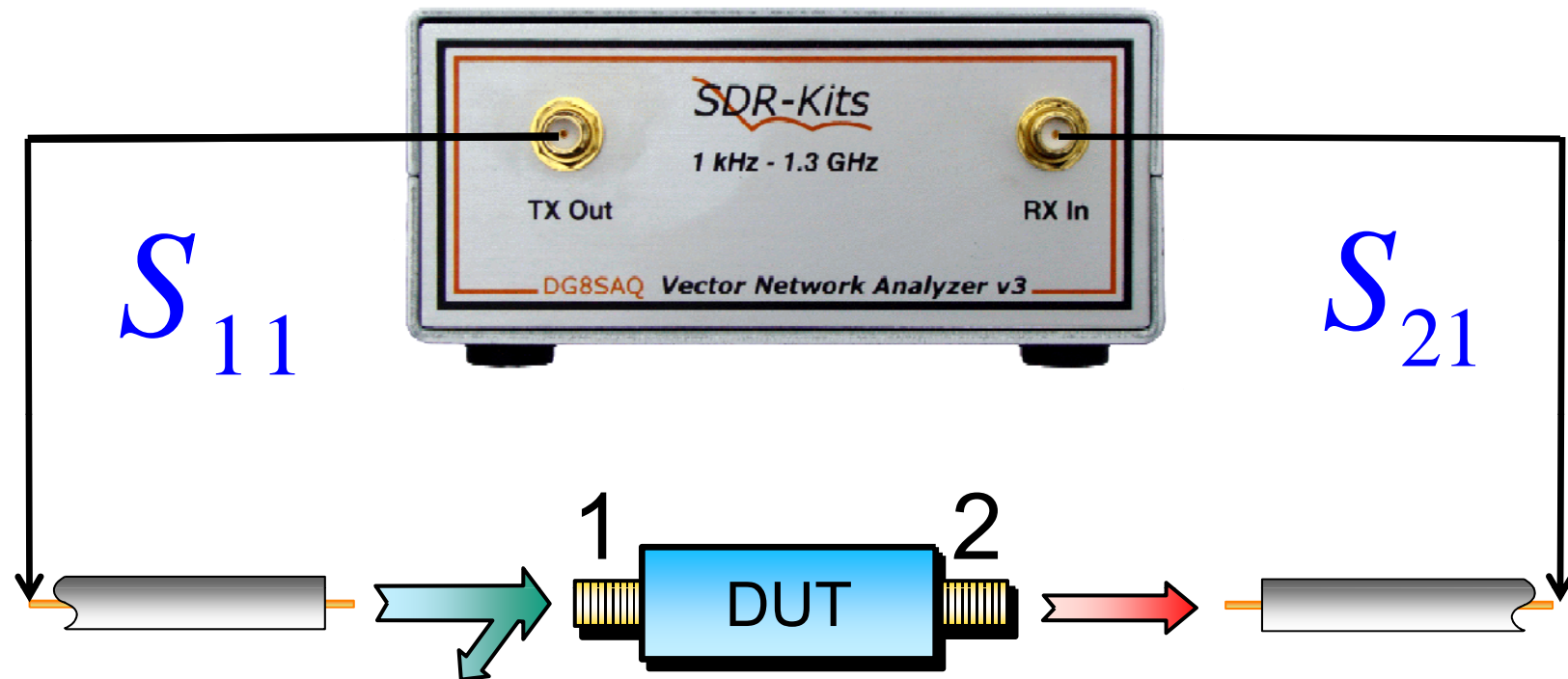
# Messaufbau mit dem VNWA

## Beispiel Eintor:



# Messaufbau mit dem VNWA

## Beispiel Zweitor vorwärts



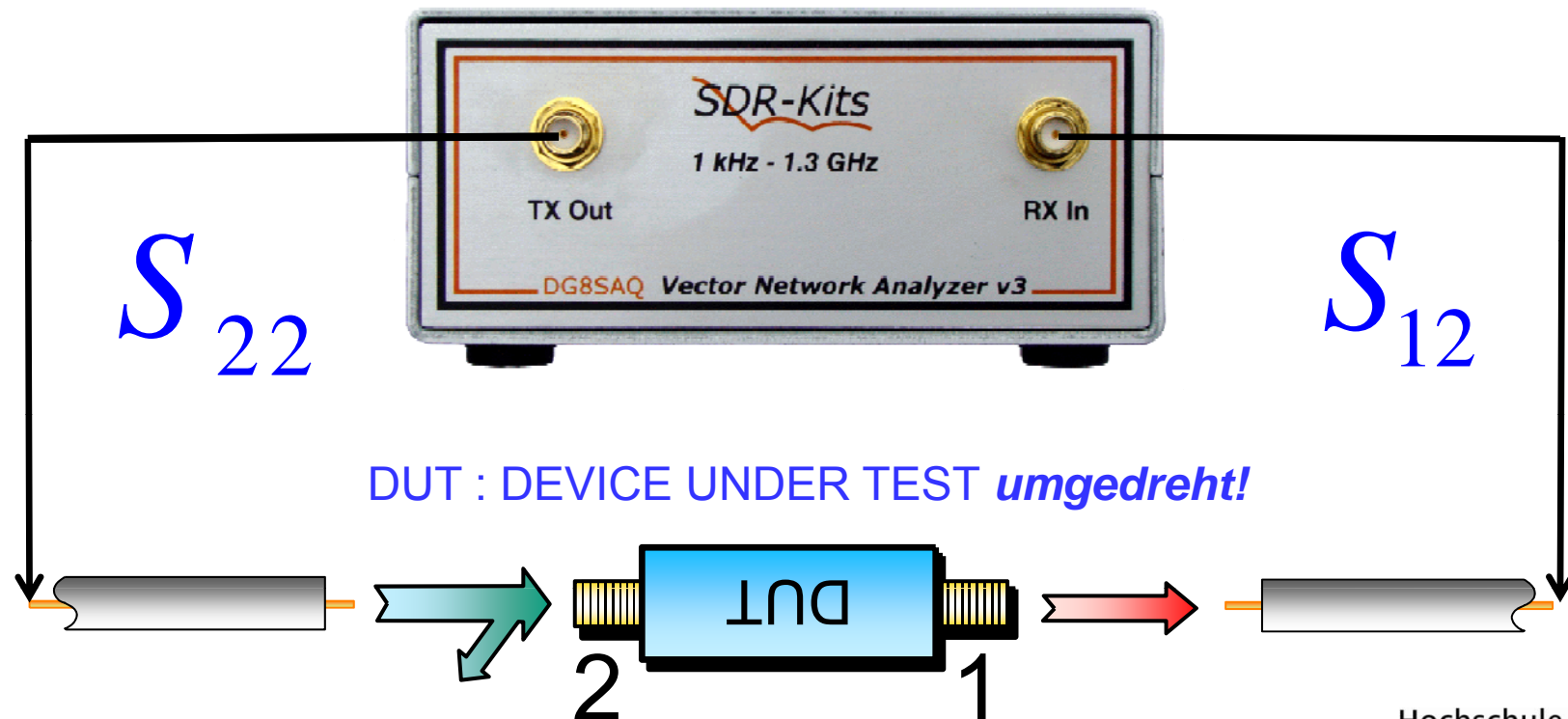
DUT : DEVICE UNDER TEST

Hochschule Ulm



# Messaufbau mit dem VNWA

## Beispiel Zweitor rückwärts



Hochschule Ulm



# Fehlerkorrektur durch Kalibrierung Fehlerquellen



Hier kalibrieren wir.

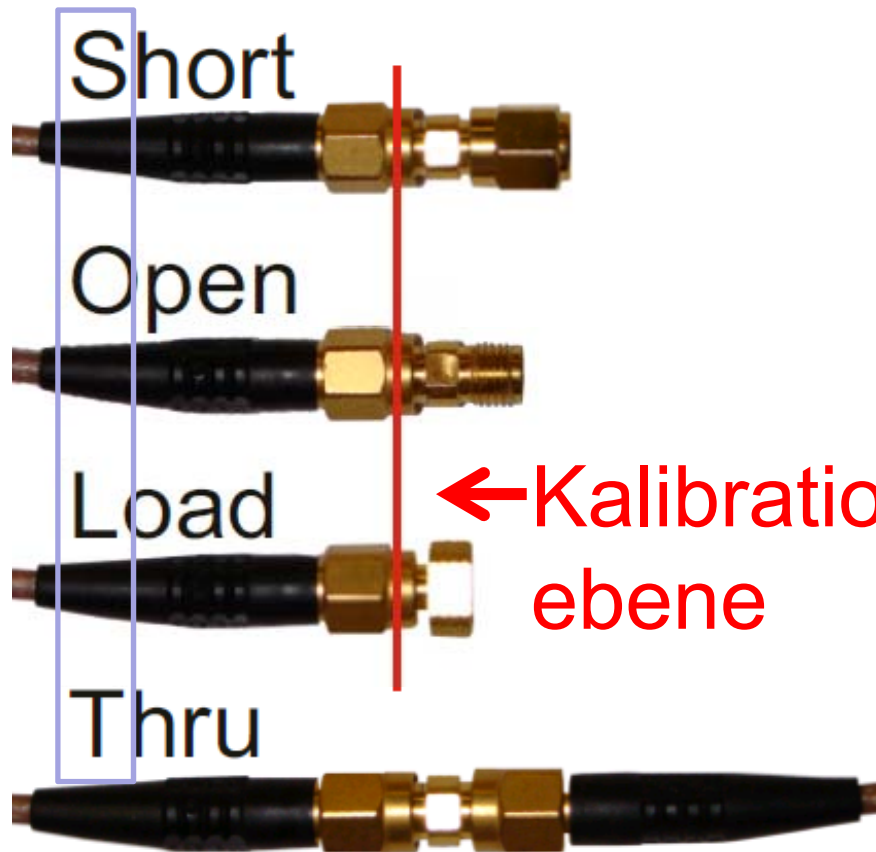
Hier wollen wir messen

Hochschule Ulm



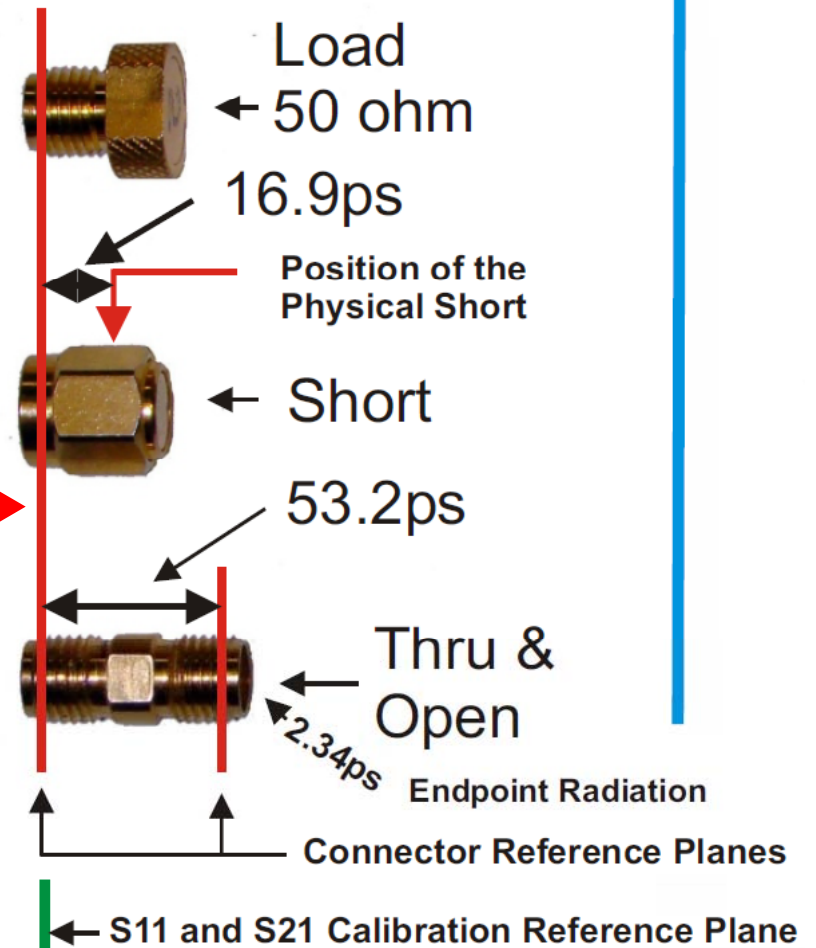


# SOLT-Kalibrierung eliminiert Fehler durch VNWA und Messkabel ...



← Kalibrations-  
ebene

## Female Calibration Kit



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

... 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

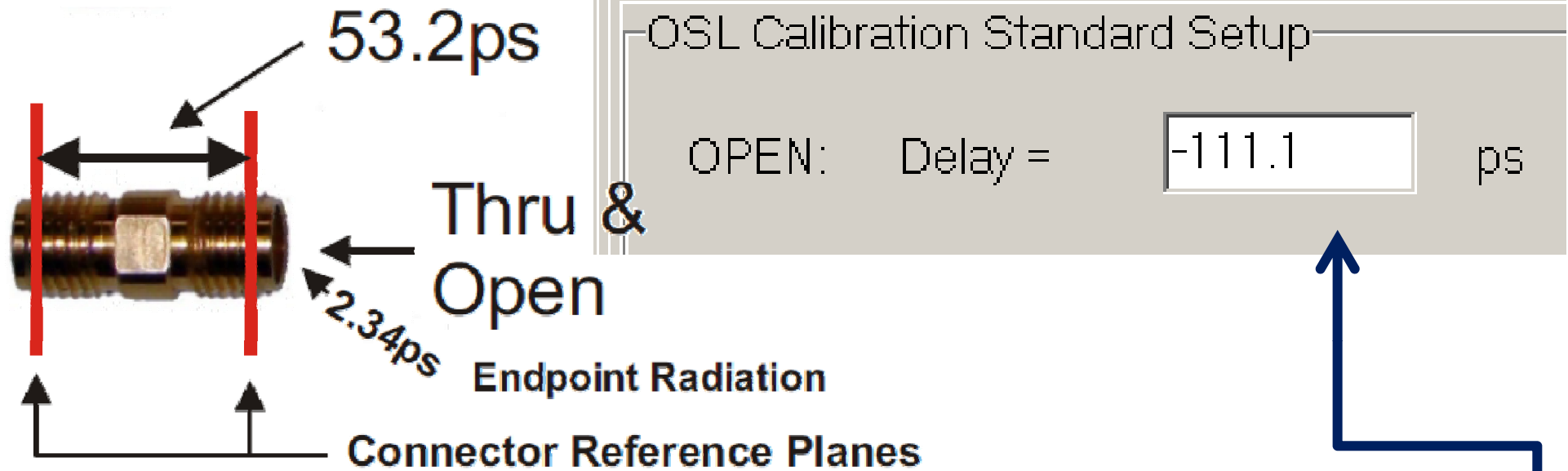
THRU: Transmission Delay =  ps => electrical length = 11.172 mm

HAM RADIO 2013





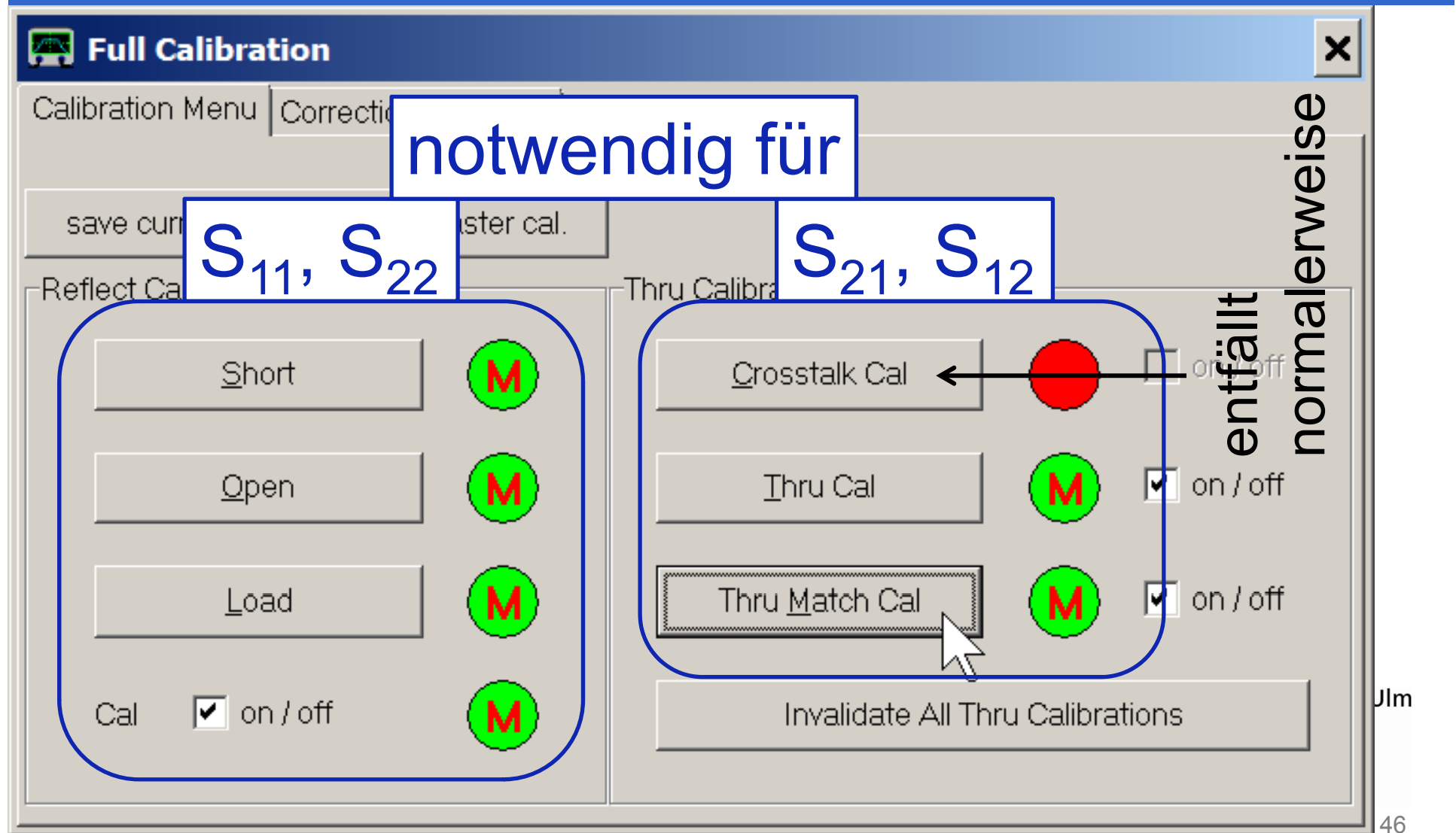
# Beispiel Open-Standard



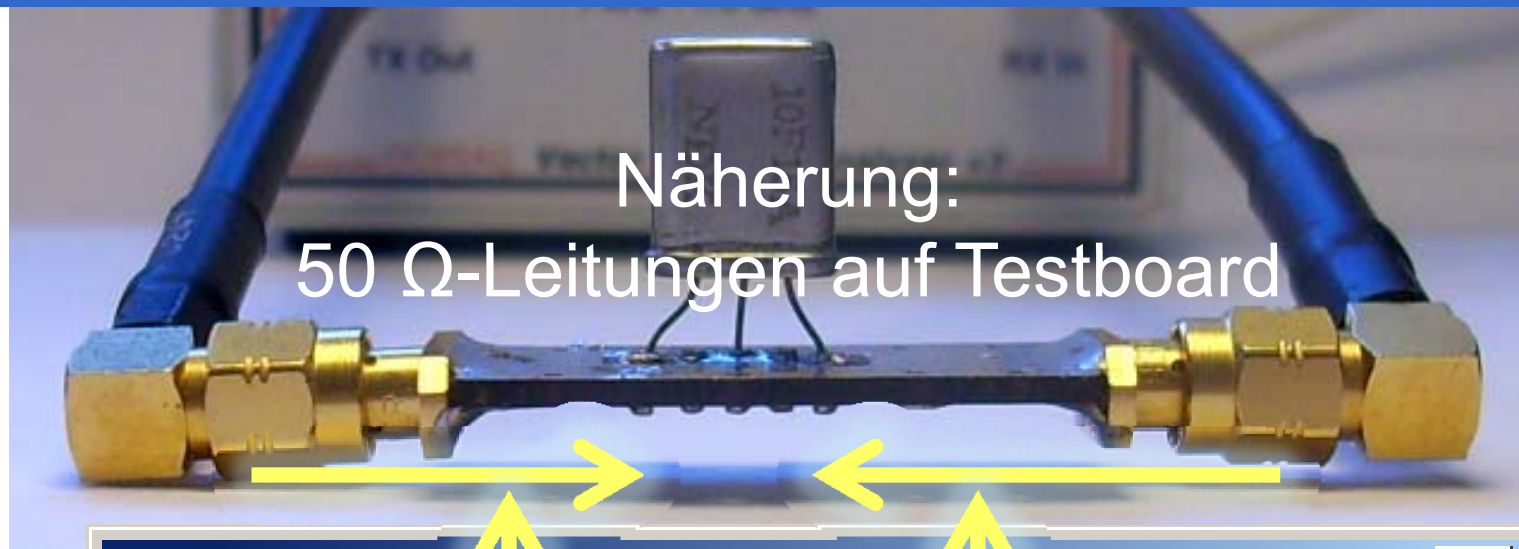
Von Kalibrationsebene durchläuft Signal den Open-Standard hin und zurück, also zweimal:

