



HAM RADIO 2012

Evolution des DG8SAQ Vektor- Netzwerkanalysators: Neue Möglichkeiten des VNWA3

PROF. DR. THOMAS BAIER

E-mail: baier@hs-ulm.de

DG8SAQ

DG8SAQ Vector Network Analyzer v3

Technik
Informatik & Medien

Hochschule Ulm



University of
Applied Sciences

Hochschule Ulm
Prittwitzstrasse 10
89075 Ulm

Vortragsprogramm

- **Was sind Streuparameter?**
- **Wie funktioniert der VNWA und wie ist er entstanden?**
- **Neuerungen mit Anwendungsbeispielen**

Dank an:

- *Eric Hecker*

- *Giuseppe Gristina*

- *Fred Schneider*

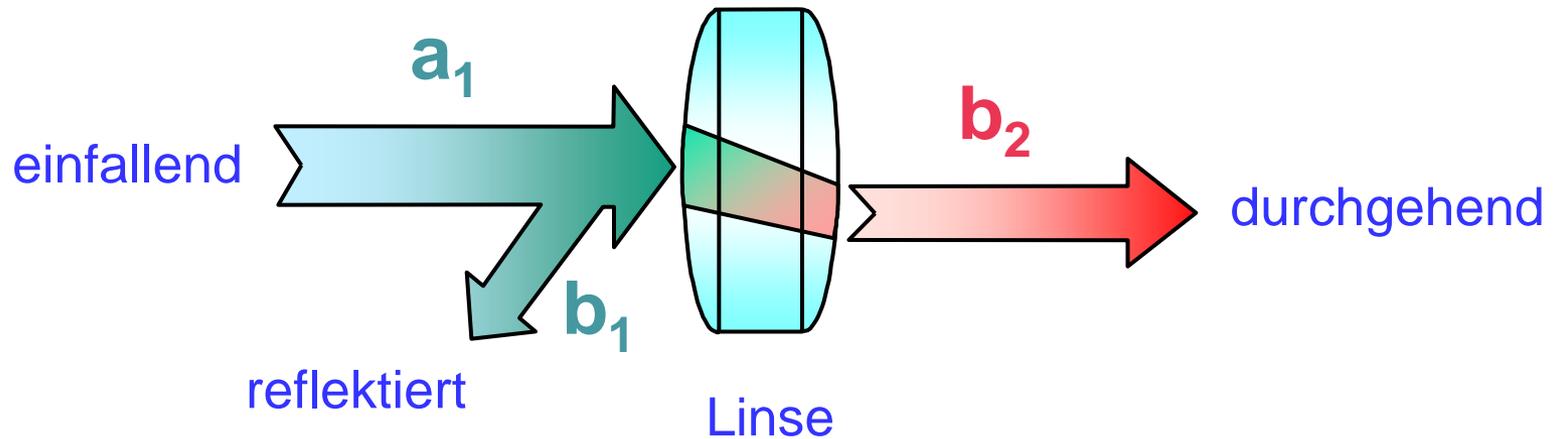
- *Mario Armando Natali*

Hochschule Ulm

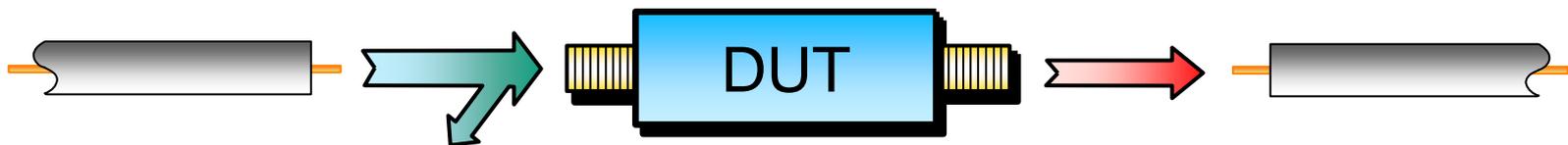


Es geht um die Streuung von Wellen

Optik

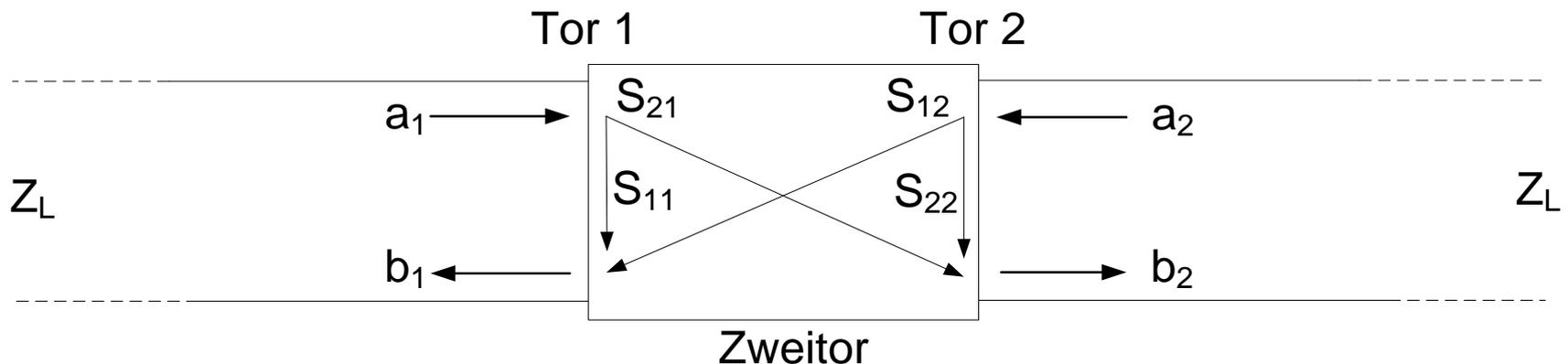
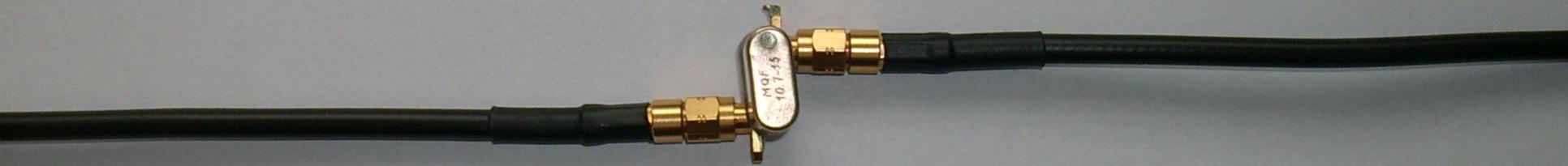