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

# Jetzt Standards an VNWA anschließen und kalibrieren



# Laufzeitkorrektur Kalibrationsebene nach Messebene mit Port Extensions



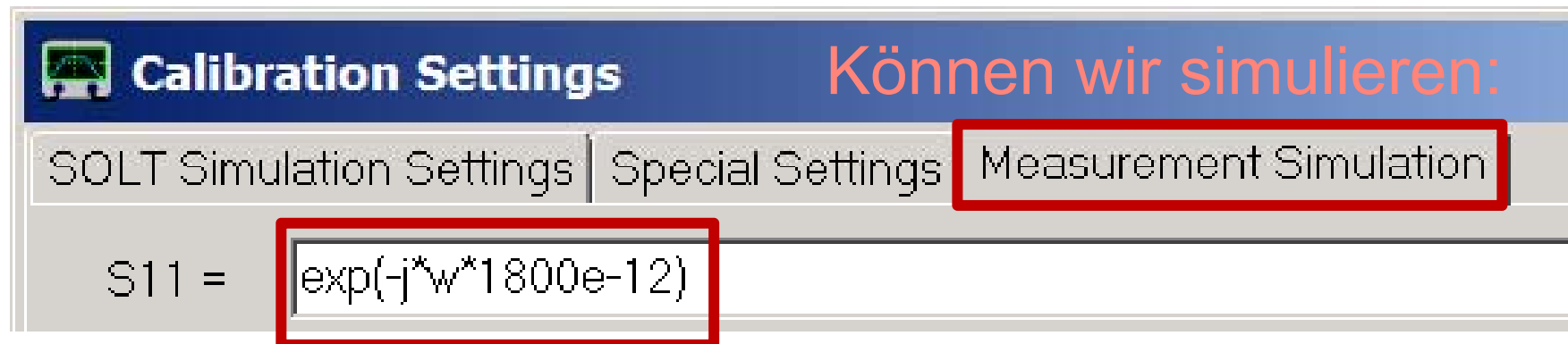
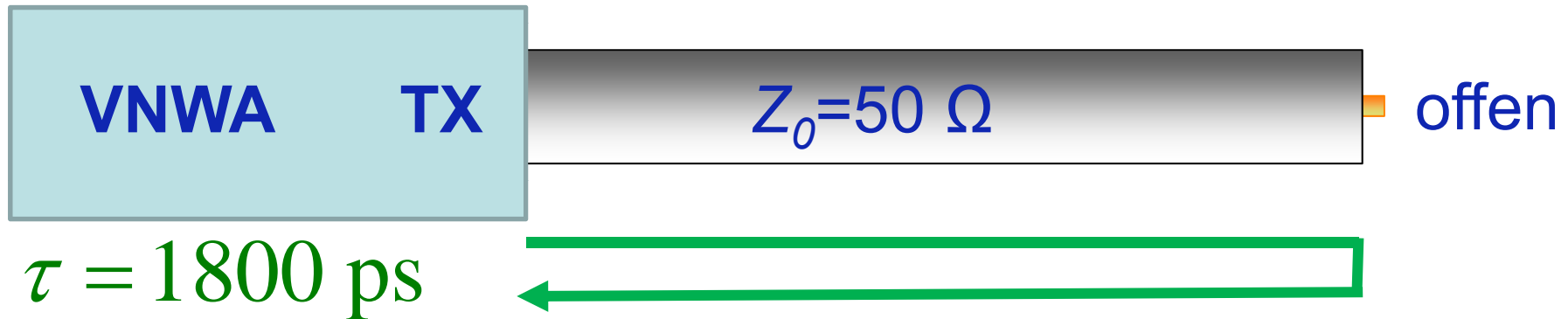
$S_{11}$   
 $S_{22}$

**Port Extensions** [X]

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

# Effekt falscher Cal Parameter: Port Mismatch

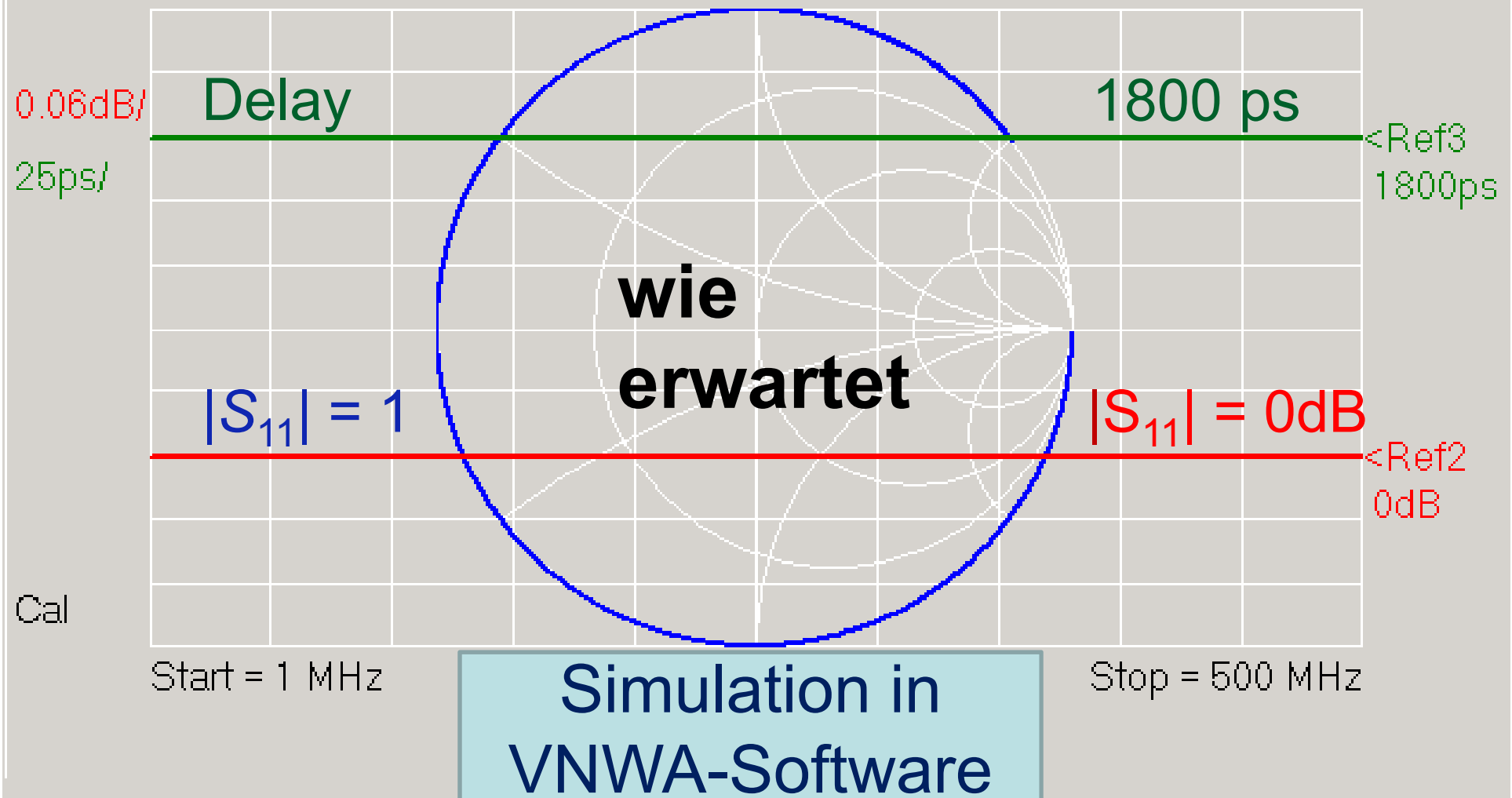
## Beispiel offene 50 Ohm – Leitung (1)



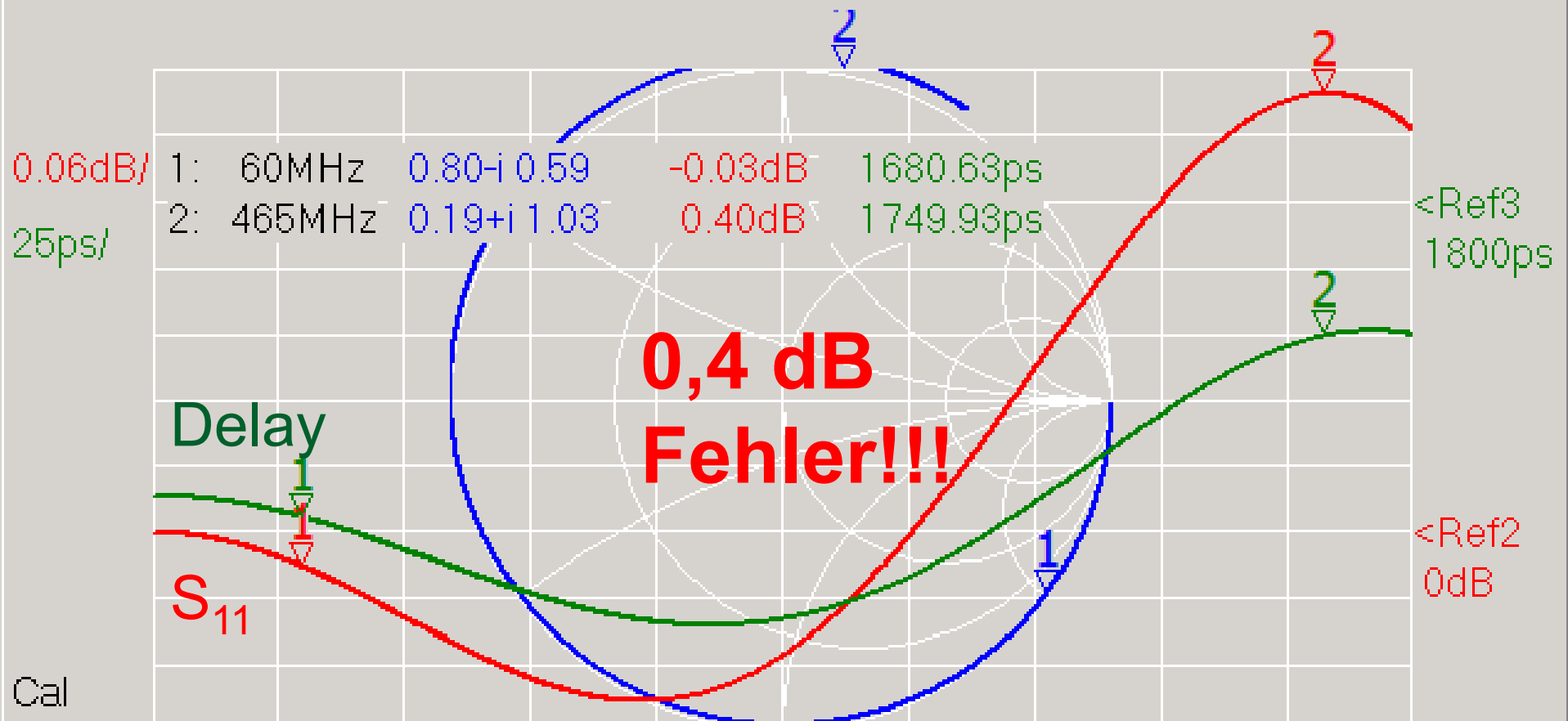
d.h.  $|S_{11}| = 1$  alles wird reflektiert  
 $\text{Phase}(S_{11}) = -\omega \cdot 1800 \text{ ps}$

# Beispiel offene 50 Ohm – Leitung (2)

## Mit Amphenol Female Parametern simuliert



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



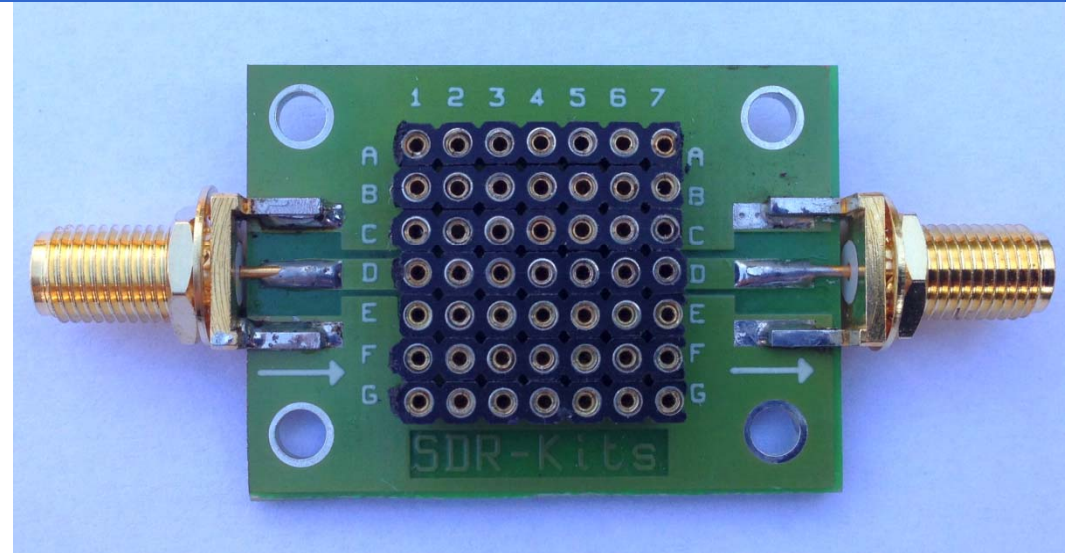
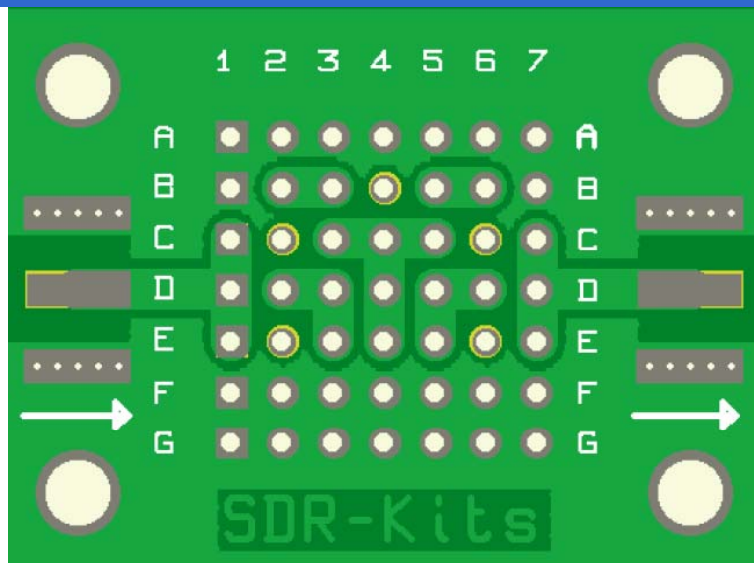
Zuvor simulierte Messdaten erneut fehlerkorrigiert  
mit geänderten Cal-Parametern

# Anwendungsbeispiele ...





# Testboard für Experimente im KW-Bereich



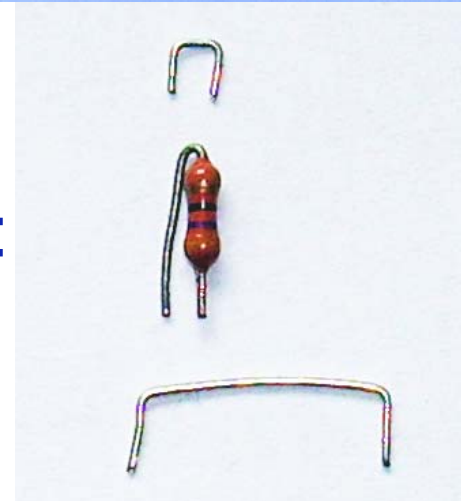
**Kalibrations-  
standards:**

Open = n.c.

Short:

Load =  $47\Omega$ :

Thru:

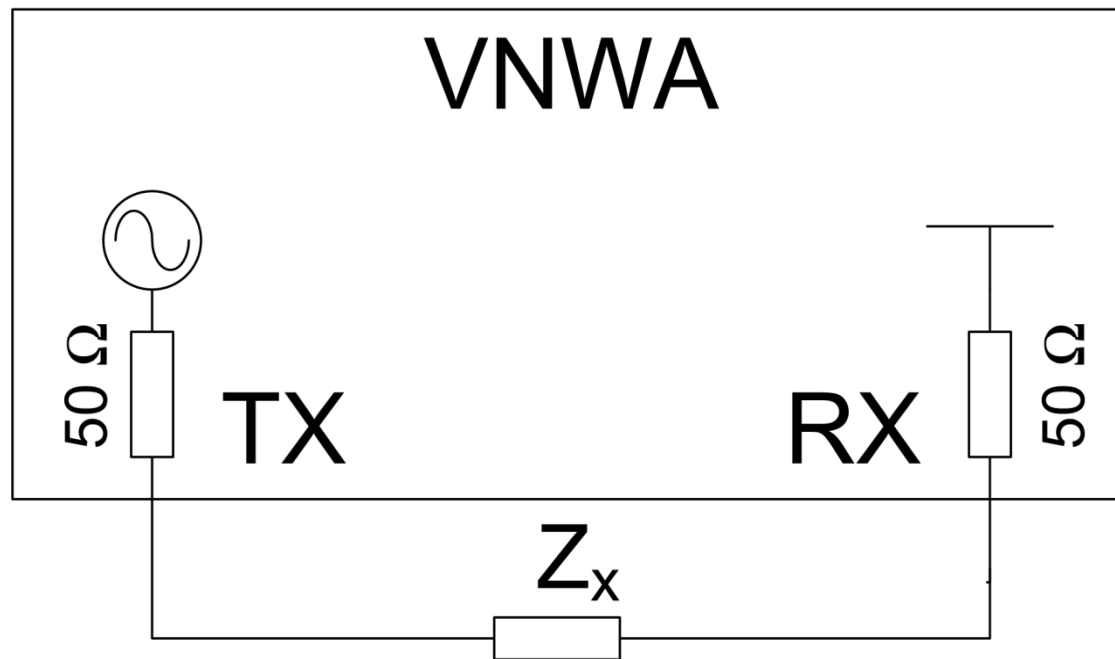


Hochschule Ulm





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

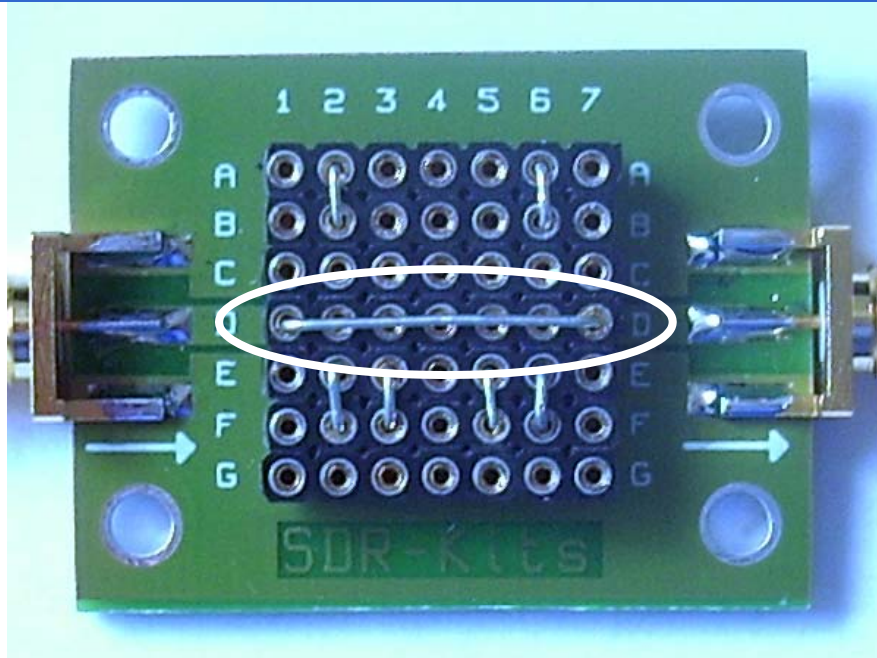


$Z_x = 47\ \Omega$  erzeugen ca. 3,4 dB  
Einfügedämpfung.