Elektrik



DUT : DEVICE UNDER TEST

S-Parameter = Streuparameter S_{ik}



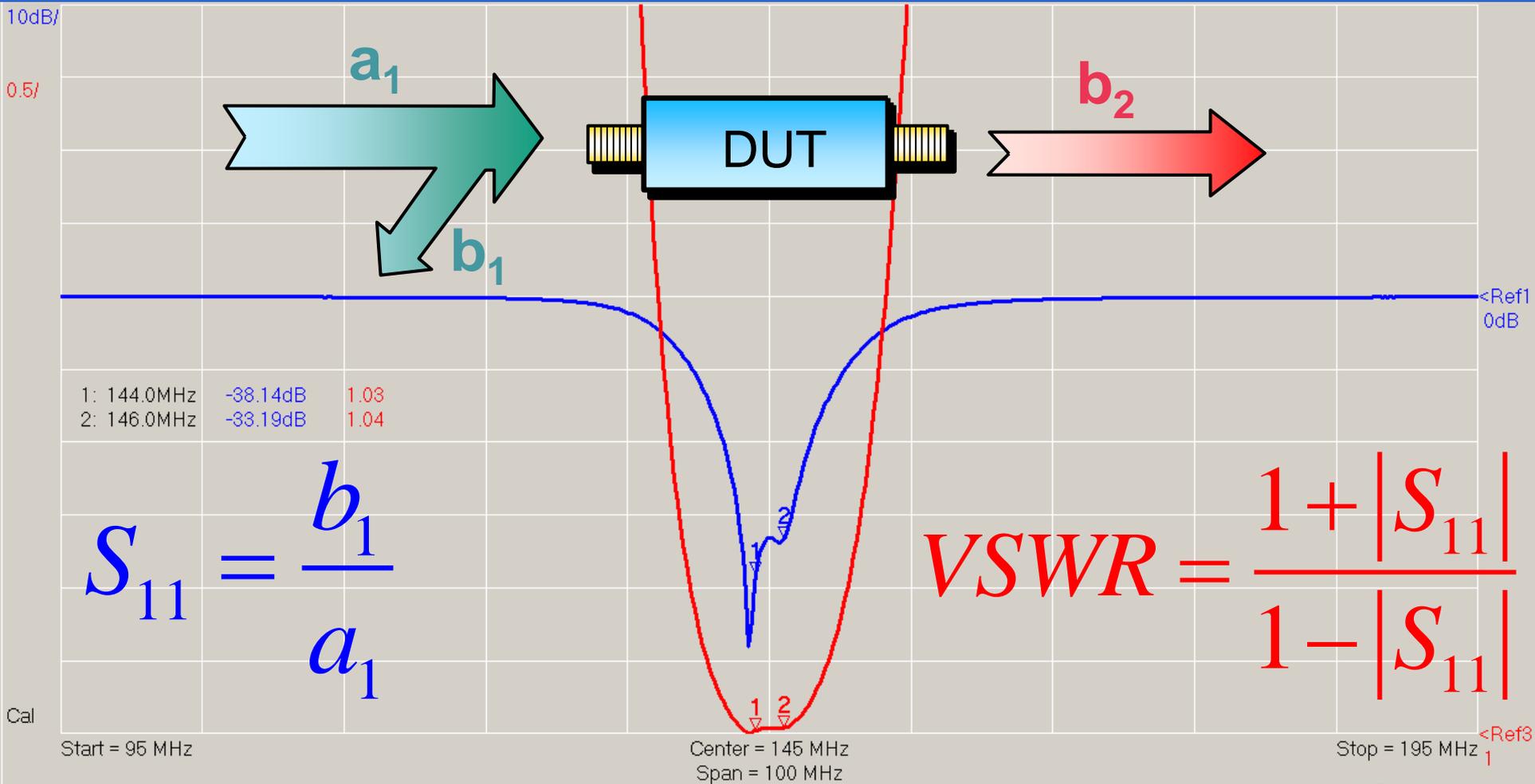
- Komplexe S-Parameter: $S_{ik} = b_i / a_k$
- S_{ik} sind komplexe Zahlen bestehend aus **Betrag** und **Phase**!