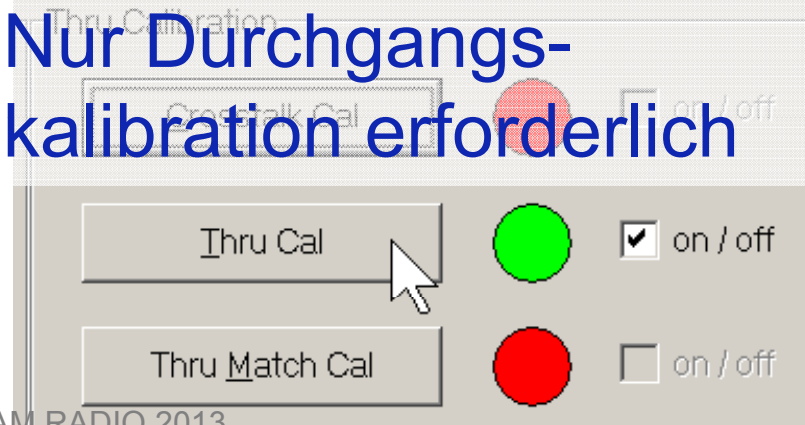
Funktioniert, weil  
VNWA TX und RX  
Impedanzen sehr  
genau  $50\ \Omega$ .

➤ nur Thru-  
Kalibration  
erforderlich!

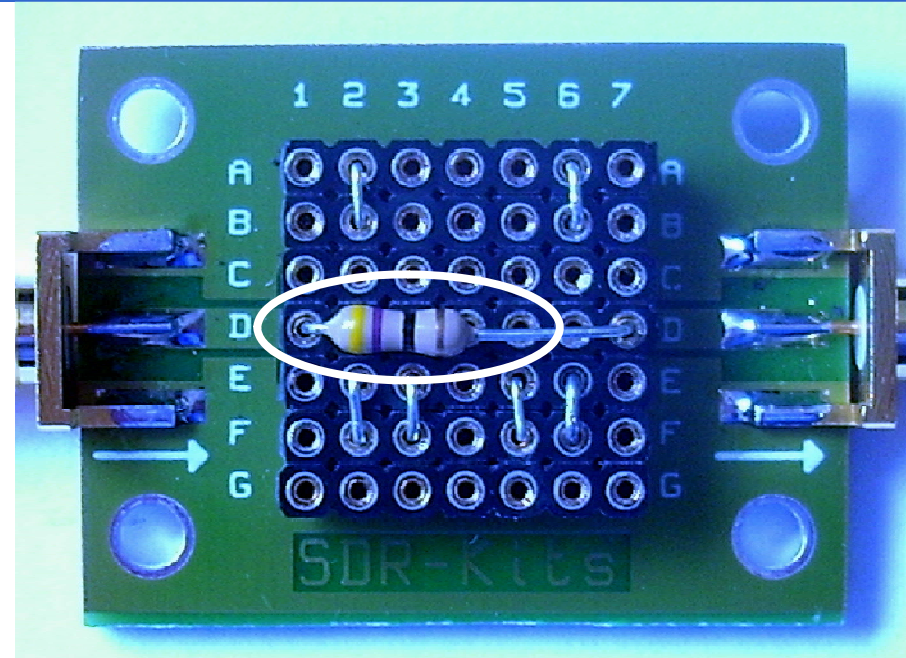
# Vermessung des „Load“-Widerstands in Transmission (=S<sub>21</sub>-Messung)



Nur Durchgangs-  
kalibration erforderlich



HAM RADIO 2013



**Messung:**  
Widerstand zwischen  
TX und RX

Hochschule Ulm

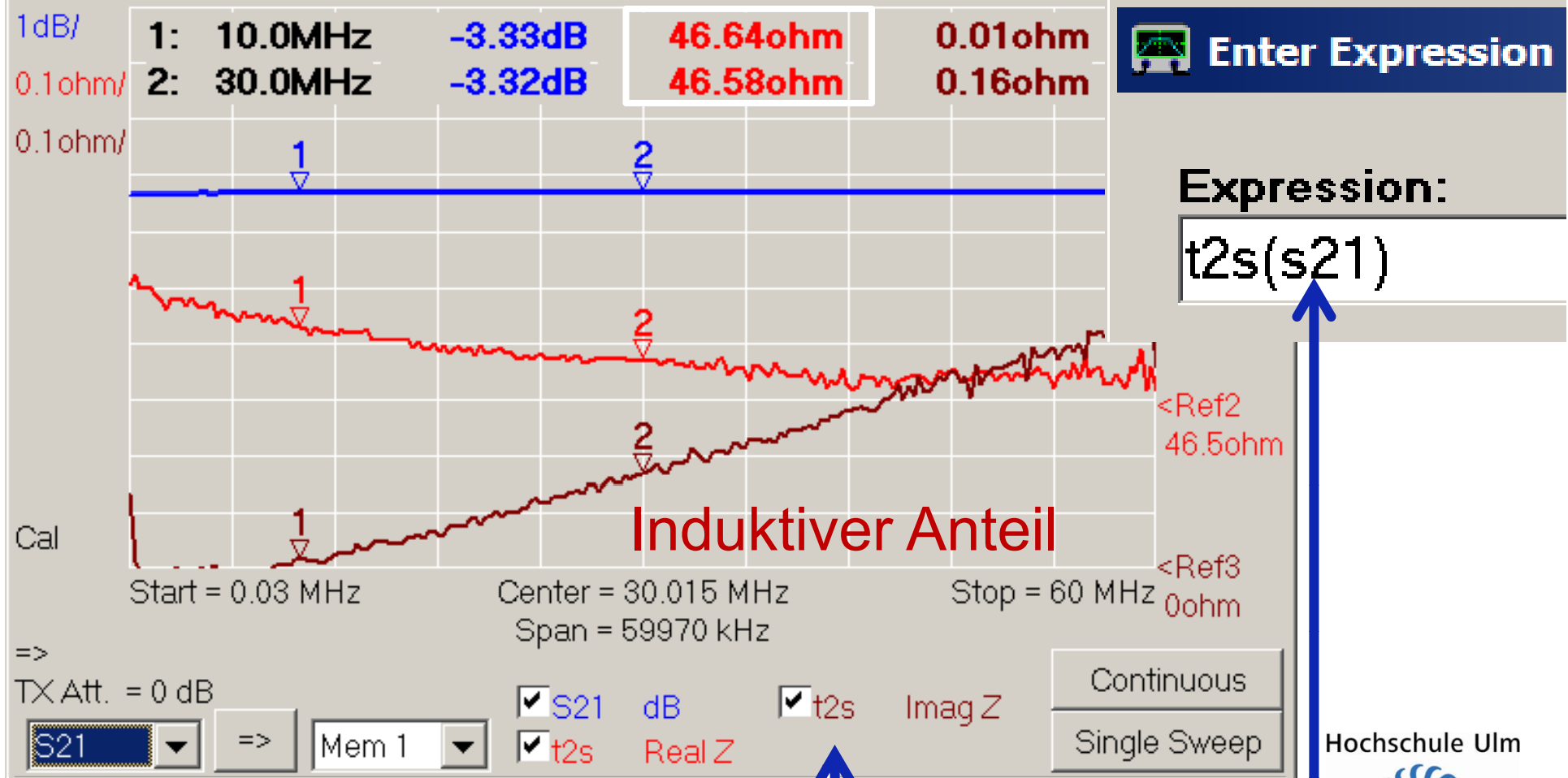


54

54

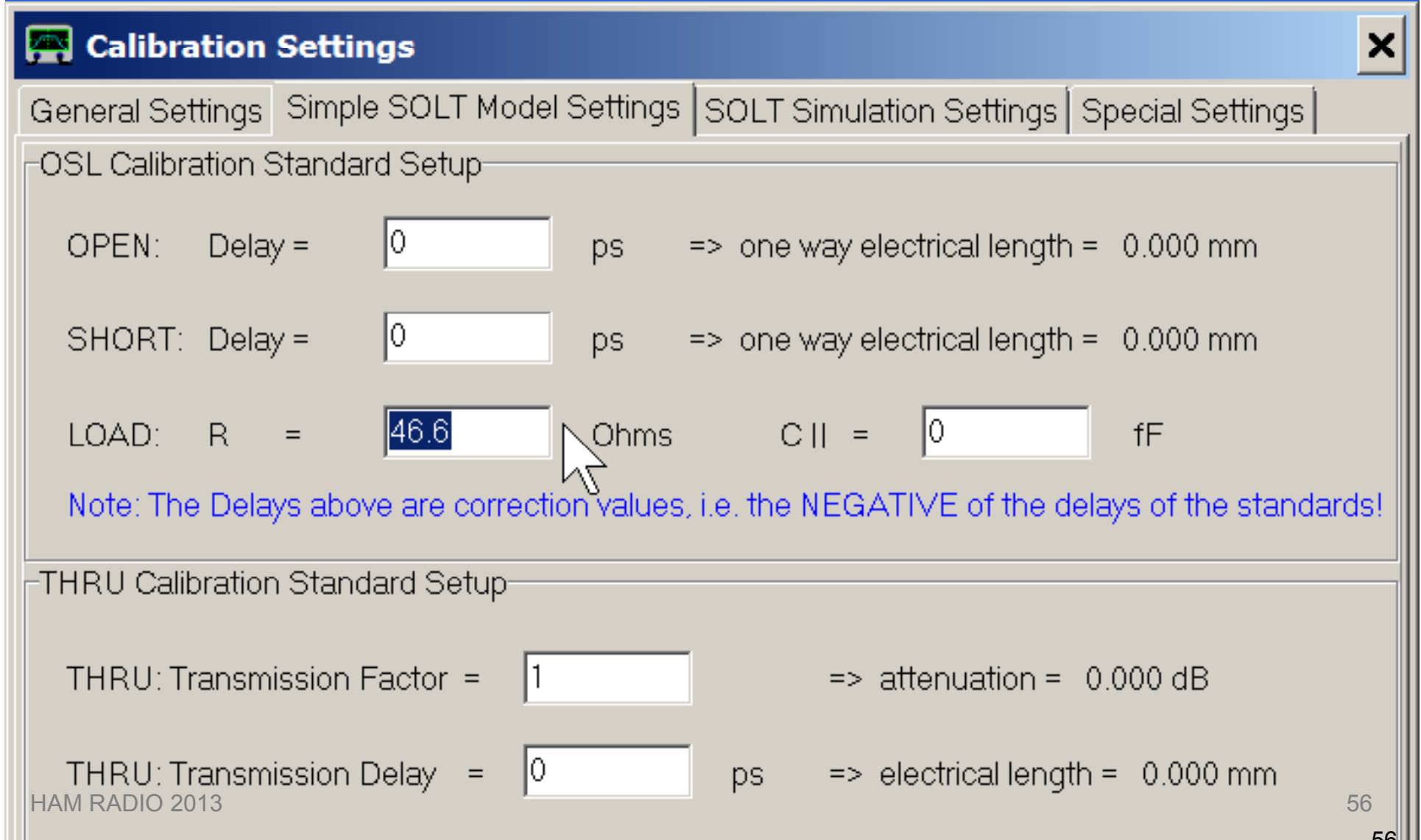
# Vermessung des „Load“-Widerstands

## Ergebnis = 46,6 $\Omega$



Auswertung mit Custom Trace

# Einfaches Kalibrationsstandardmodell: Nur gemessener Load-Widerstand



**Calibration Settings**

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

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

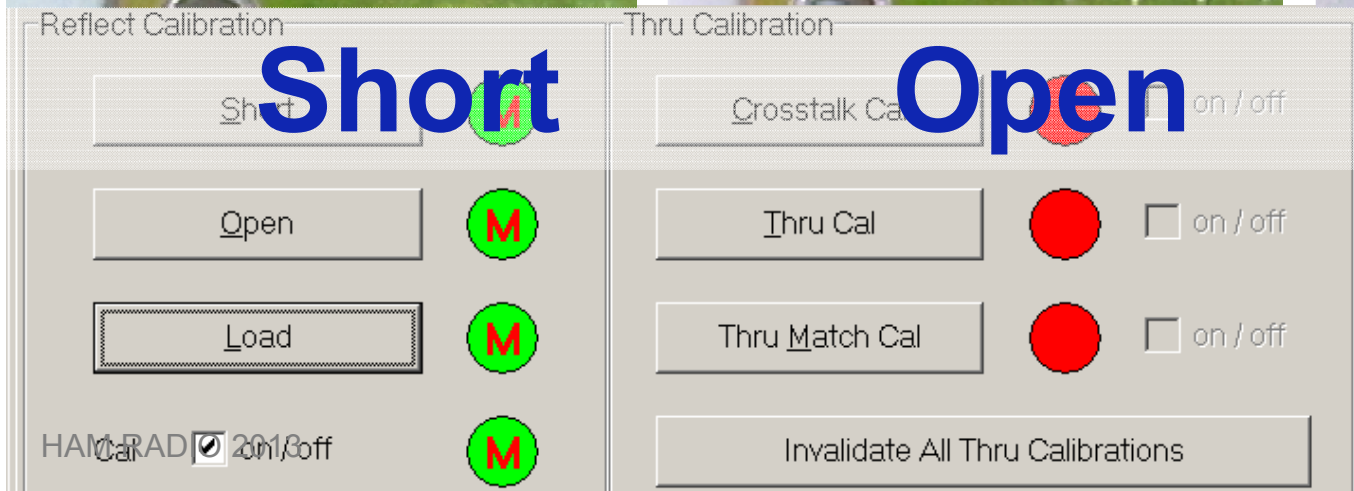
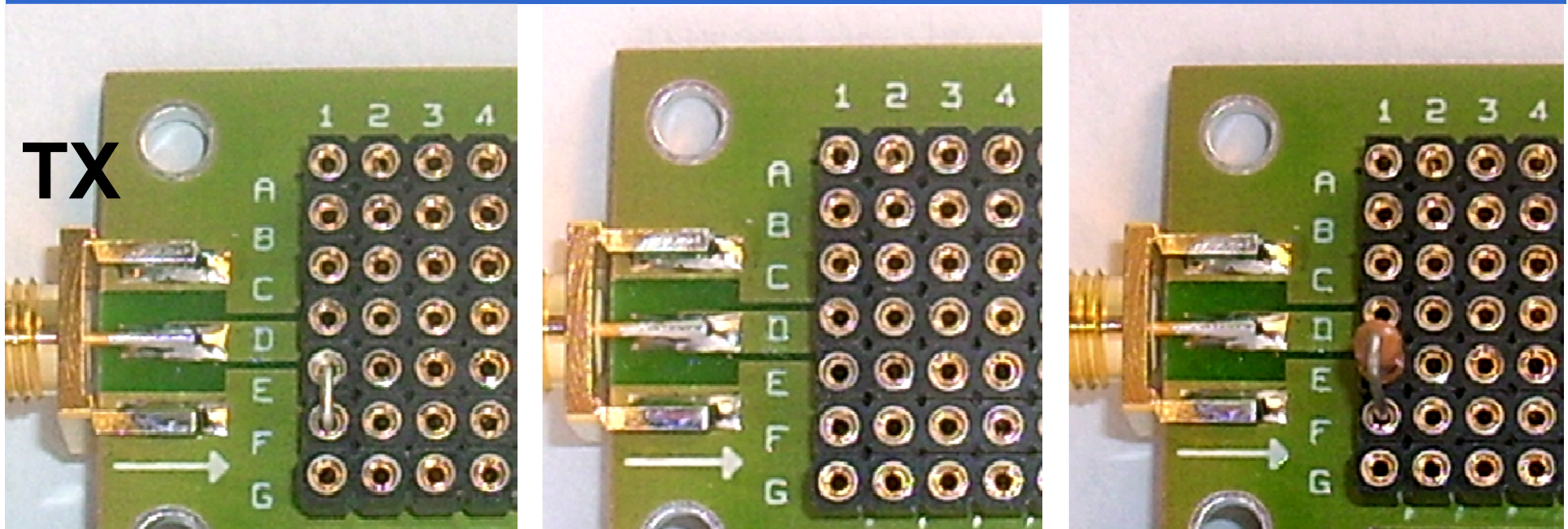
THRU: Transmission Delay =  ps => electrical length = 0.000 mm