S-Parameter S_{11}

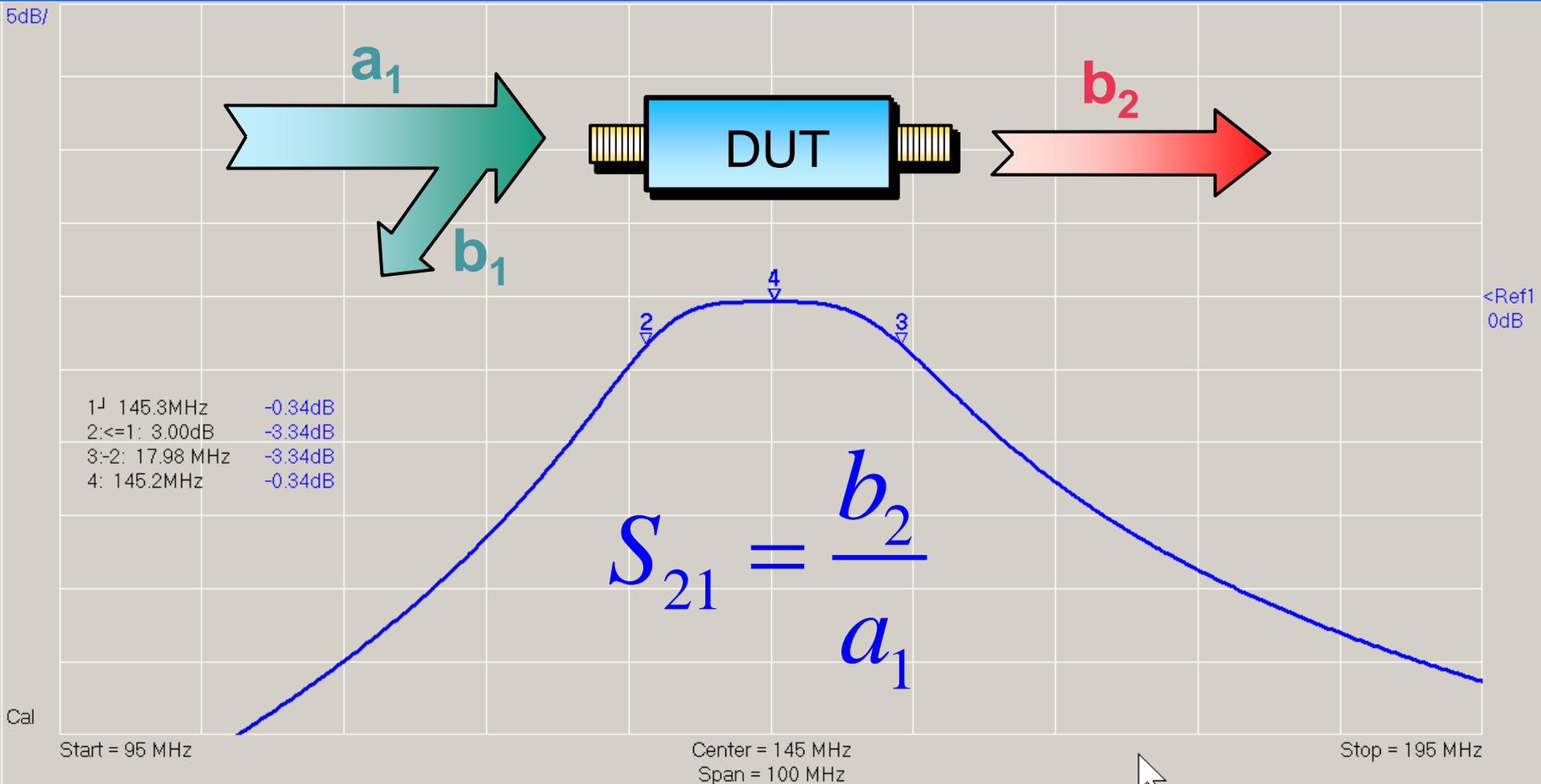


$|S_{11}| =$ Rückflussdämpfung

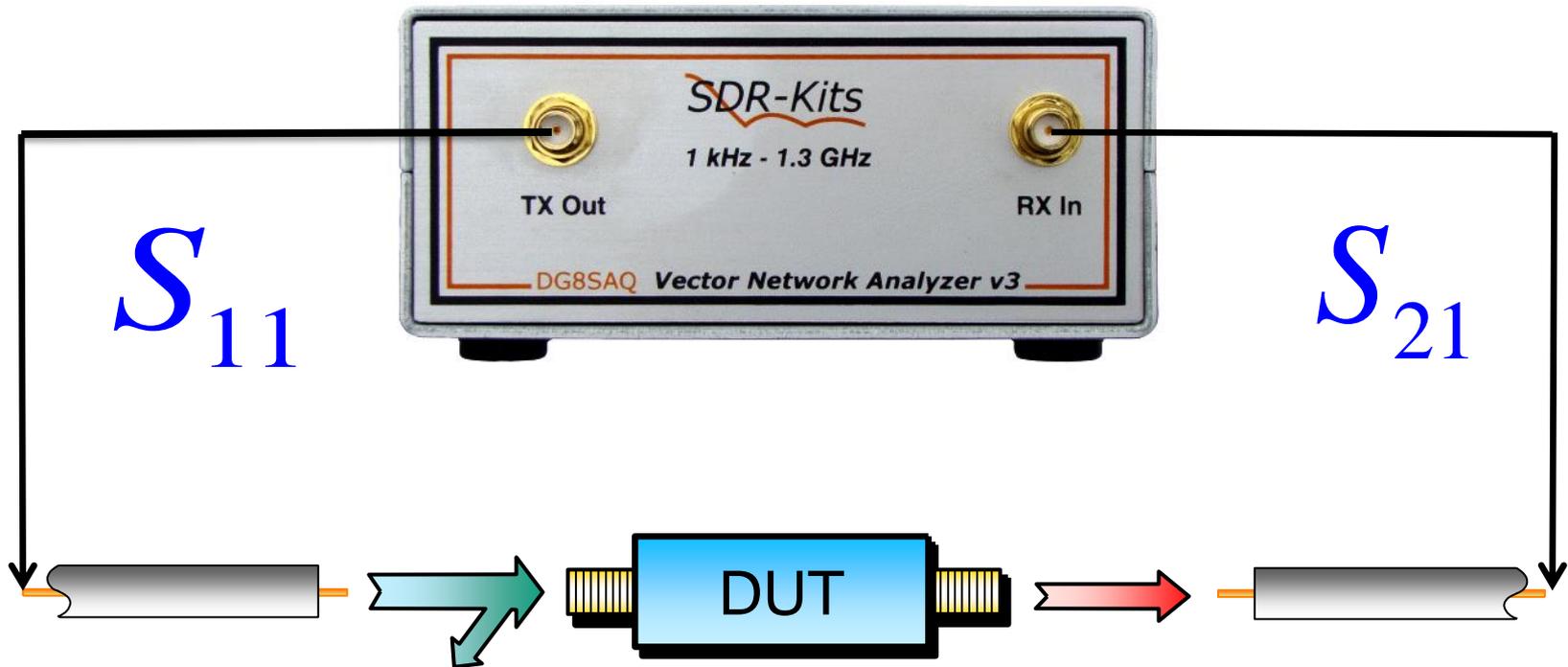


S-Parameter S_{21}

→ $|S_{21}| = \text{Durchgangsdämpfung}$



Der VNWA kann diese S-Parameter messen!



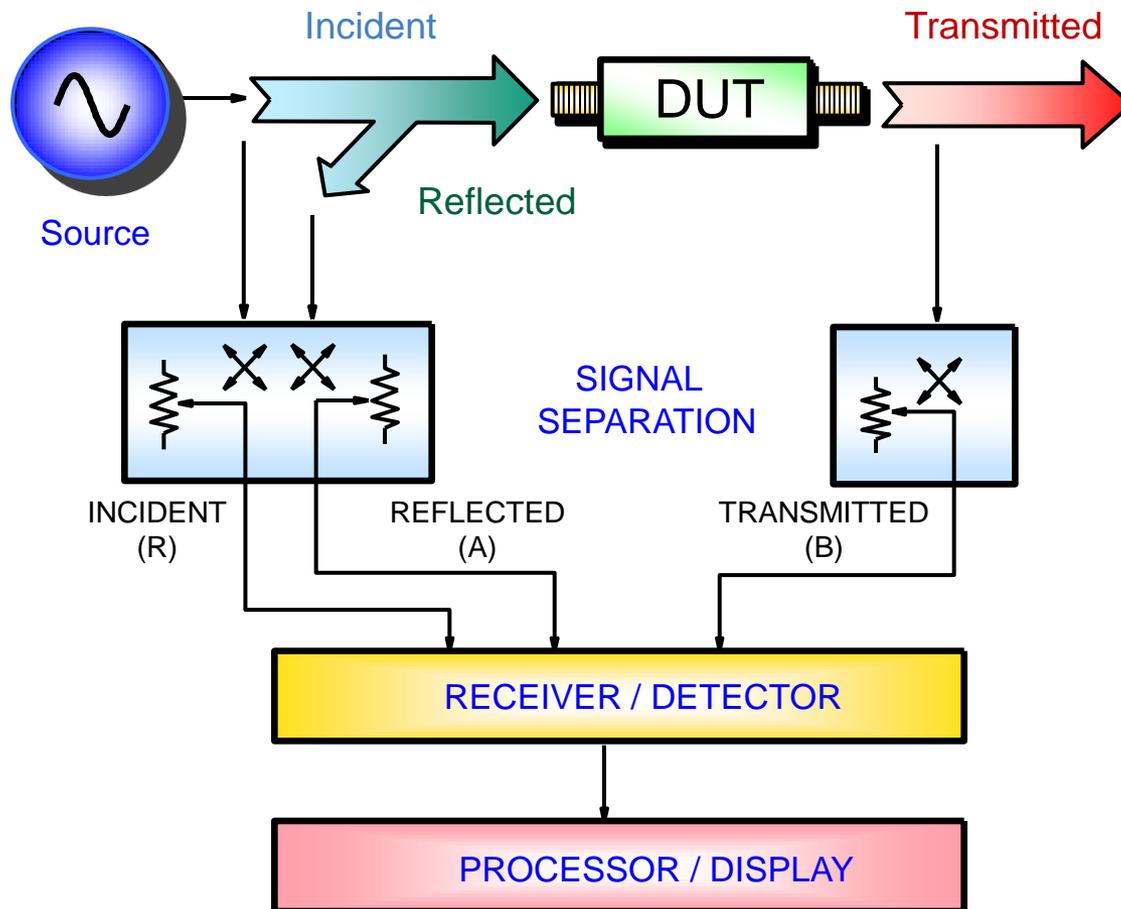
DUT : DEVICE UNDER TEST

Hochschule Ulm



Evolution und Funktionsweise (1)

Prinzip eines VNWA's



- Abstimmbare Signalquelle
- 3 kohärente Empfänger
- Ablaufsteuerung
- Datenverarbeitung und Grafik

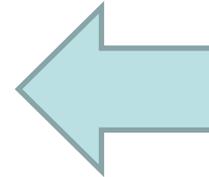
Hochschule Ulm



Evolution und Funktionsweise (2)

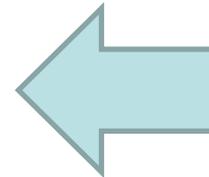
Funktionsblöcke

Direct Digital Synthesizer (DDS)

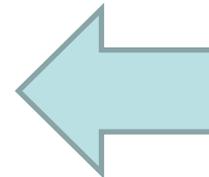


- Abstimmbare Signalquelle

3 Gilbert-Zellen Mischer + DDS
+ PC Sound Karte (ZF)



- 3 kohärente Empfänger



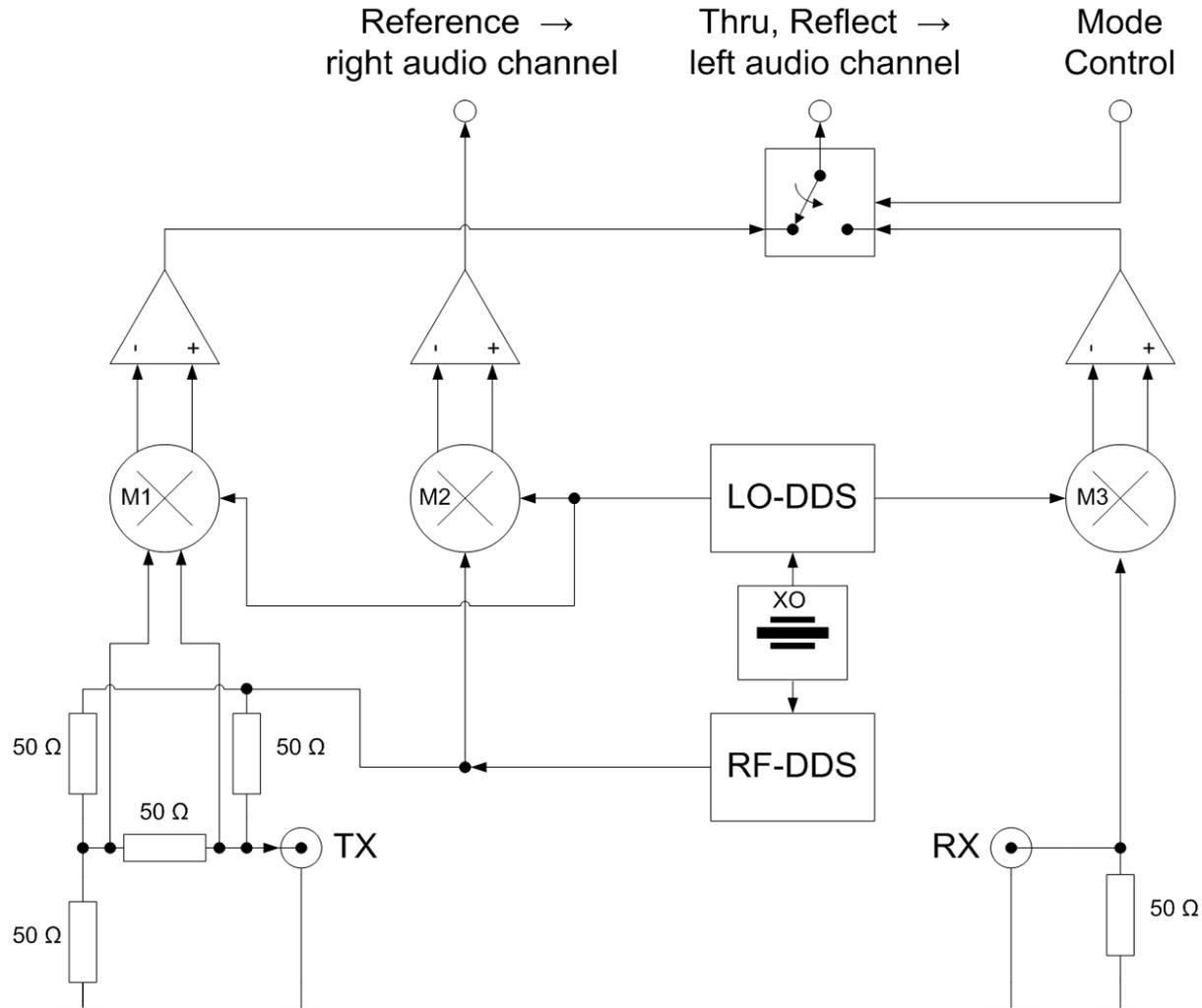
- Ablaufsteuerung
- Datenverarbeitung und Grafik