HAM RADIO 2013

56



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



Load

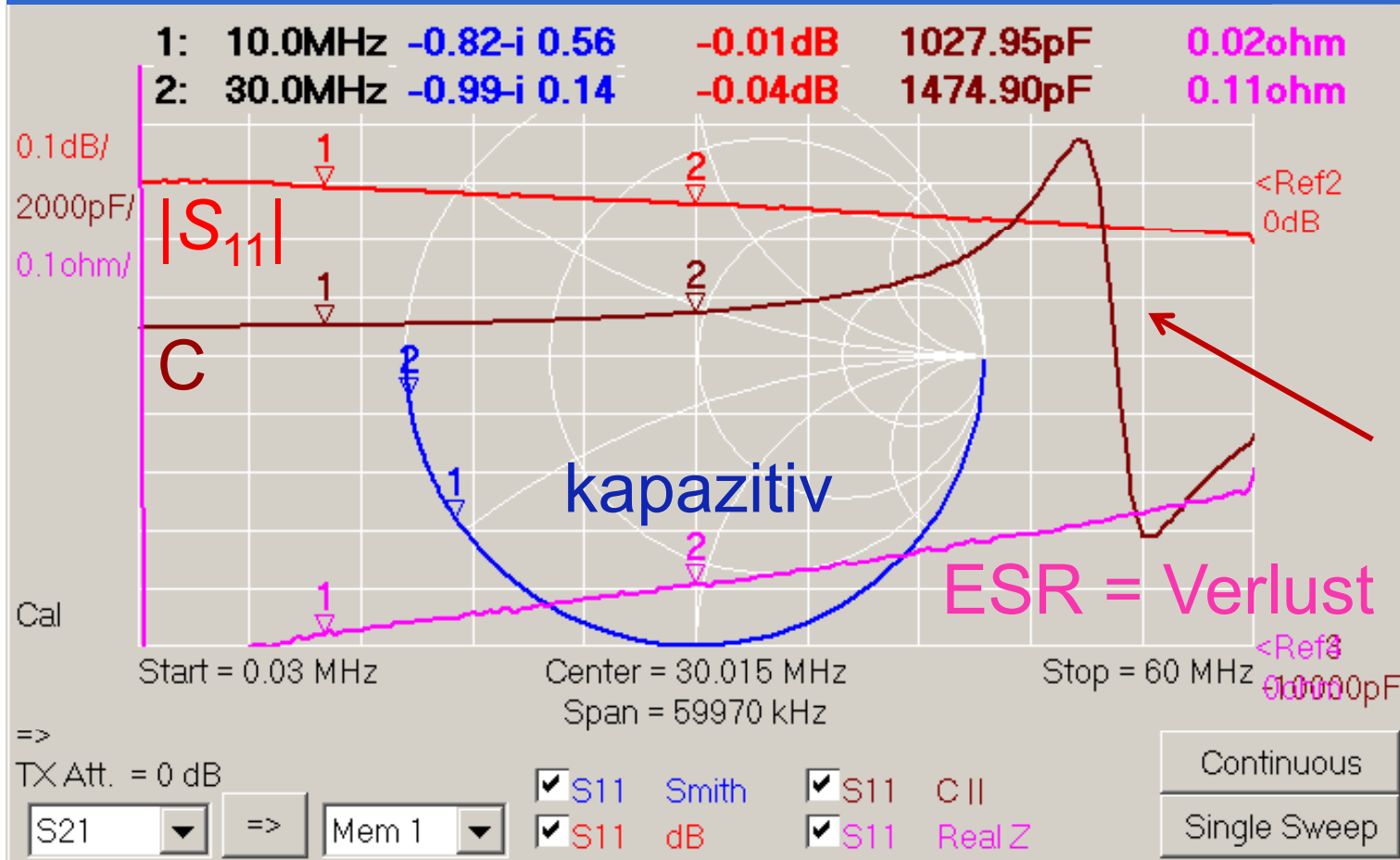
Hochschule Ulm



57

57

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



Resonanz  
 durch  
 Anschluss-  
 drähte

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

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

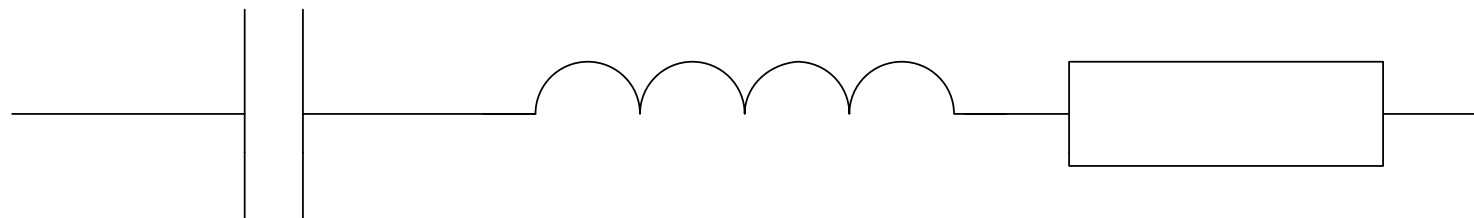


Enter Expression 2 for trace 2:

Expression.

Reflexionsfaktor aus Impedanz

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



0,984 nF

9,3 nH

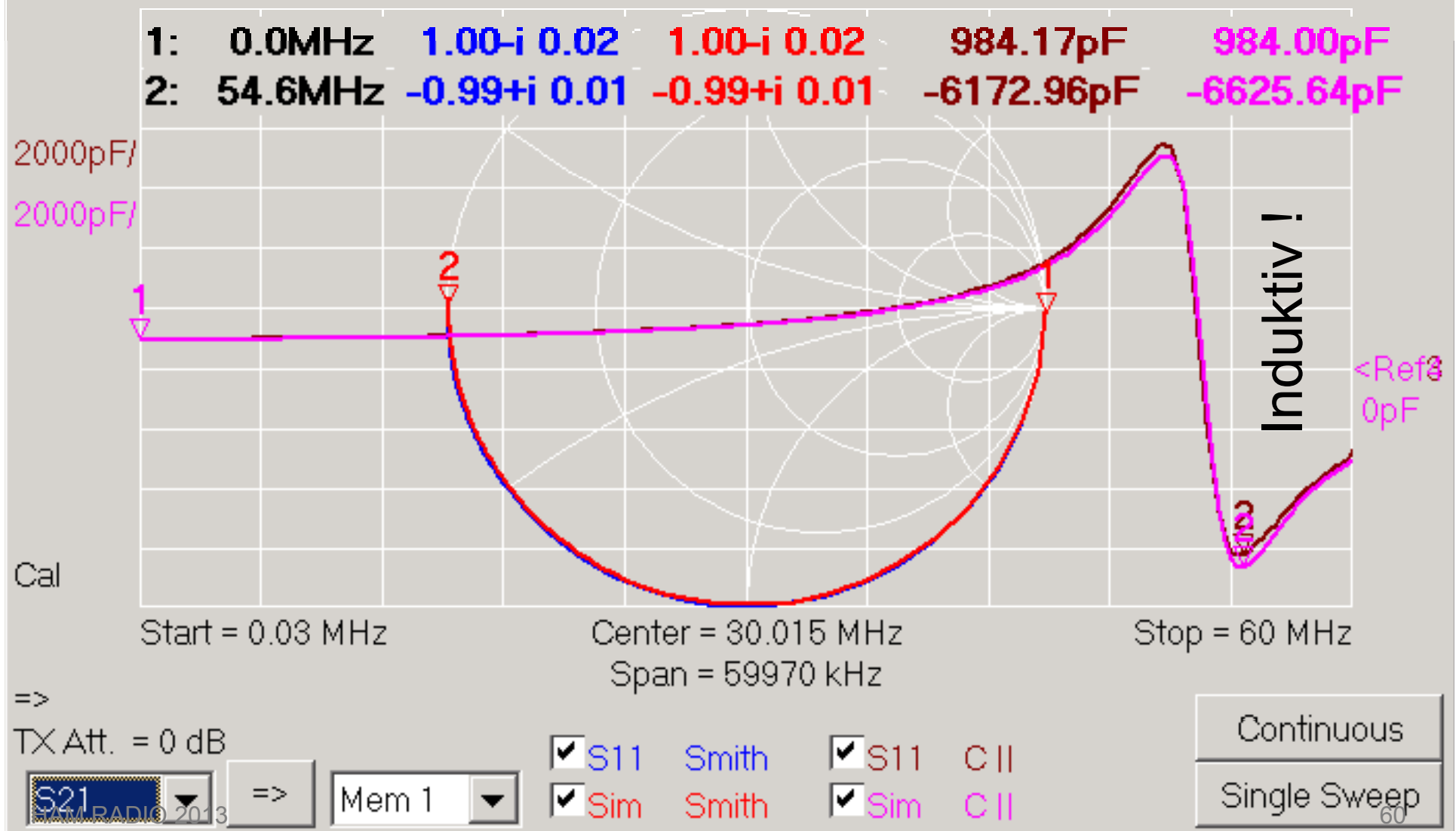
0,22  $\Omega$

einfaches Modell

Hochschule Ulm



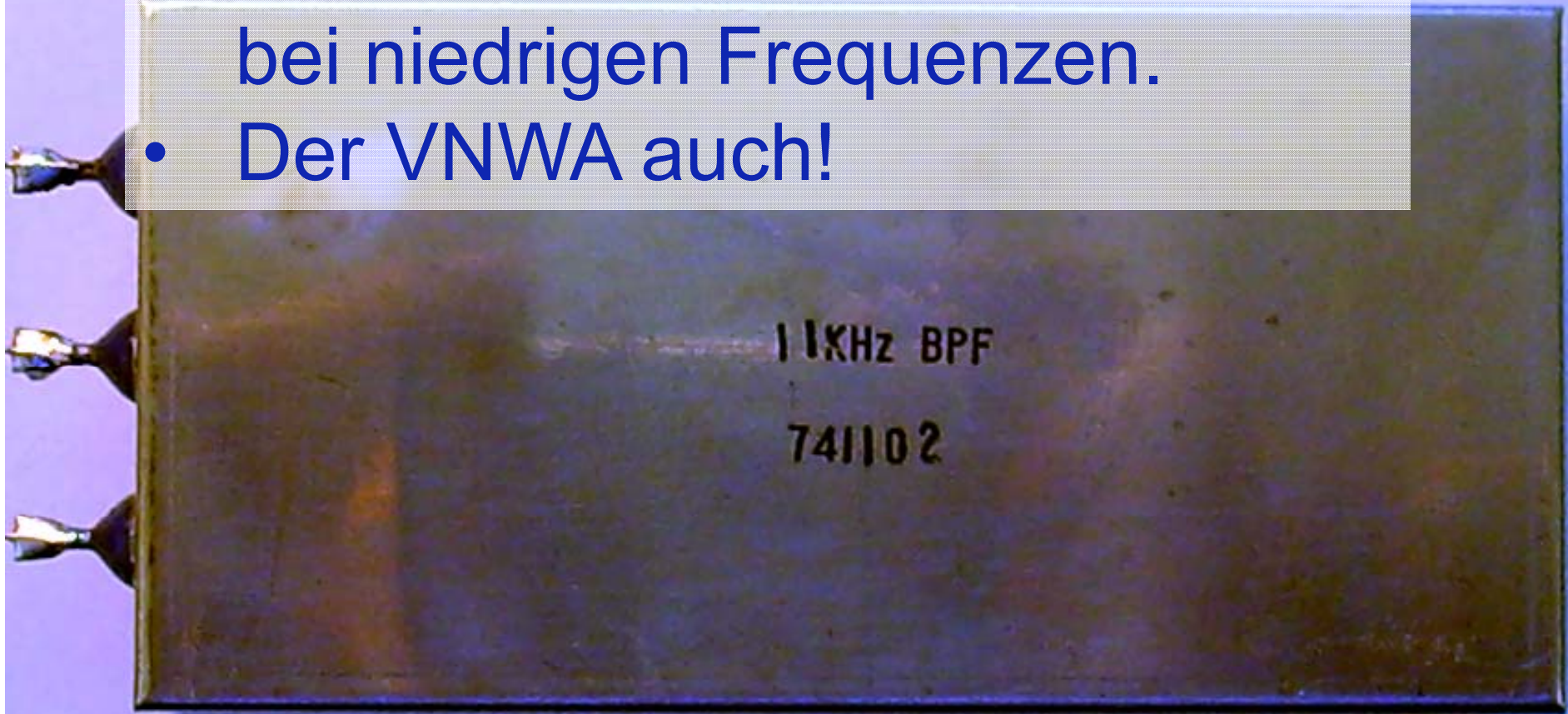
# Das Modell stimmt ziemlich genau!



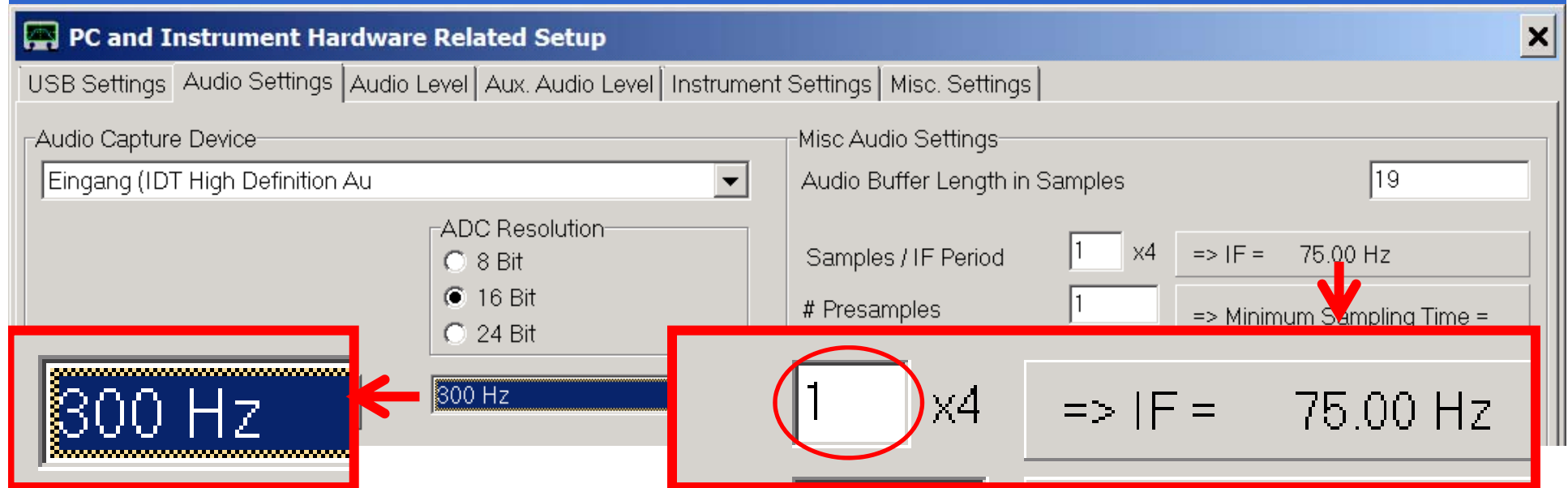


# Zweitormessung an einem 12 kHz Bandpassfilter

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



# Spezielle VNWA Einstellungen für niedrige Frequenzen



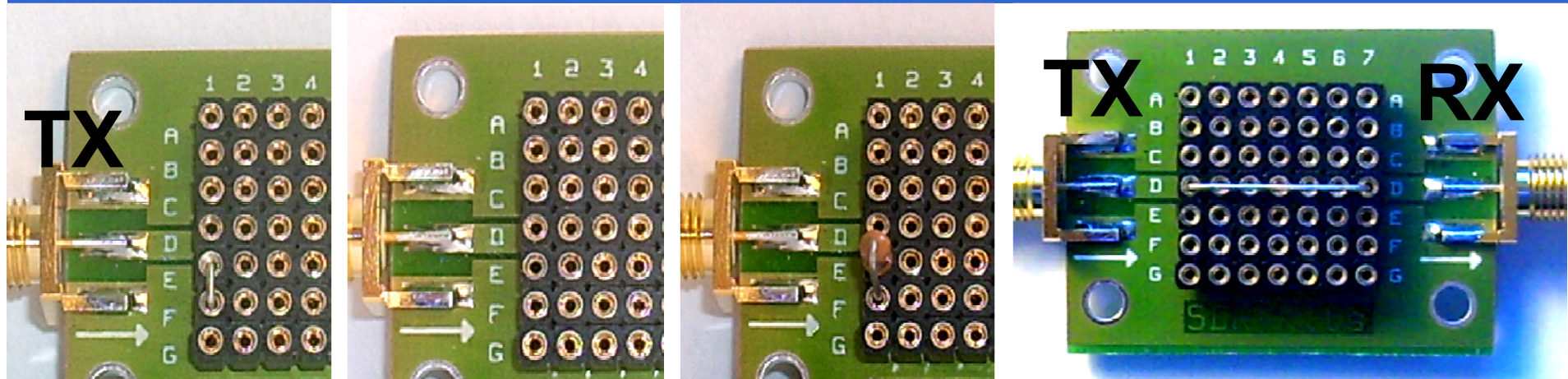
**Minimal 300 Hz Abtastrate**  
→ **Nyquistgrenze 150 Hz**  
→ **Man kann bis ca.  
150 Hz herunter messen**








**IF muss im Durchlass-  
bereich des Codecs  
liegen (20 Hz...16kHz)**

Hochschule Ulm



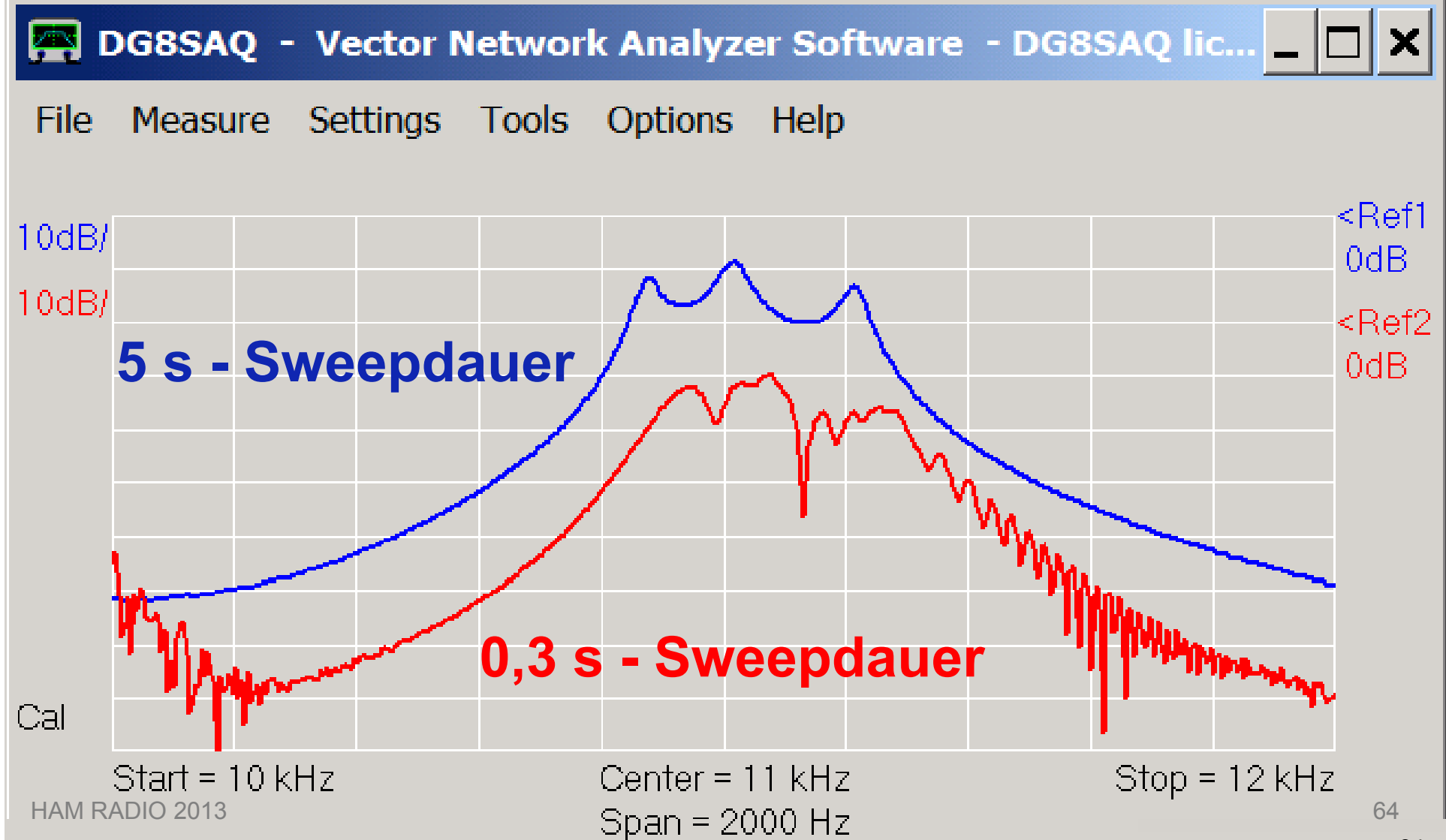
# SOLT-Kalibration für Zweitor-Messung



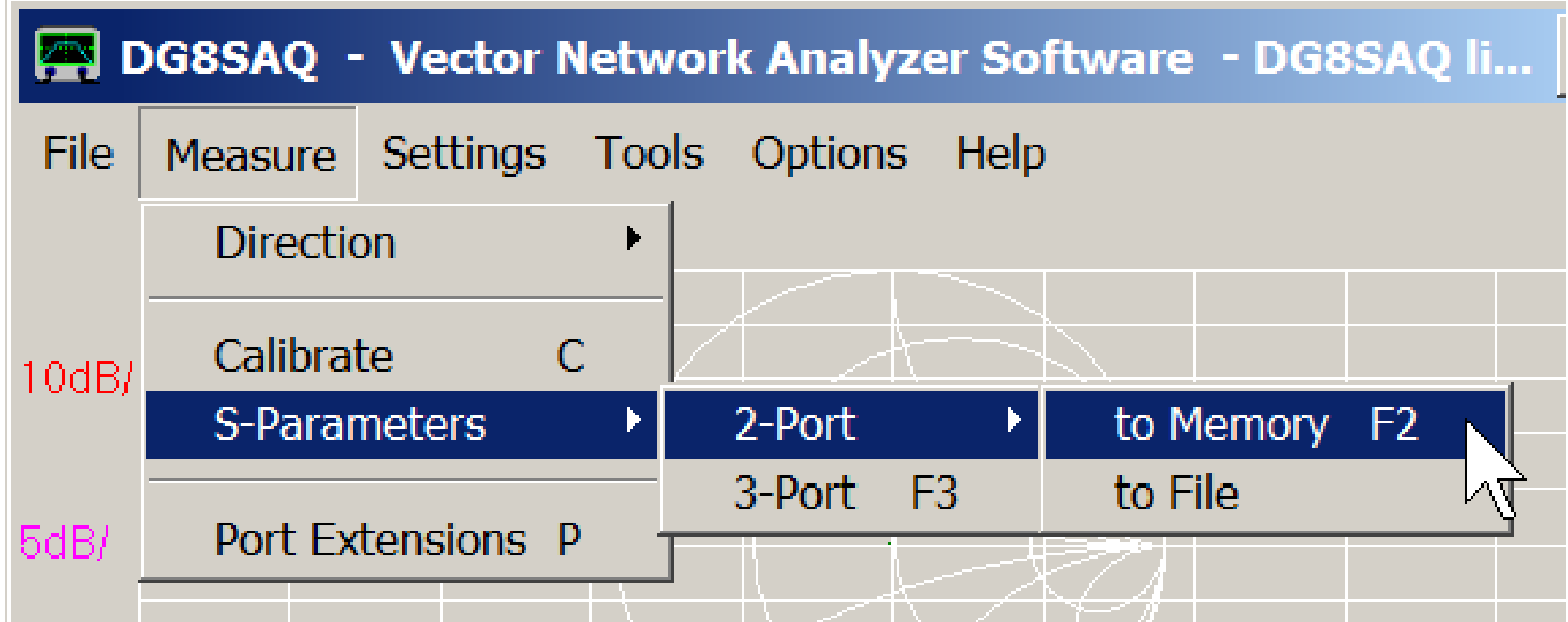
Reflect Calibration		Thru Calibration	
Short	Open	Load	Thru
Short			<input type="checkbox"/> on / off
Open		Thru Cal	 <input checked="" type="checkbox"/> on / off
Load		Thru Match Cal	 <input checked="" type="checkbox"/> on / off
Cal <input checked="" type="checkbox"/> on / off		Invalidate All Thru Calibrations	