Hochschule Ulm



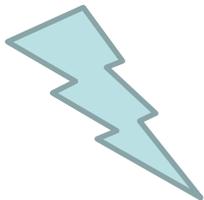
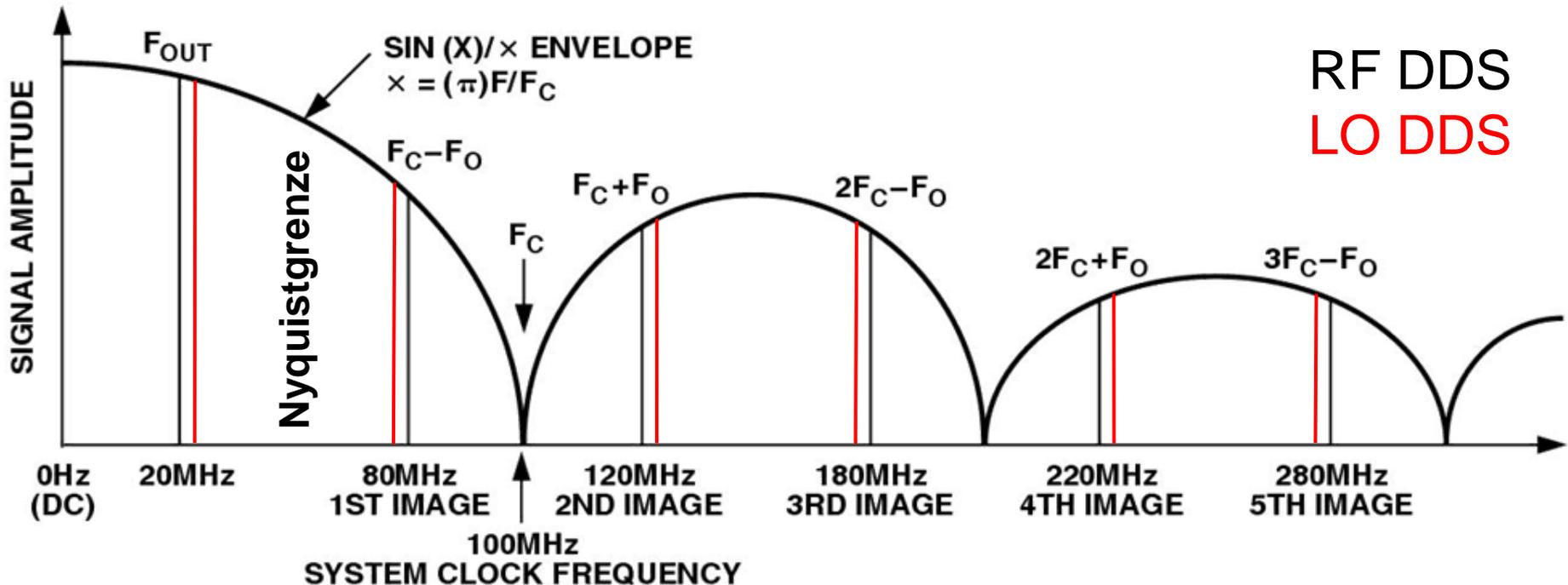
Evolution und Funktionsweise (3)

Prinzipieller Aufbau



Evolution und Funktionsweise (4)

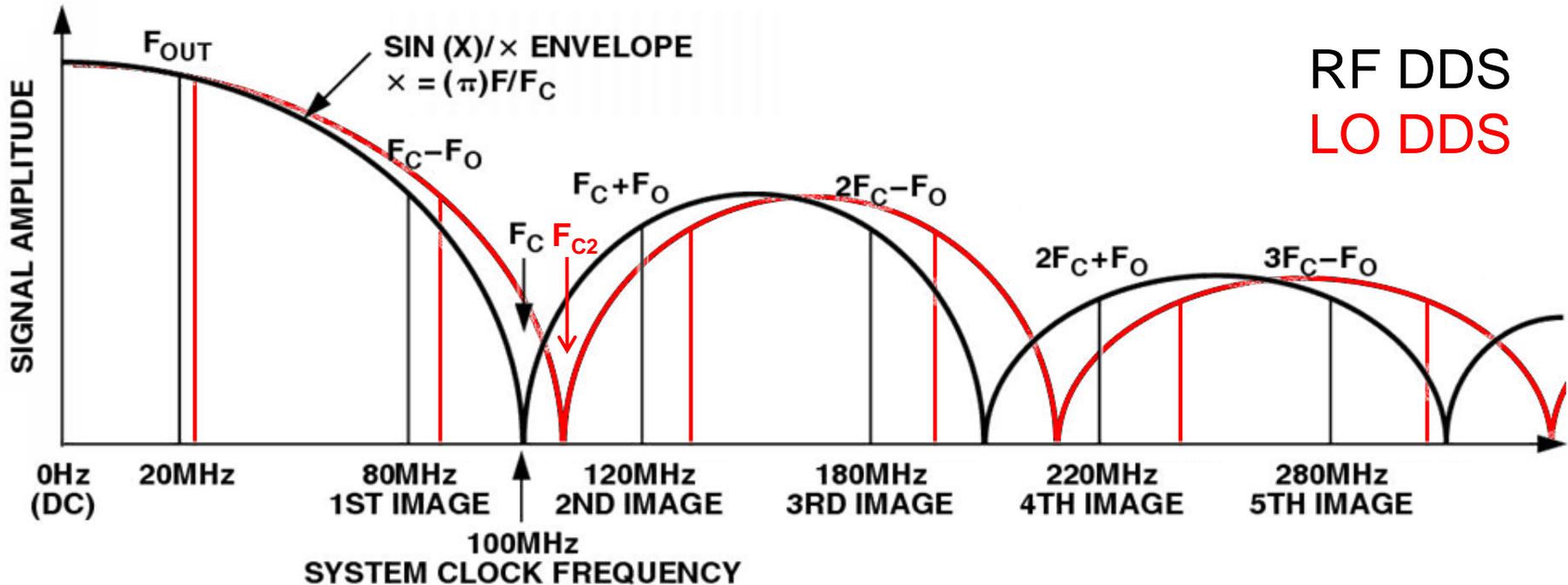
Problem: DDS Aliasfrequenzen



**Alle Alias-Frequenzen mischen
zur selben Zwischenfrequenz
→ entweder Tiefpassfilter, oder...**

Evolution und Funktionsweise (5)