# Achtung: Ein steilflankiges Filter benötigt Zeit zum Einschwingen!



# Messung der Zweitor-S-Parameter des Bandpassfilters

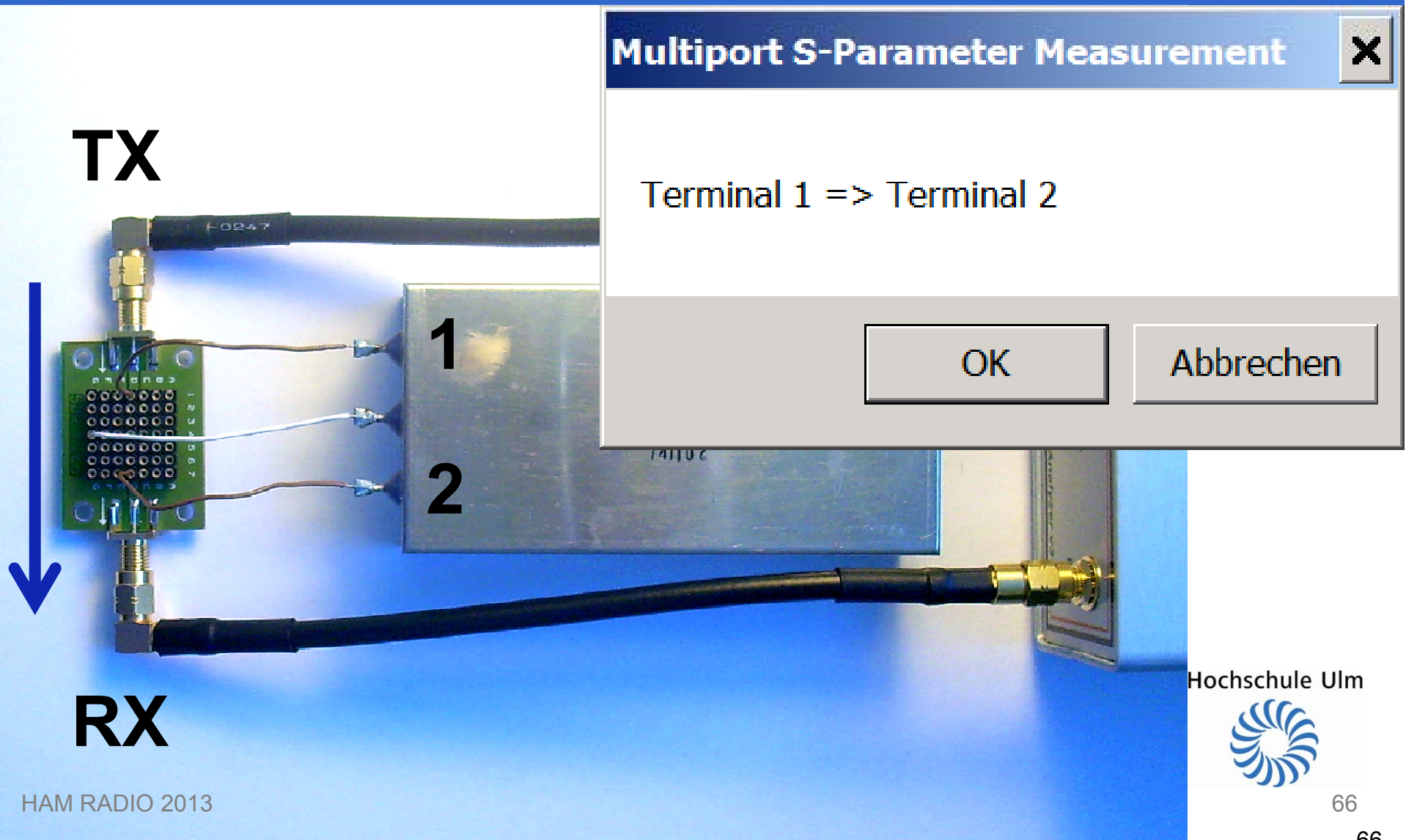


Es müssen alle vier S-Parameter ( $S_{11}$ ,  $S_{21}$ ,  $S_{12}$ ,  $S_{22}$ ) gemessen werden...

Hochschule Ulm



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



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

## Multiport S-Parameter Measurement

Terminal 2 => Terminal 1

OK

2

1

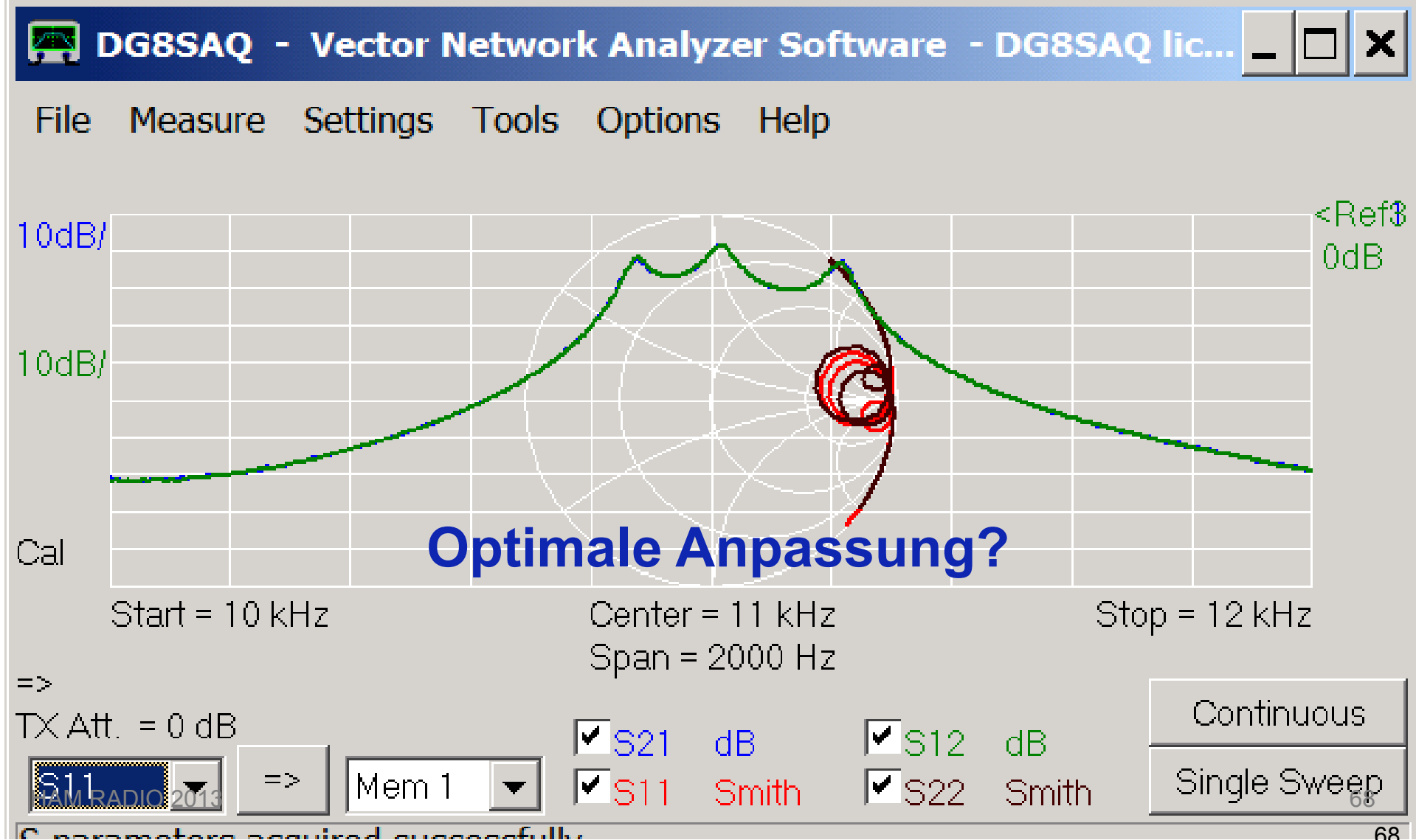
TX

RX

Hochschule Ulm



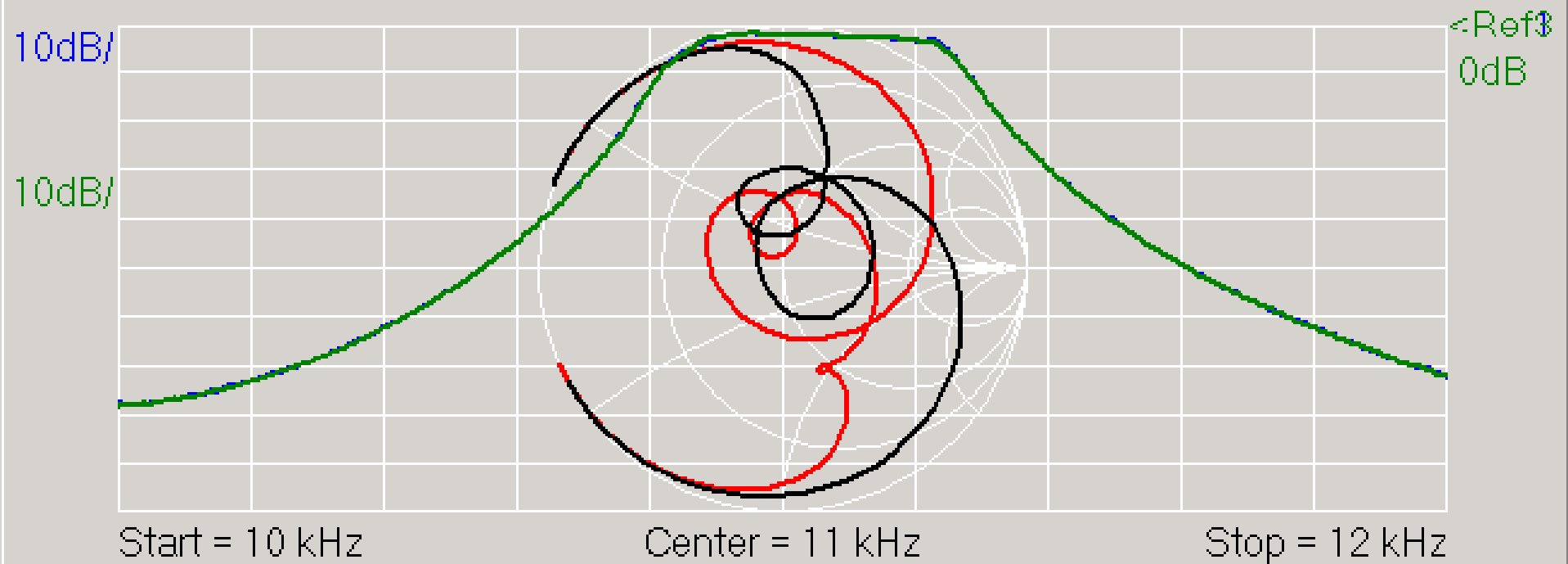
# Wozu sind die Zweitor-S-Parameter des Bandpassfilters gut?



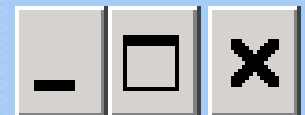


# Anpassanalyse: VNWA Matching Tool

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



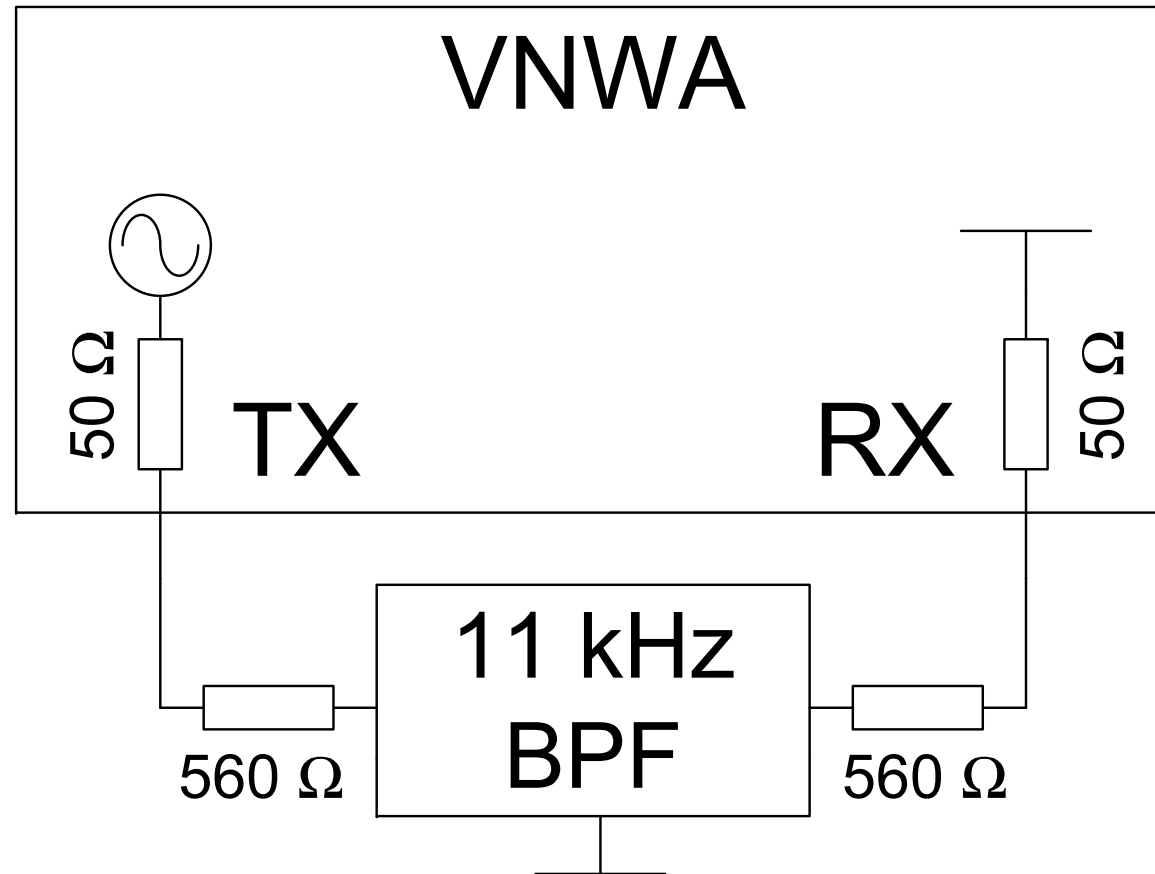
C parallel  
(neg. possible)