Chance: LO DDS mit verschobenem Takt

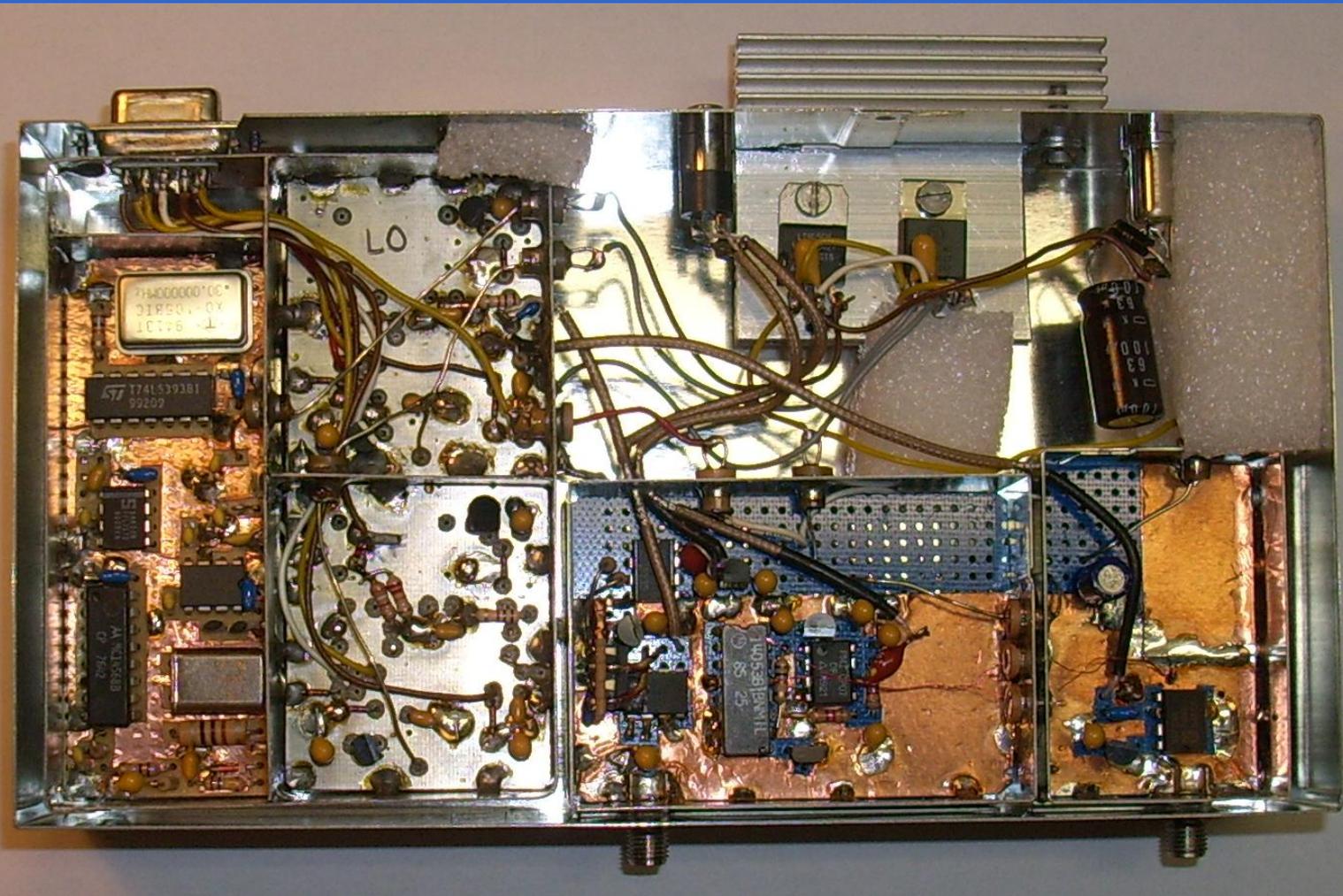


Alle Alias-Frequenzen können zwecks Erweiterung des Frequenzbereichs getrennt genutzt werden



Evolution und Funktionsweise (6)

Ergebnis: VNWA1



Hochschule Ulm



Evolution und Funktionsweise (7)

VNWA1 Messplatz



Evolution und Funktionsweise (8)

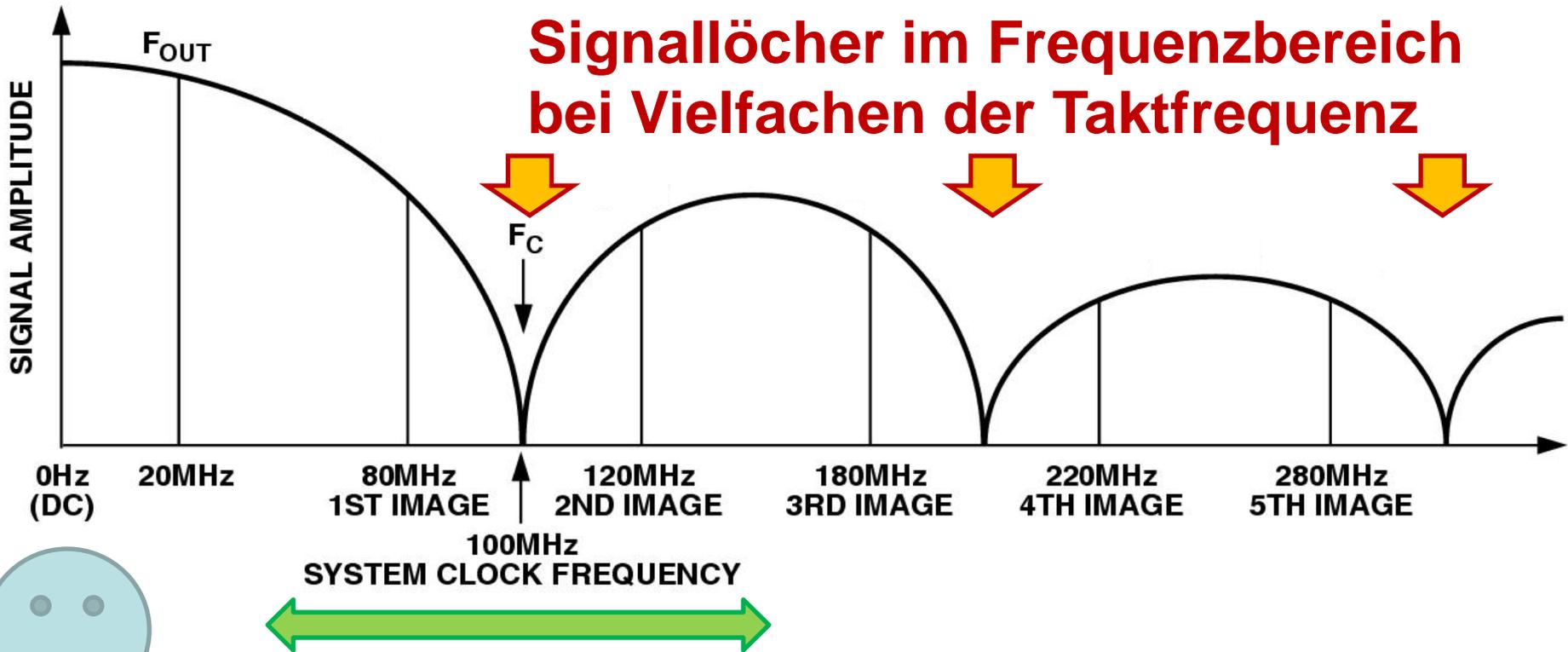
Neue Entwicklungsziele

Treiber: Einsatz in der Lehre

- **Frequenzbereich > 500 MHz**
- **Lückenloser Frequenzbereich**
- **Aufbau auf Leiterplatte / Vervielfältigbarkeit**
- **Möglichst geringe Kosten**

Evolution und Funktionsweise (9)

Lückenloser Frequenzbereich

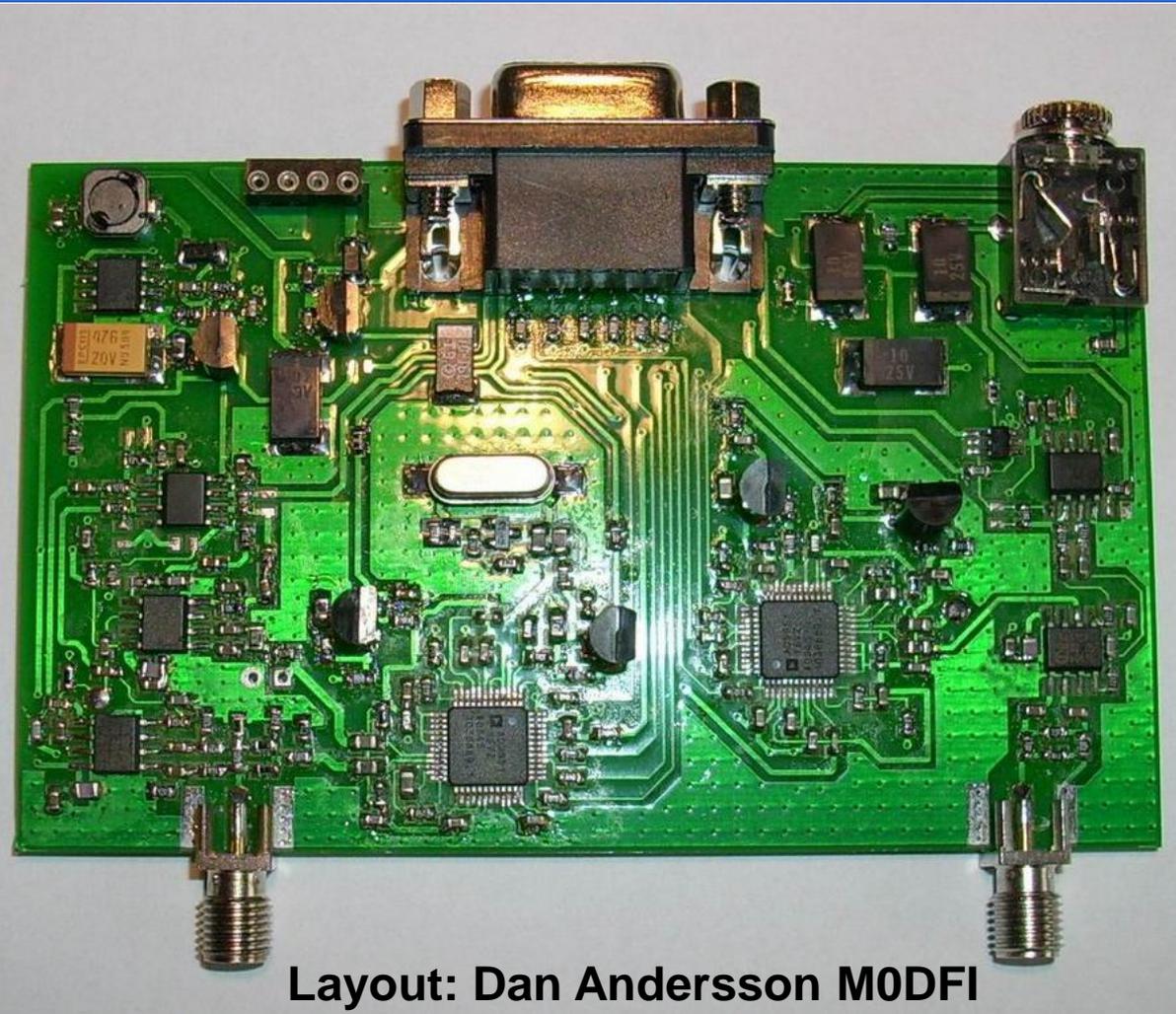


Lösung: variable Taktfrequenzen mittels Taktvervielfacher-PLL (in DDS integriert)



Evolution und Funktionsweise (10)

Ergebnis: VNWA2



- Frequenzbereich:
1 kHz...>1,3 GHz
- Dynamik:
>90 dB ($f \leq 500$ MHz)
>60dB sonst
- S11, S21 Messungen
- Steuerung über Parallel-Schnittstelle
- Signalerfassung mit externer Soundkarte

Evolution und Funktionsweise (10)

Meilenstein 2009: Bausatz durch SDRKits

SDRKits

=

Jan Verduyn G0BBL

- **Ex Marinefunker**
- **Ex Motorola Ingenieur**
- **im Ruhestand**
- **Funkamateurl**



Halle A1 Stand E812



Evolution und Funktionsweise (11)

Neue Randbedingungen durch Markt



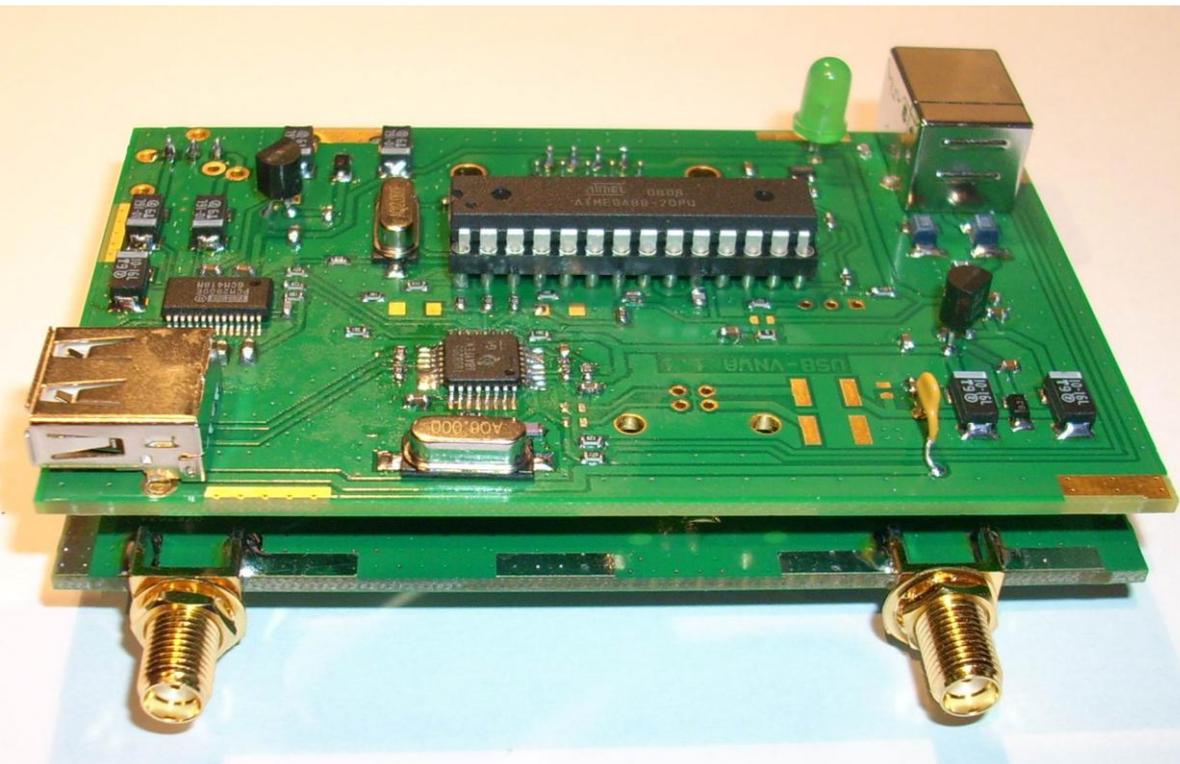
**Immer weniger Rechner mit
*Parallelschnittstelle***



**Immer weniger Rechner mit
*Stereo-Line-In***

Evolution und Funktionsweise (12)