0

pF

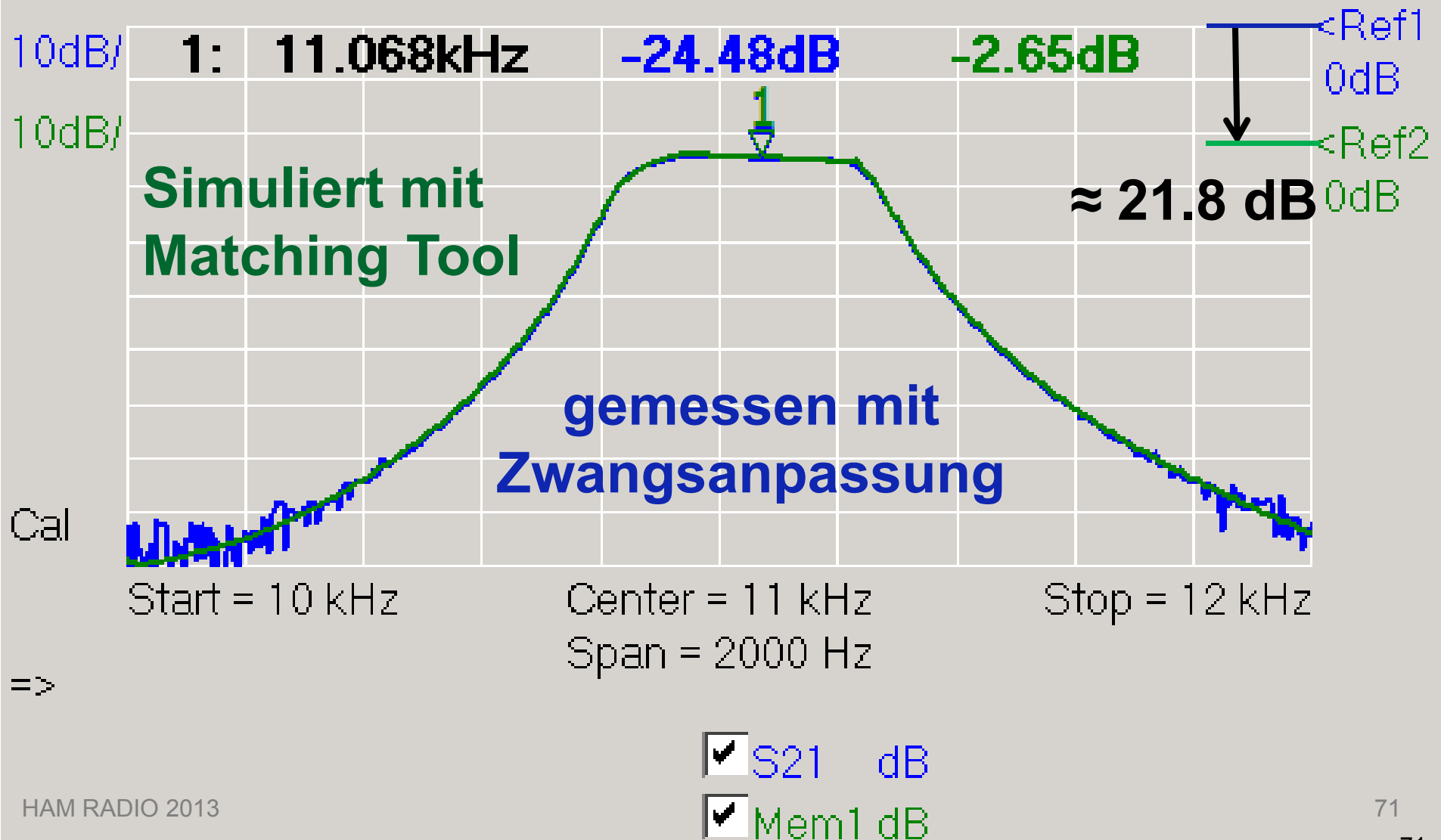


# Zwangsweise Anpassung mit Widerständen

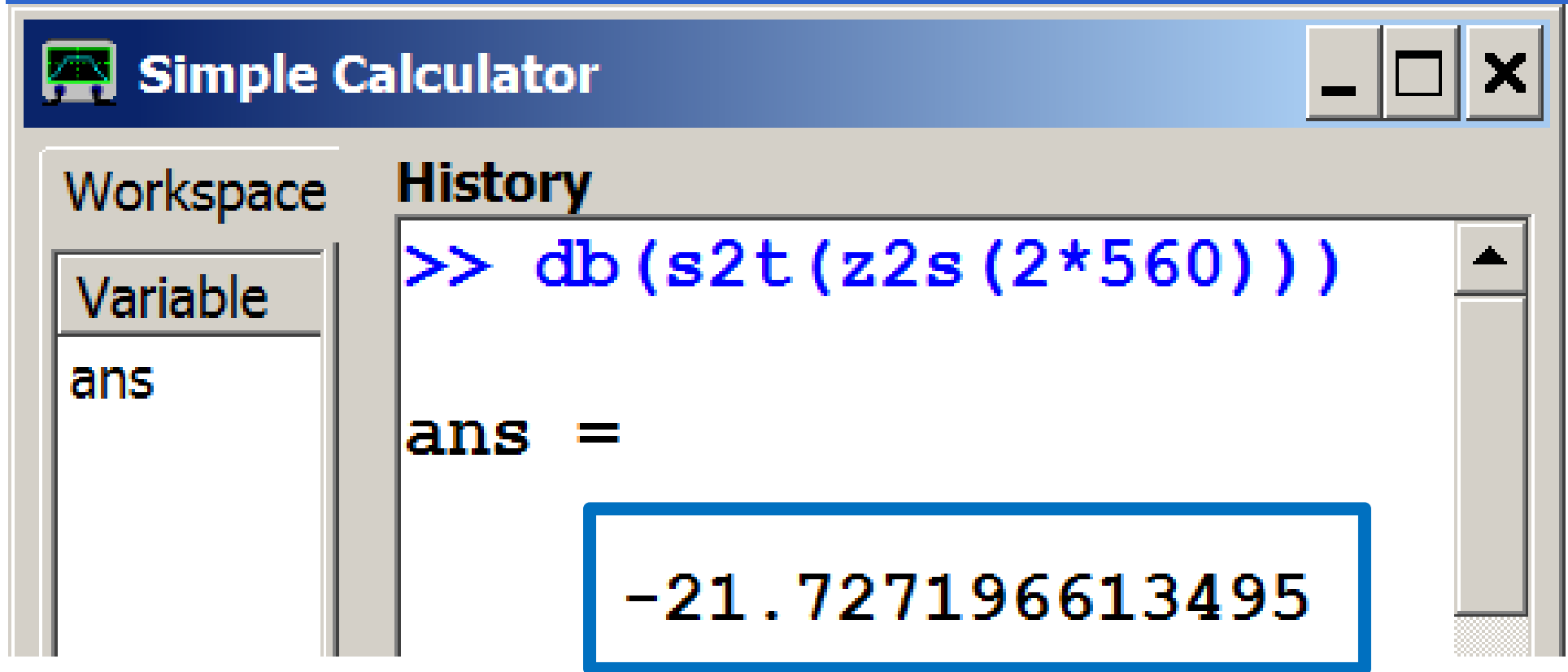


$$50\ \Omega + 560\ \Omega = 610\ \Omega$$

# Anpassung funktioniert bis auf erhöhte Einfügedämpfung



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



**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

simulations

DC Transien  
simulation t  
n simulation  
n

AC  
ac S-parameter  
simulation simulation  
n

HB Swp  
Harmonic Parameter  
c sweep  
balance

Digi Opt  
digital optimizat

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

Ref

R2  
R=560 Ohm

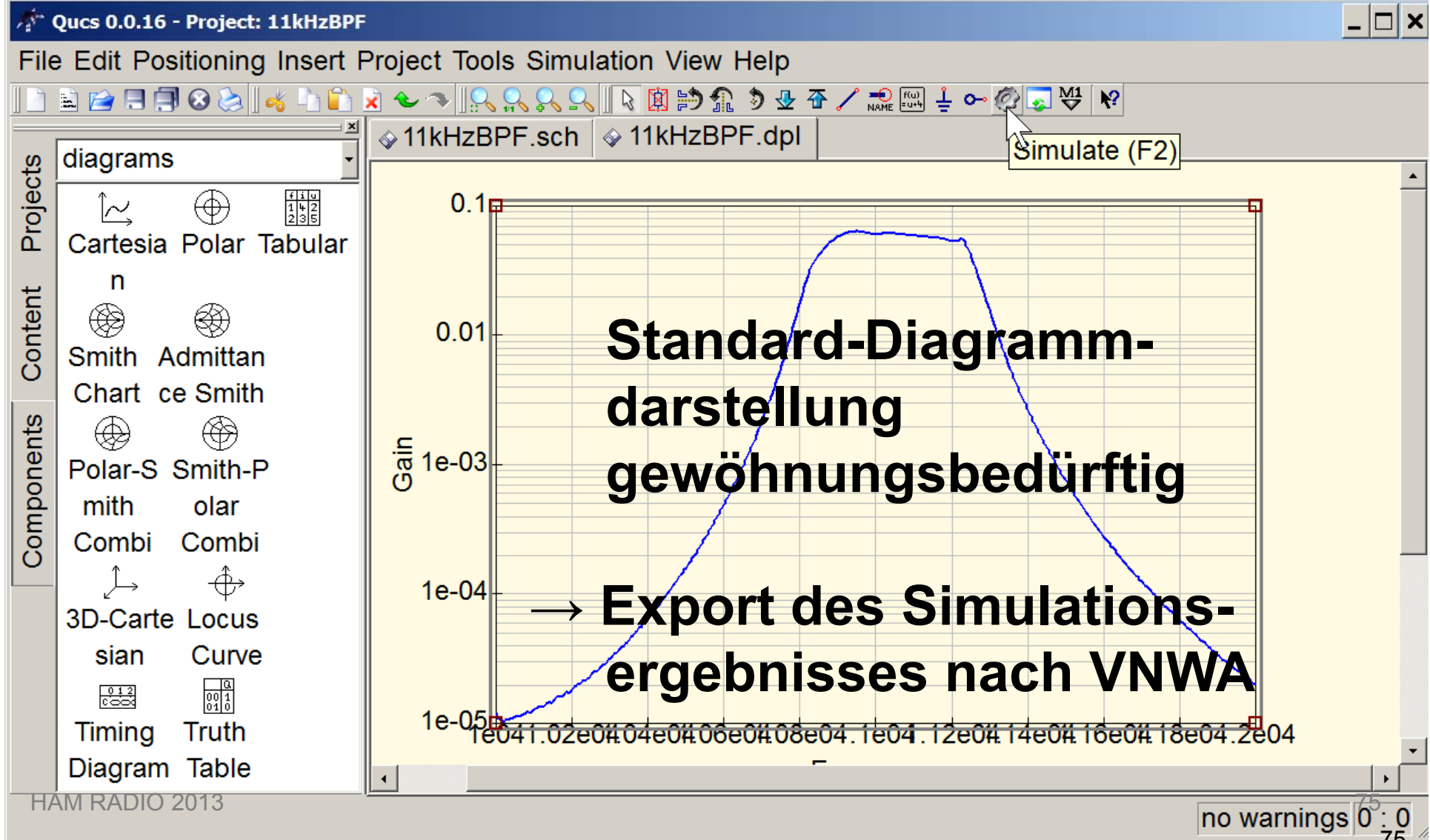
P2  
Num=2  
Z=50 Ohm

HAM RADIO 2013

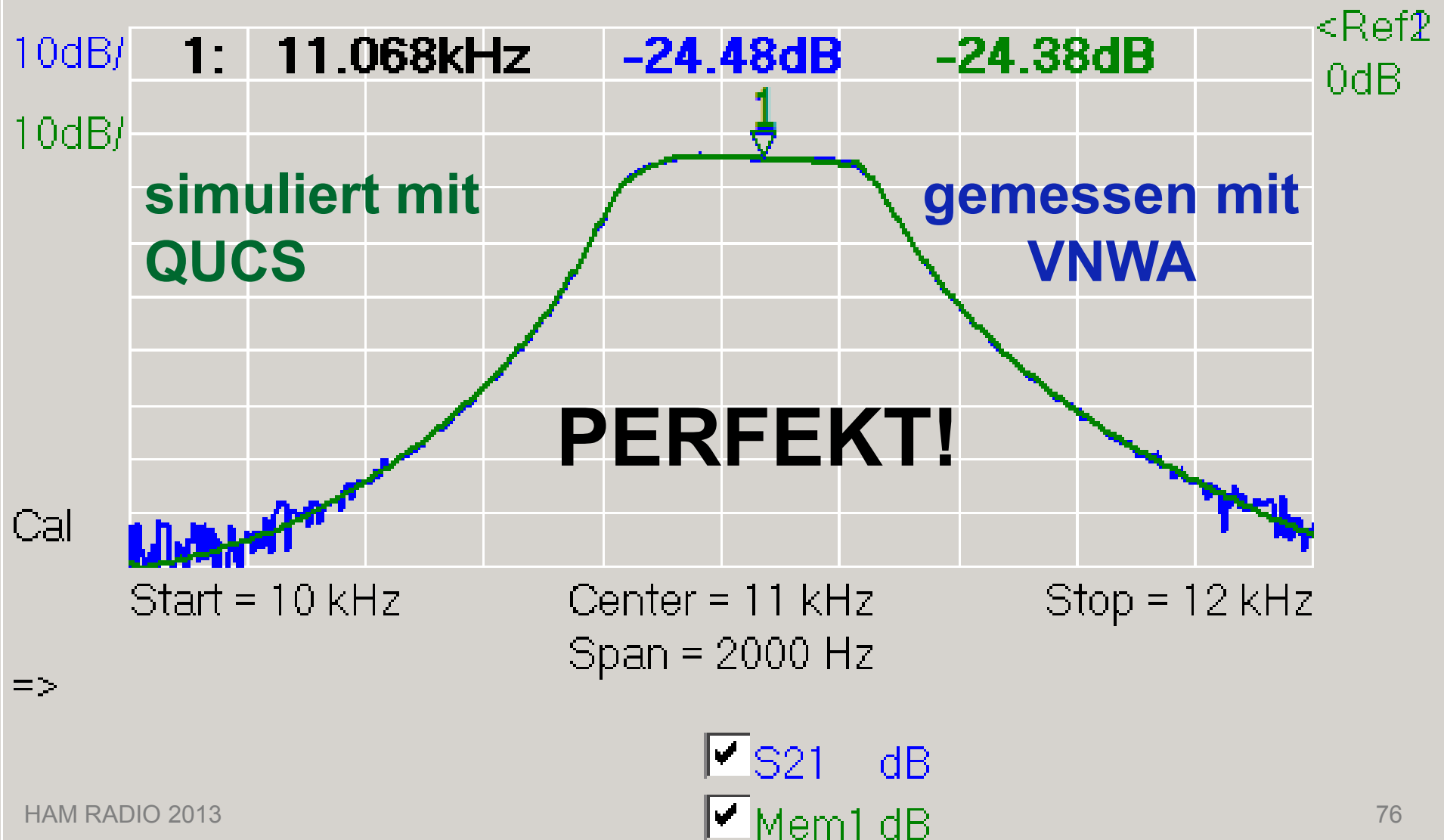
no warnings 0:0

74

# Anpasssimulation in QUCS




# 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

**Crystal Ladder Filter Calculator "DISHAL" Vers. 2.0.3** HF Tools by DJ6EV

SaveWindow Cohn QER(G3UUR) Xtal Table LC-Match Cs2Cp Colours Info Help

Select either Lm or Cm of xtal  
☒ Lm ☐ Cm

70 mH

5000 Series Freq. fs [kHz]

4 Cp [pF]

0,8 B3db [kHz]

.1 PB ripple [0...3db]

2 # of xtals (2...14)

10 Display Freq Span [kHz]

**Calculate**  
LOG→Lin

**Xtal Parameters**

Lm = 70 mH fs = 5000,000 kHz

Cm = 14,17445 pF fs = 5000,000 kHz

0db

Graph showing a filter response curve.

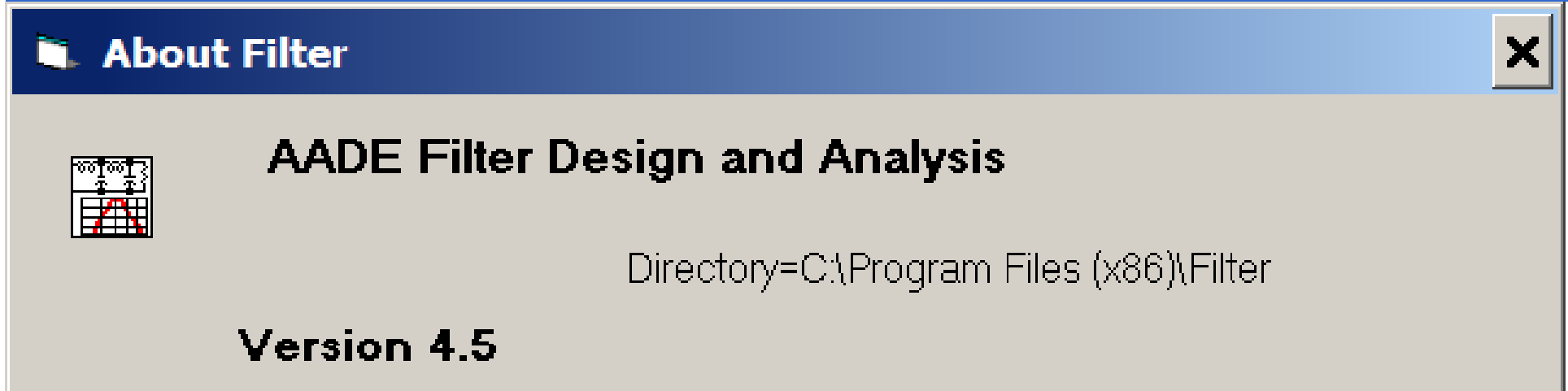
- <http://www.bartelsos.de/dk7jb.php/quarzfilter-horst-dj6ev>
- **Quarzfilter Designer und Analysator**
- **Rechnet ohne Quarzverluste**
- **$S_{21}$ -Simulationsdaten exportierbar**

Hochschule Ulm



78

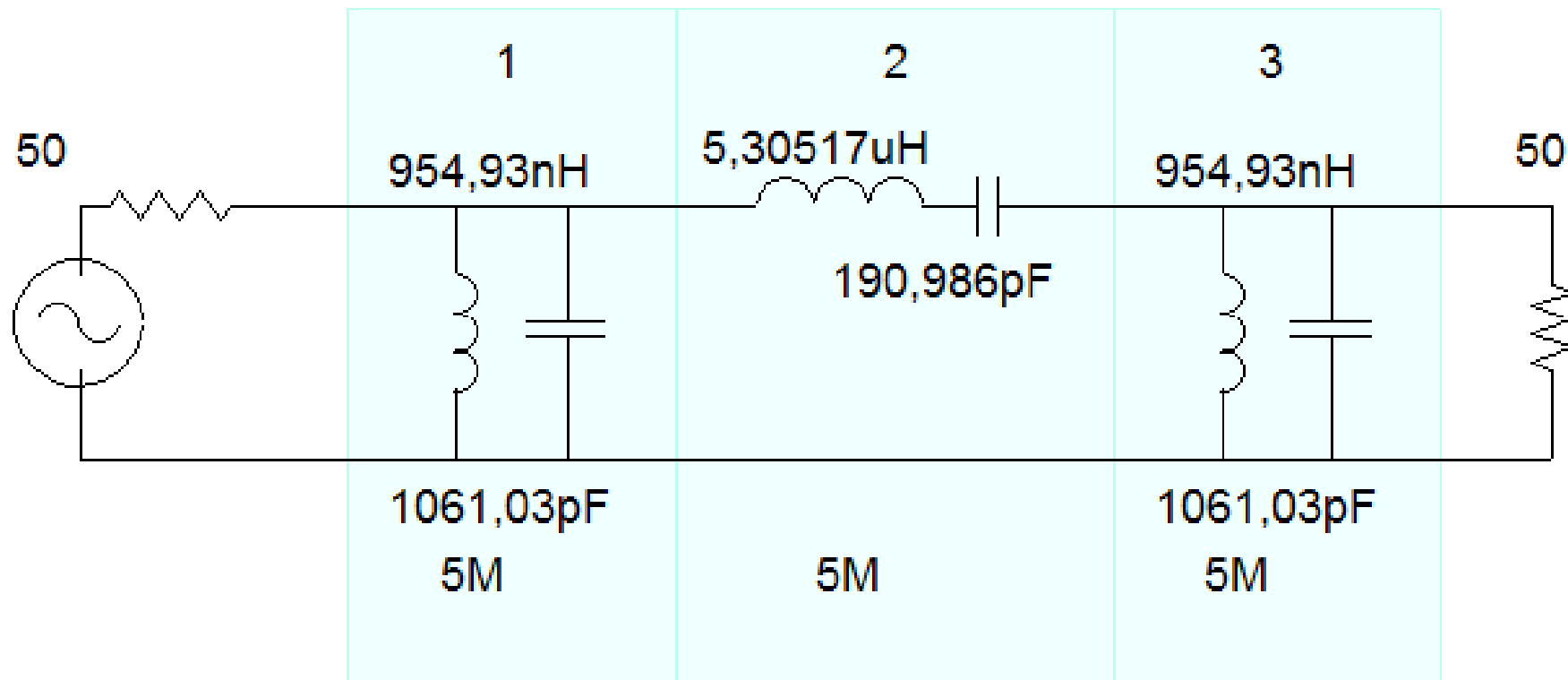
# Kostenlose Filterdesign-Software (3): AADE Filter Design - für alles