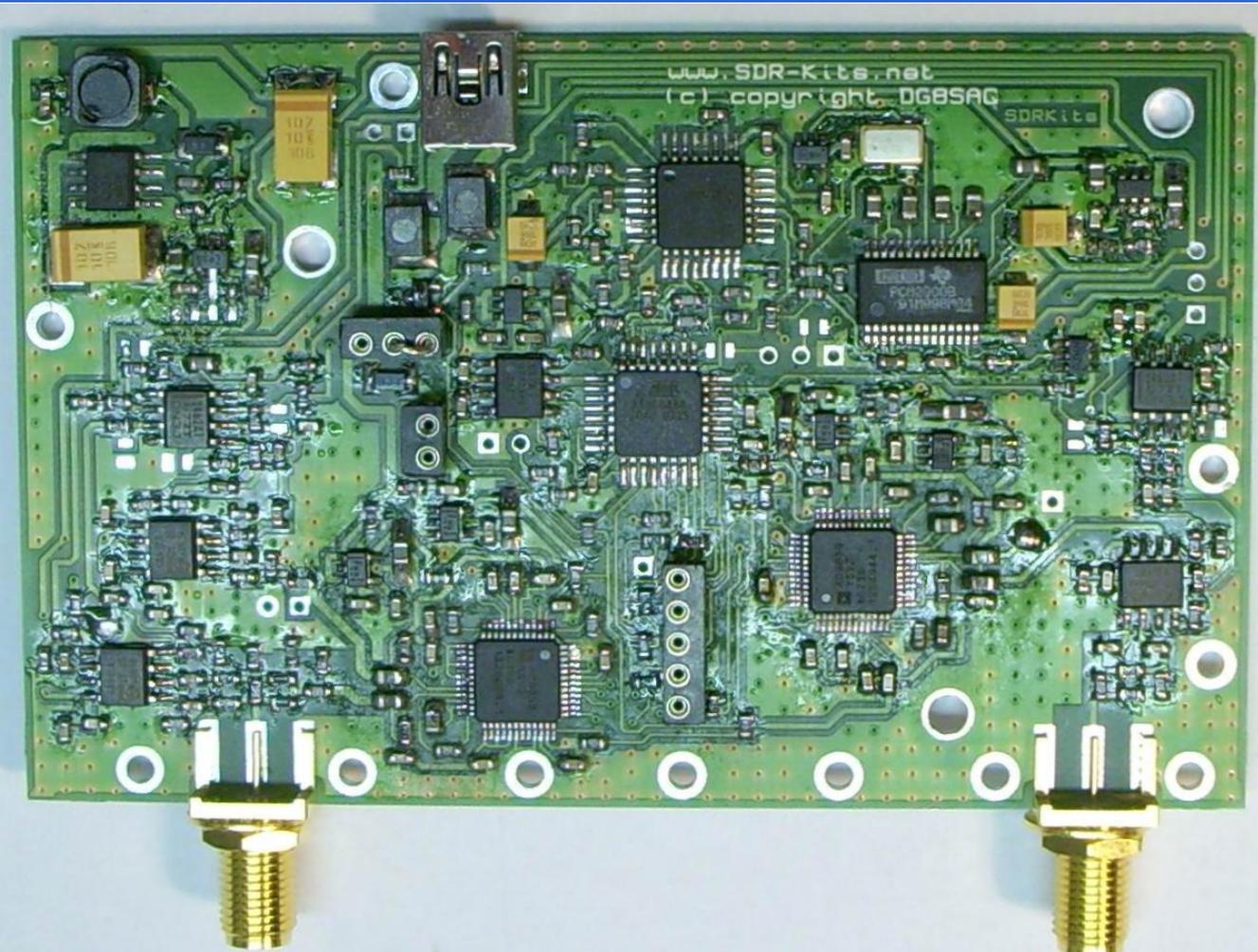
VNWA2-USB



- USB Interface
- Controller
- USB Audio Codec
- Stromversorgung über USB, nur ein Kabel zum PC

Evolution und Funktionsweise (13)

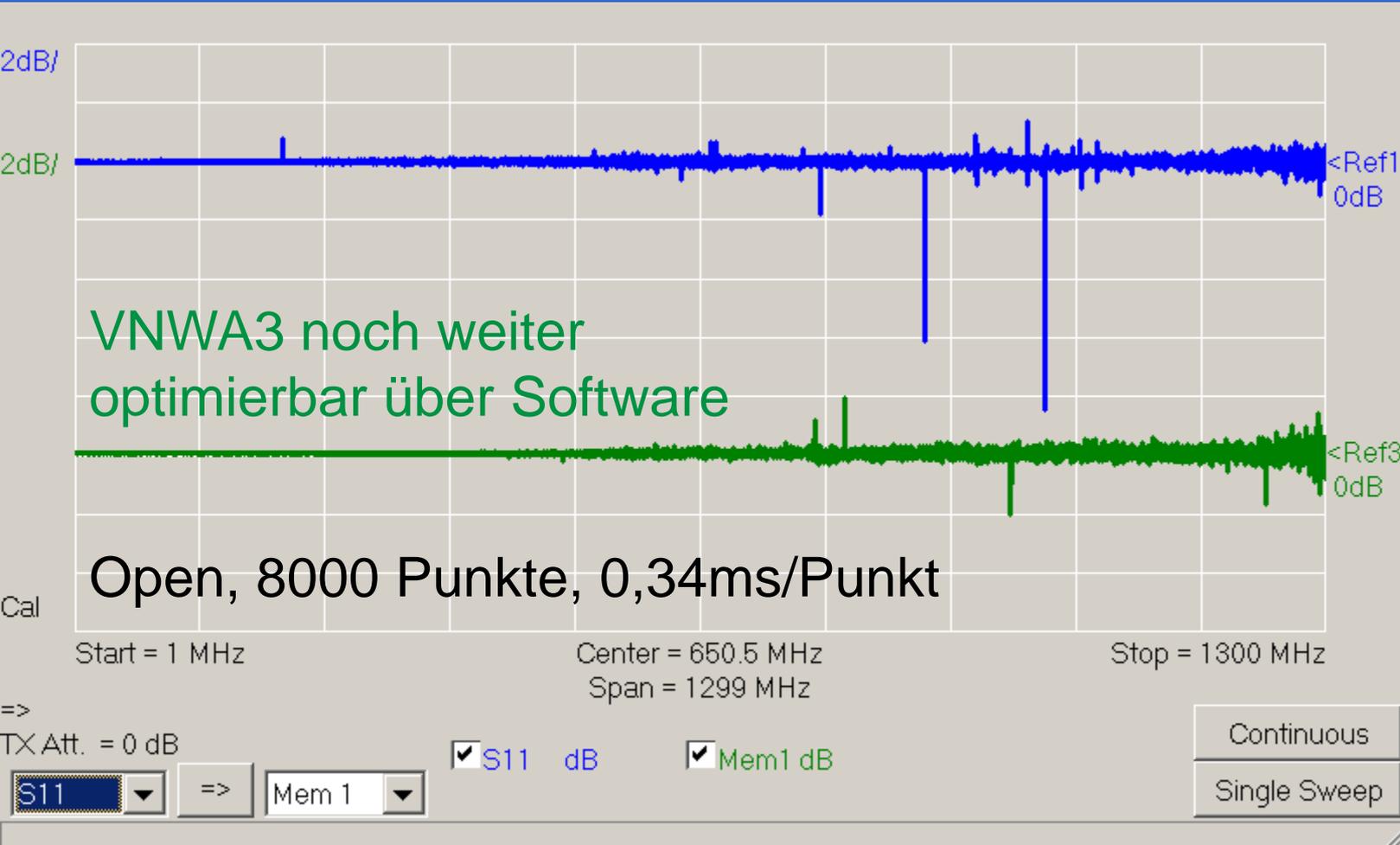
VNWA3: maschinell gefertigt



- TCXO
- **Zusätzliche Takt-PLL!!**

Evolution und Funktionsweise (14)

Weniger Störer durch flexiblere Takt-PLL



VNWA2

VNWA3

Hochschule Ulm



Evolution und Funktionsweise (15)