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



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



**Filter Design mit Elsie**

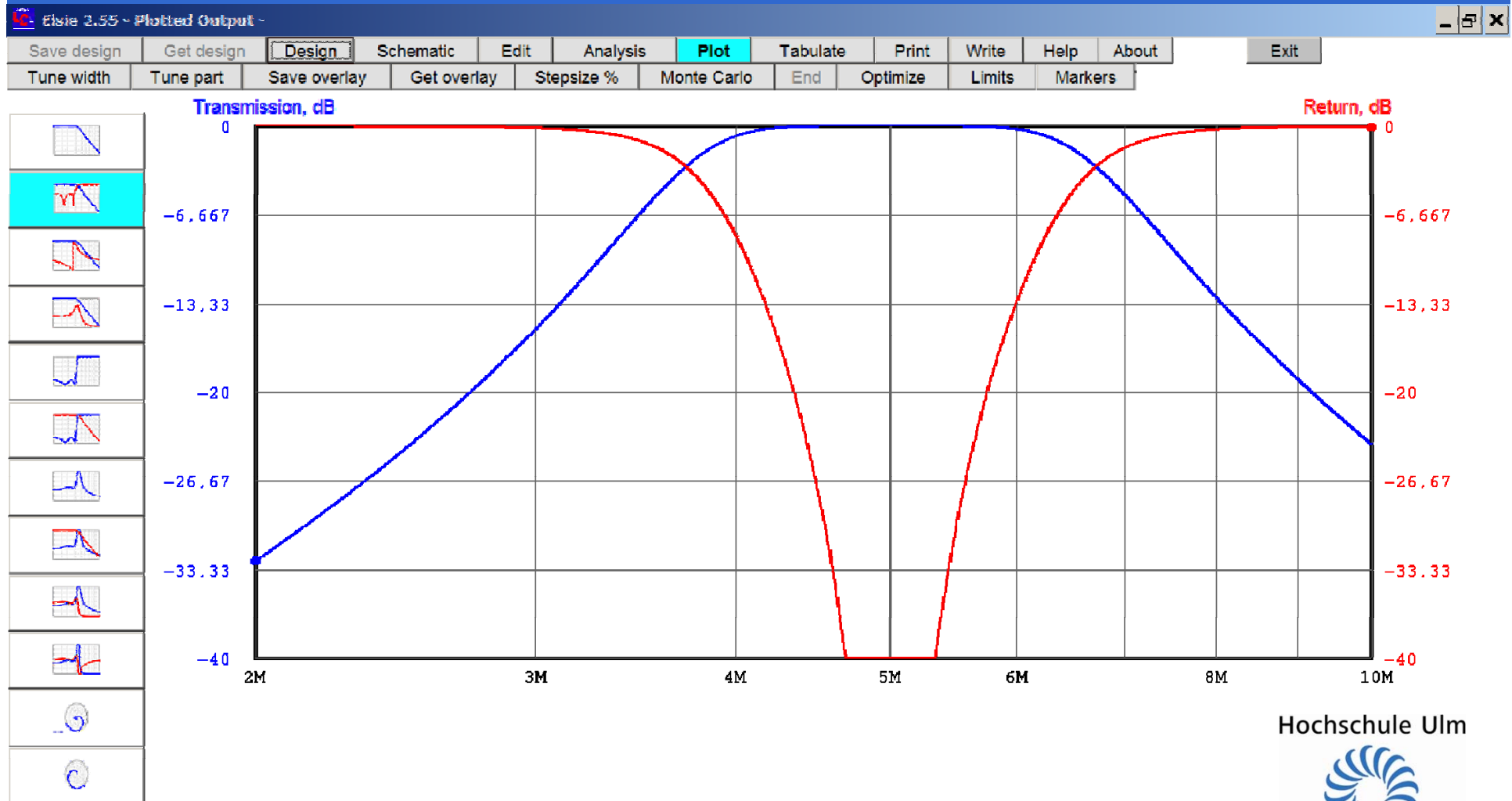
Hochschule Ulm



80

80

# Elsie Simulationsergebnis



Hochschule Ulm



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

Schematic

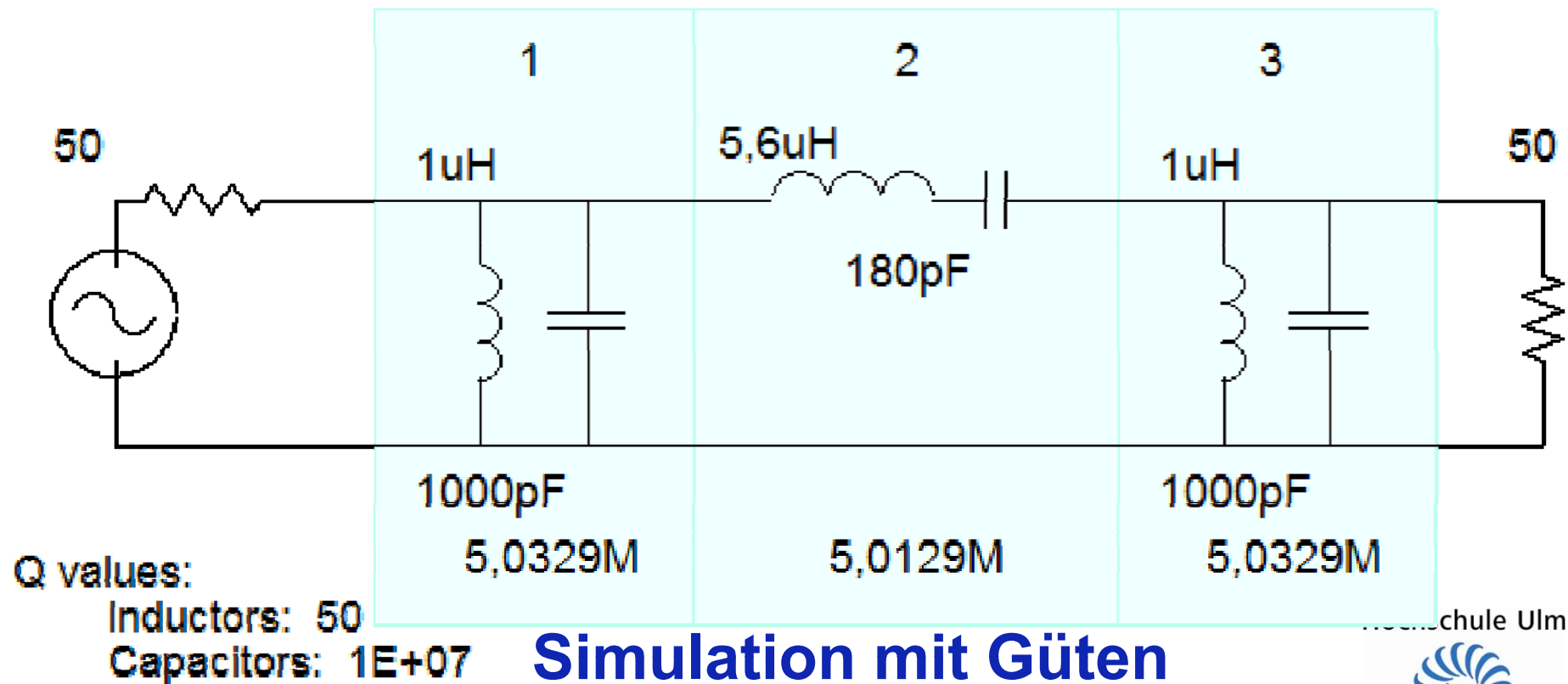
**Edit**

Analysis

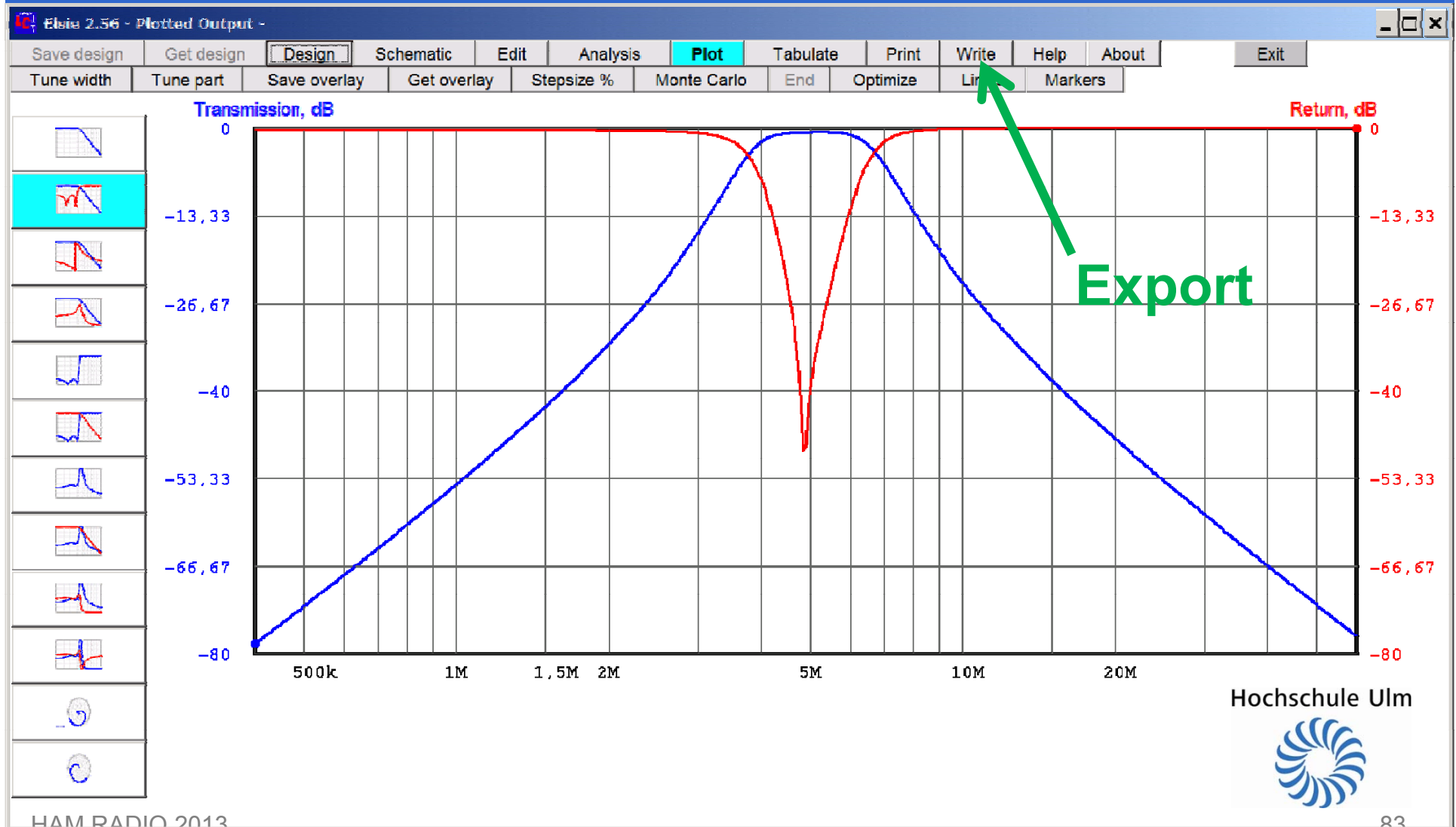
Plot

Tabulate

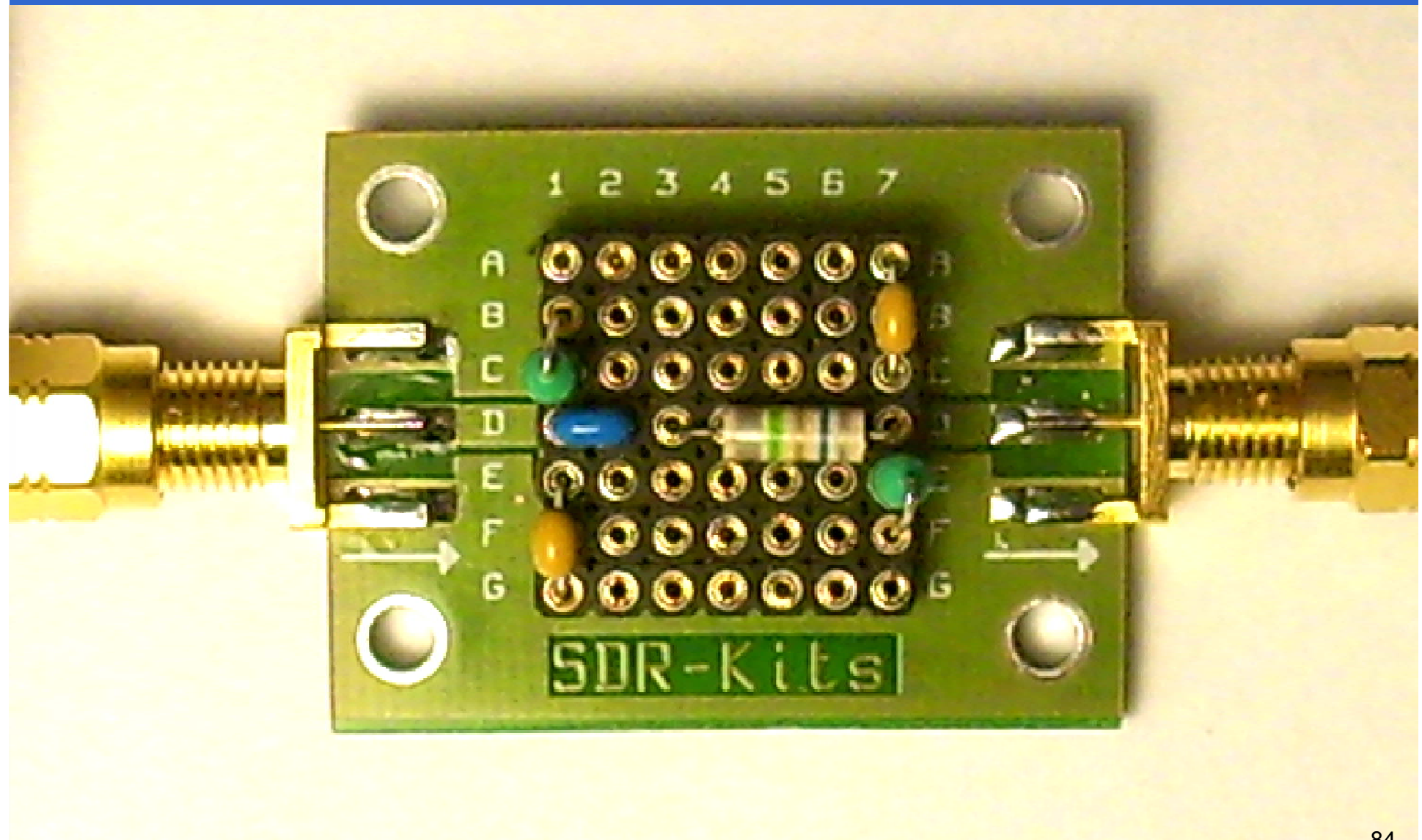
Print



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



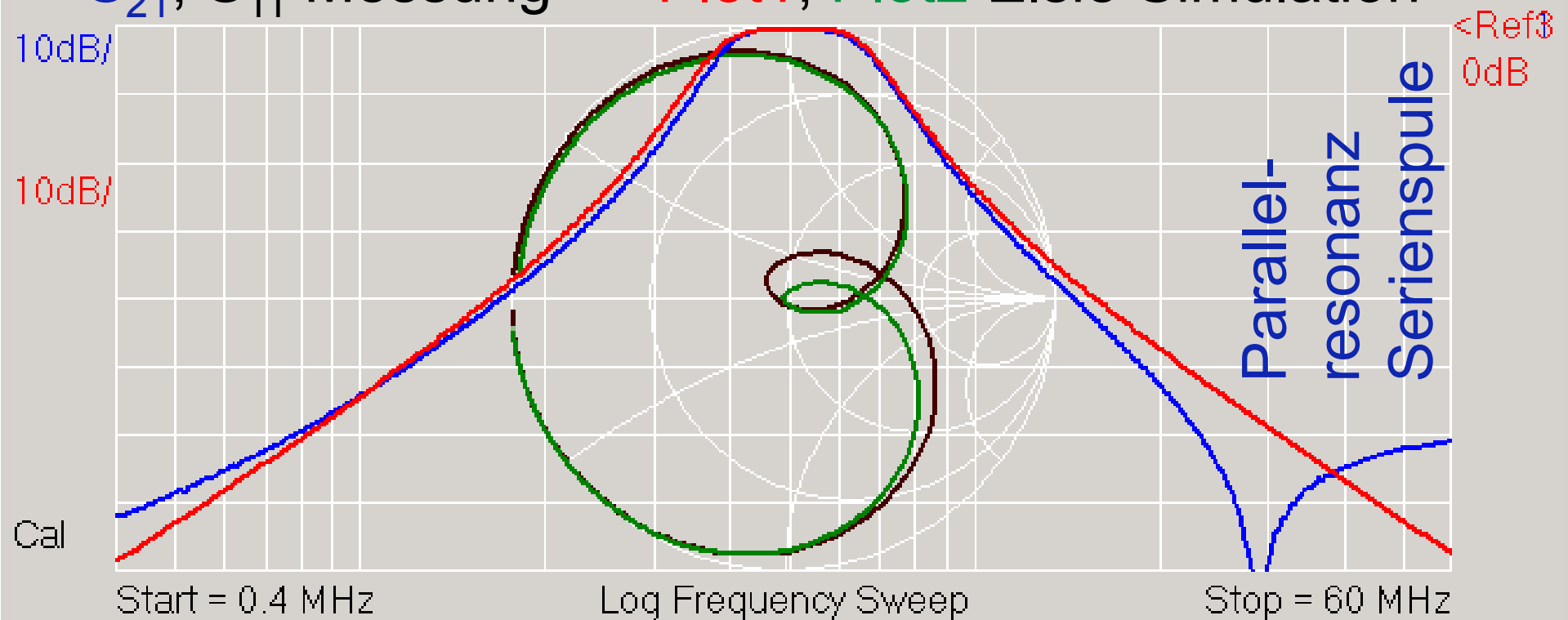
# Filteraufbau





# 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

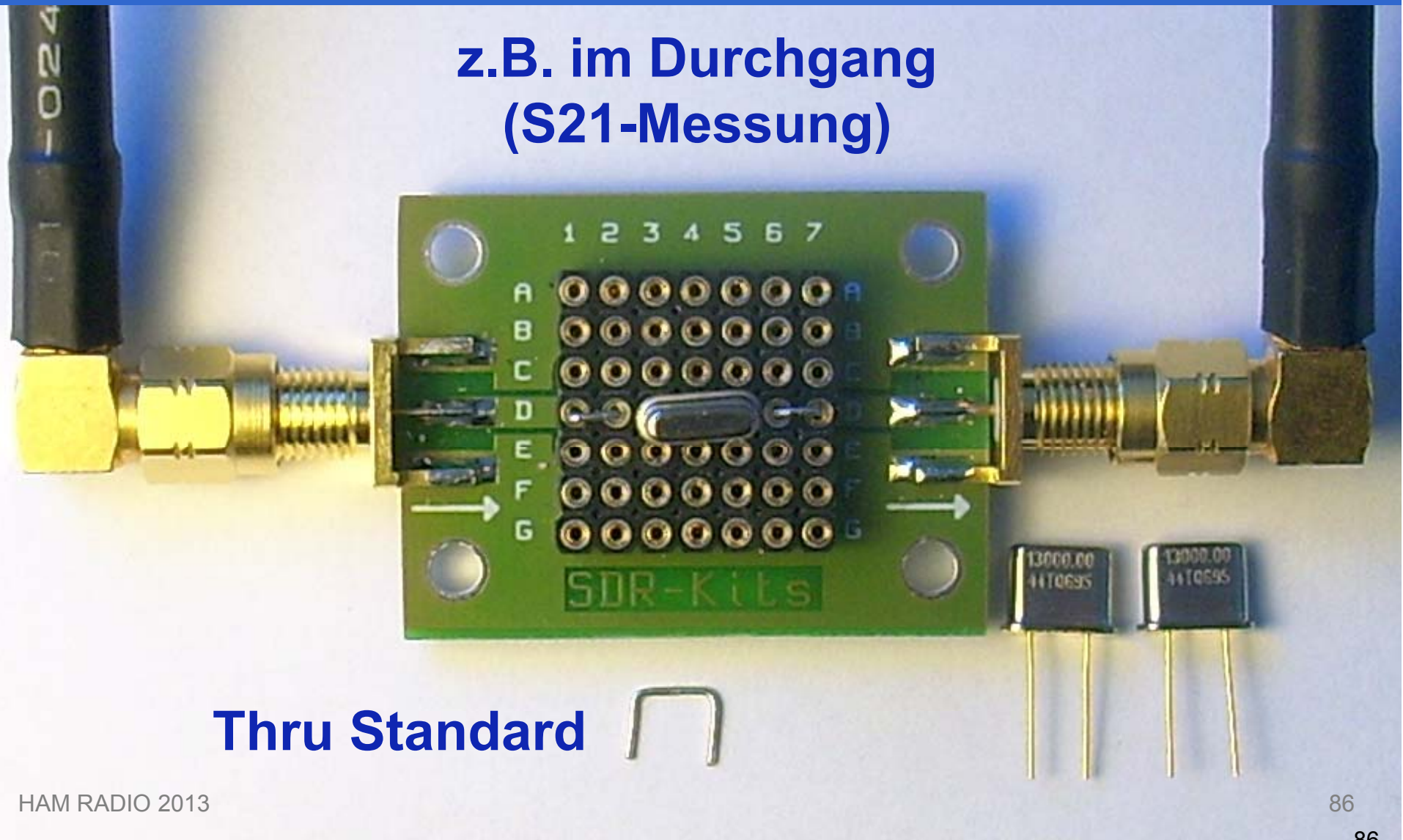
Single Sweep

HAM RADIO 2013

85

# Vermessung / Selektion von Quarzen mit dem VNWA Crystal Analyzer

**z.B. im Durchgang  
(S21-Messung)**

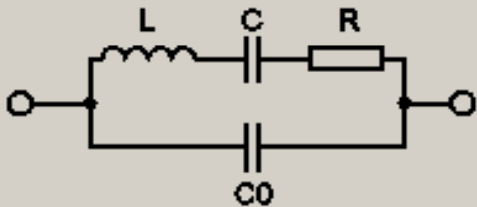


**Thru Standard**

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

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

**Equivalent Circuit**



$L = 23.22917 \text{ mH}$   
 $C = 6.456461 \text{ fF}$   
 $R = 27.285283581 \text{ Ohm}$   
 $C0 = 2.46571041216 \text{ pF}$   
 $f = 1/2\pi\sqrt{L \cdot C} = 12.995886978 \text{ MHz}$   
 $R \cdot Q = \sqrt{L/C} = 1896.7918117 \text{ x1000}$   $Q = 69517$

auto-optimize

source = S21 ▼ Test Jig Impedances = 50 Ohms

**Batch Crystal Analyzer** measure save list clear list

#	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:

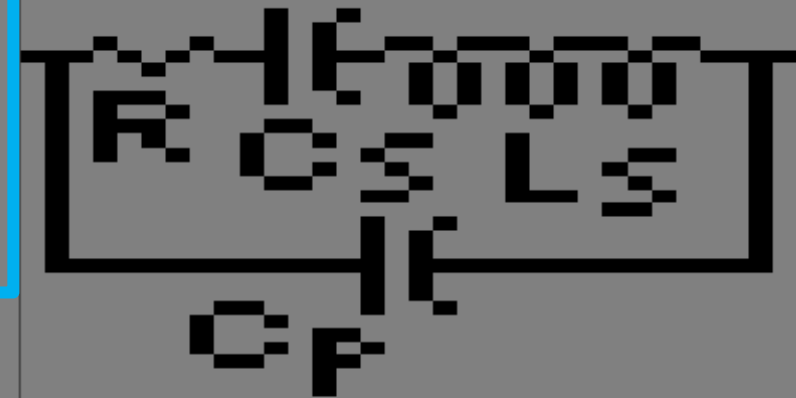
## Enter data

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	.	√	x²	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

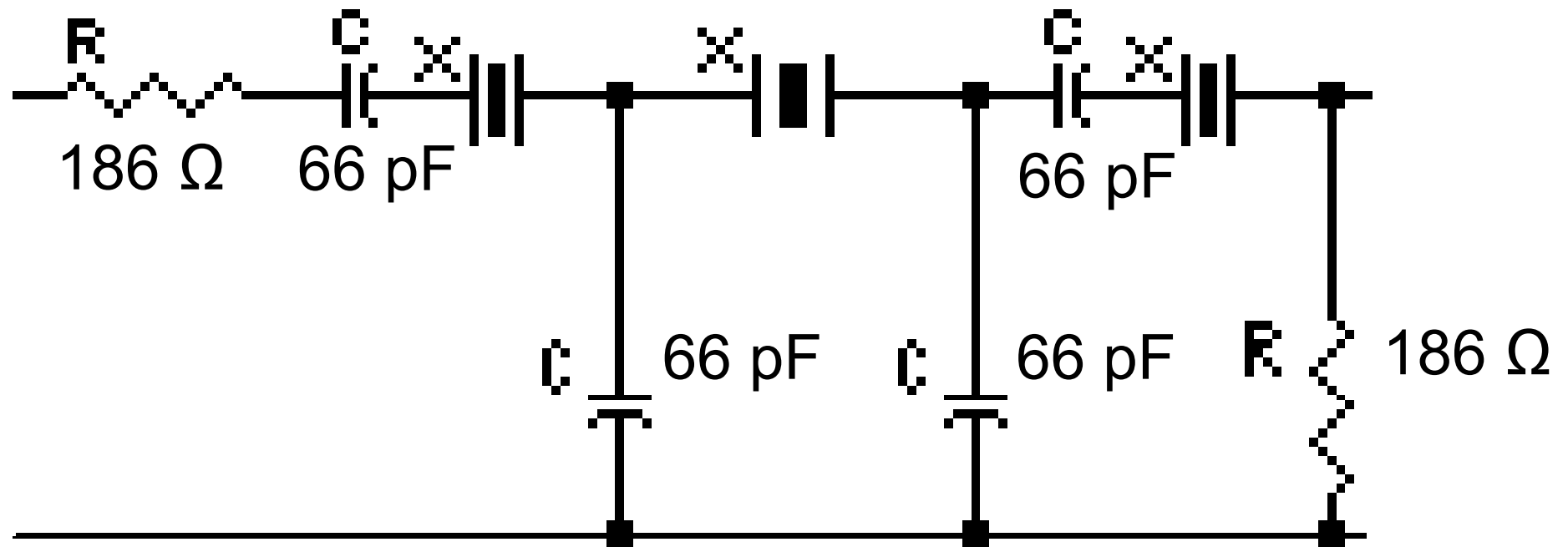


Enter the crystals parallel capacitance in Farads. L/C Meter II will measure it.

#	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

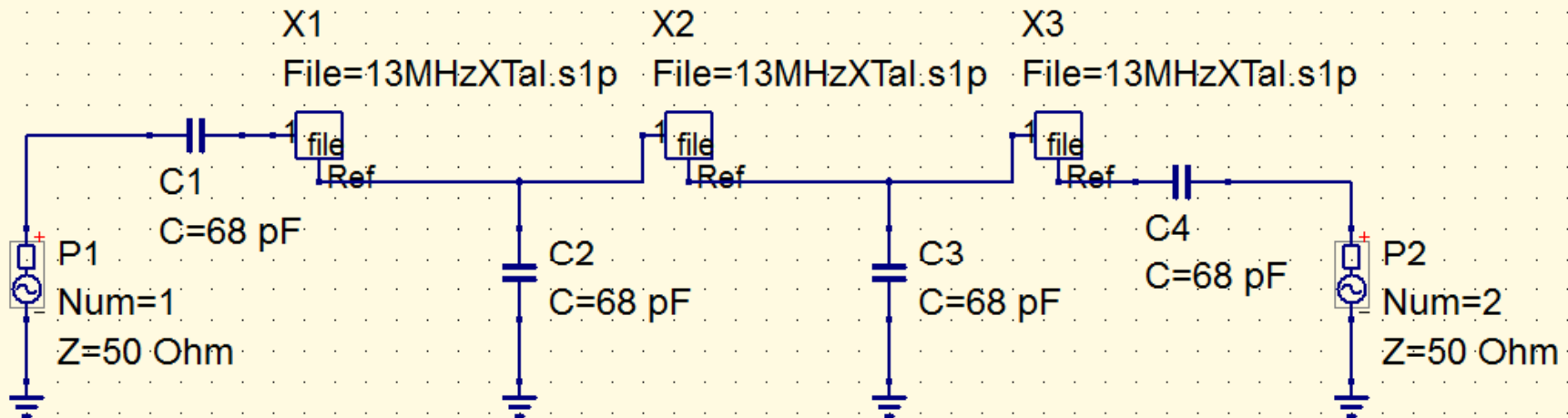


# Quarzfilter Simulation in QUCS an 50 $\Omega$ mit Norm-Bauteilwerten

## S parameter simulation

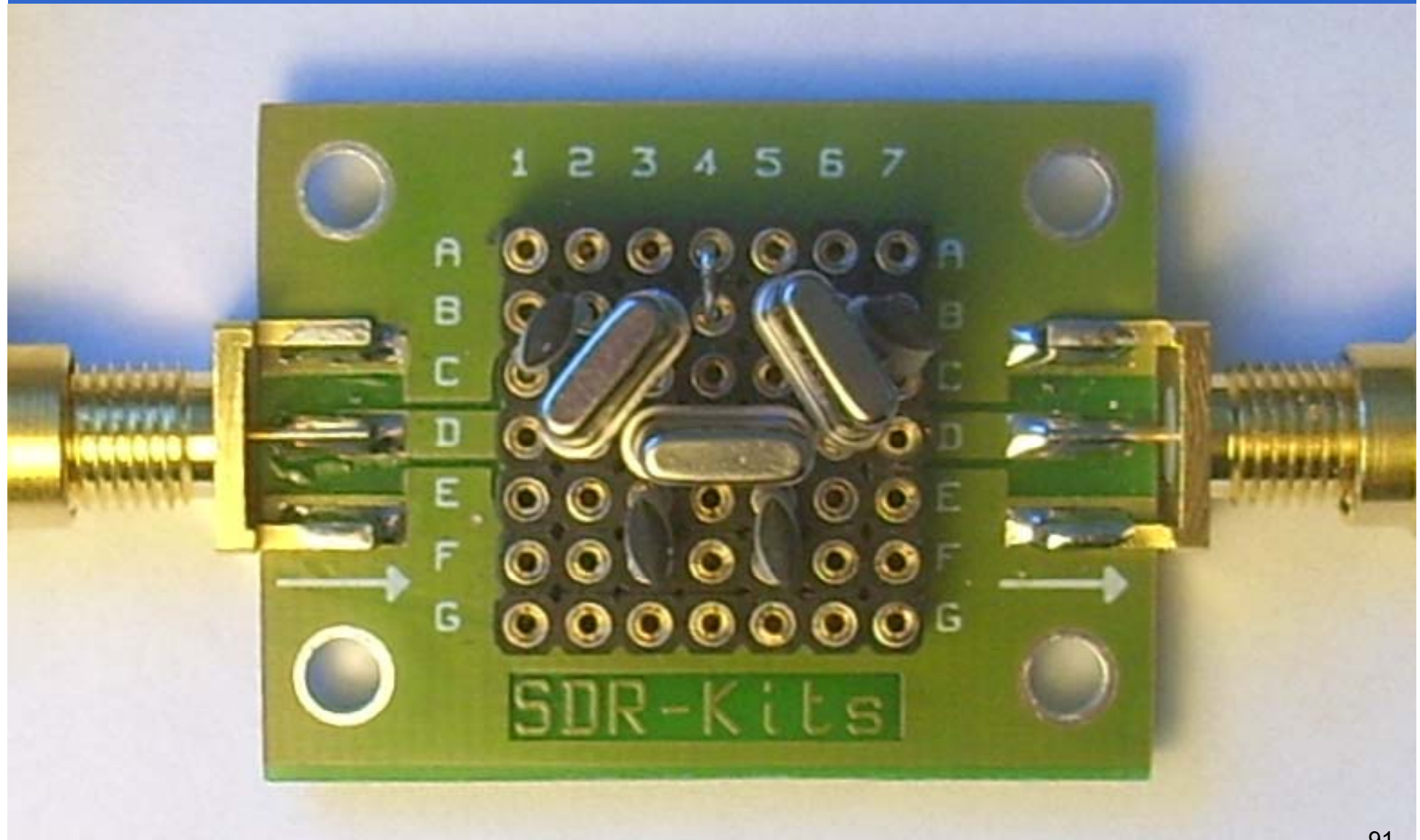
SP1  
Type=lin  
Start=12.987 MHz  
Stop=13.007 MHz  
Points=800

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

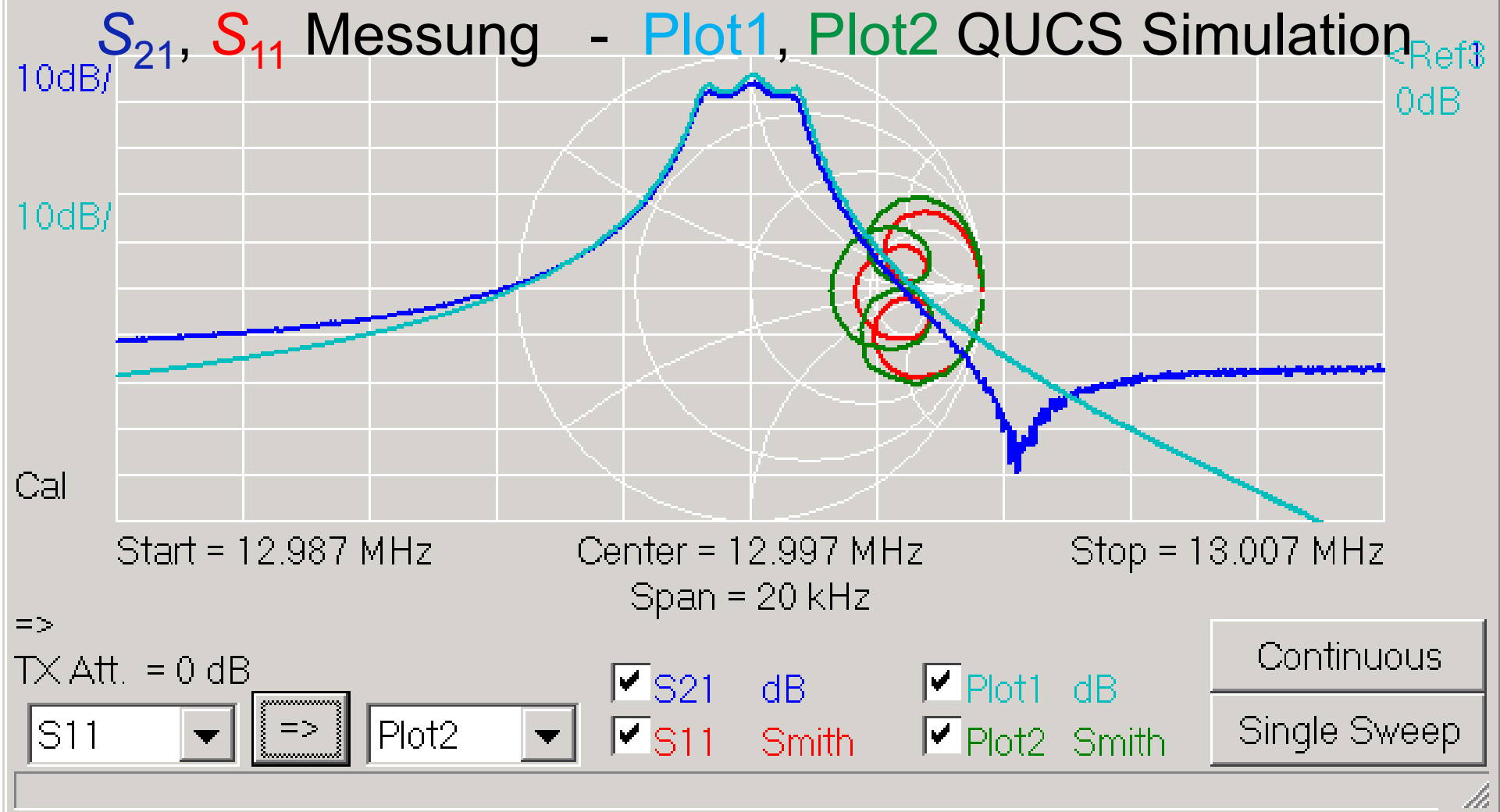




# Quarzfilter Aufbau

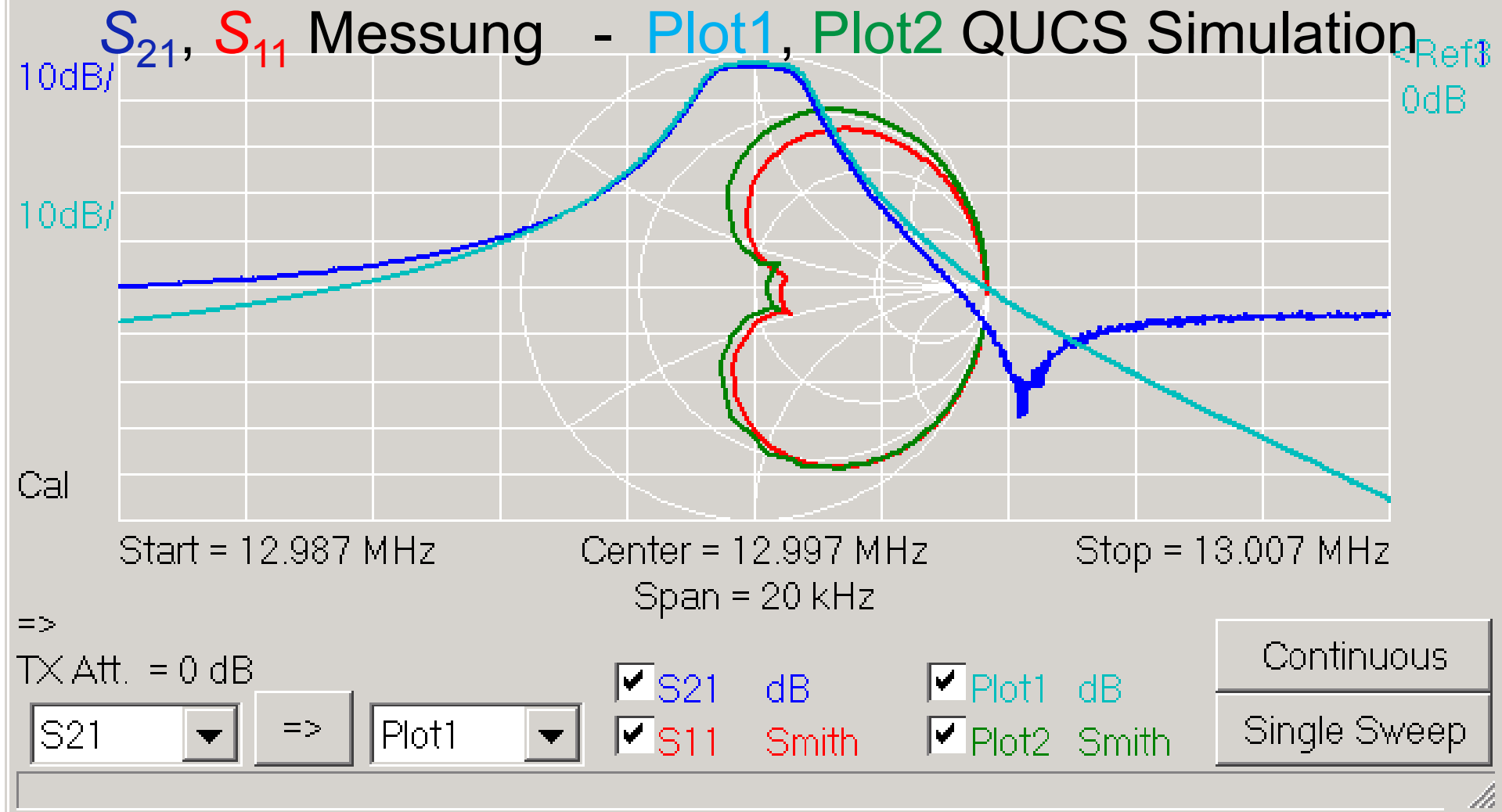


# Quarzfilter: Vergleich Messung – Rechnung an 50 $\Omega$





# 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!