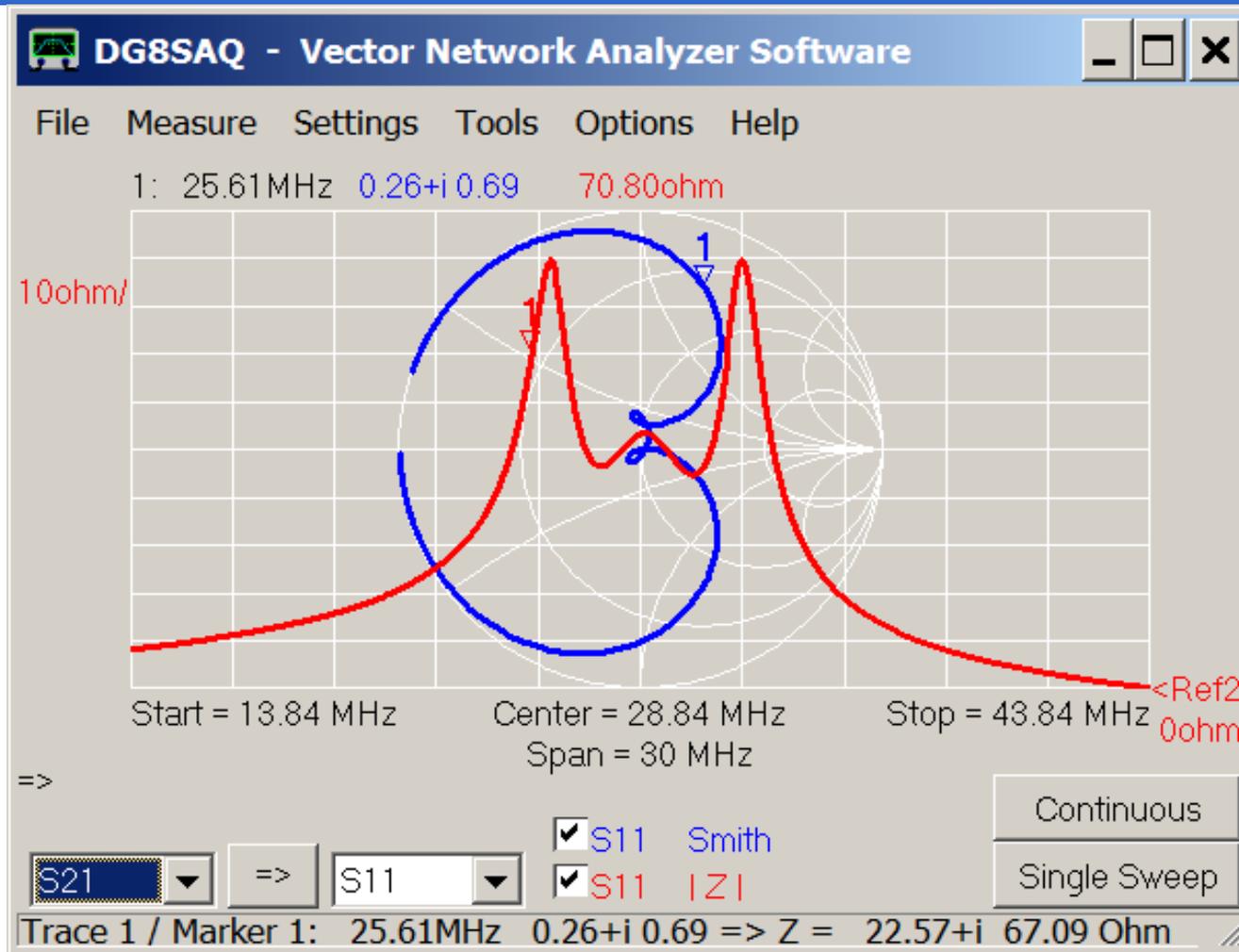
Optionale VNWA3 Erweiterungen



- Zusätzlicher Audio-Codec zur simultanen Messung von S_{11} und S_{21}
- Takteingang
- Erweiterung zum vollautomatischen Zweitoranalyser durch Anschluss eines externen Transferrelais

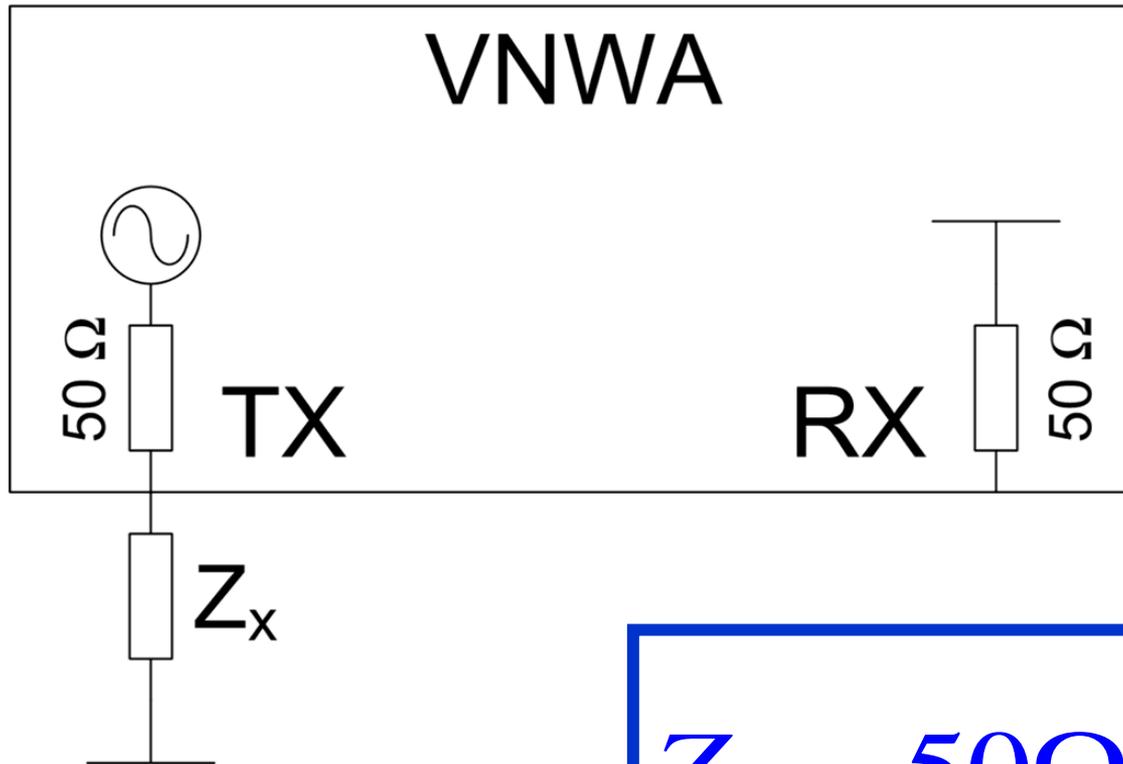


Anwendungen: Impedanzmessung



Impedanzmessung (2)

Variante 1: Reflexionsfaktormessung



Optimal für
 Z_x nahe 50 Ω

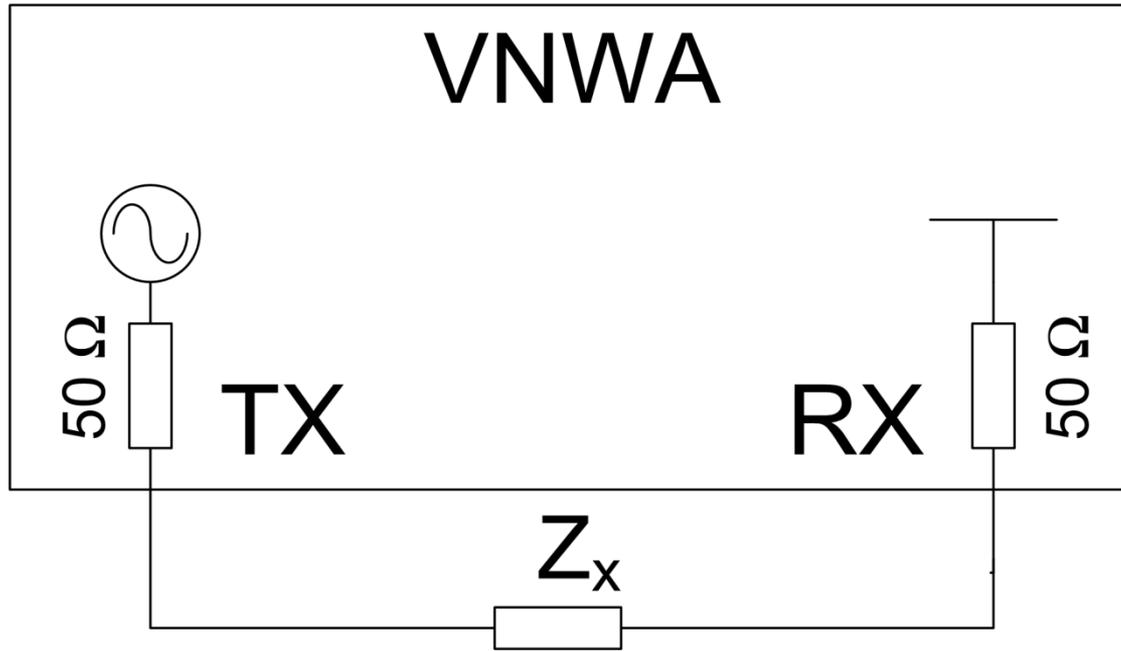
$$Z_x = 50\Omega \cdot \frac{1 + S_{11}}{1 - S_{11}}$$

Cal: SOL

Hochschule Ulm



Impedanzmessung (3) Variante 2: I-Messung



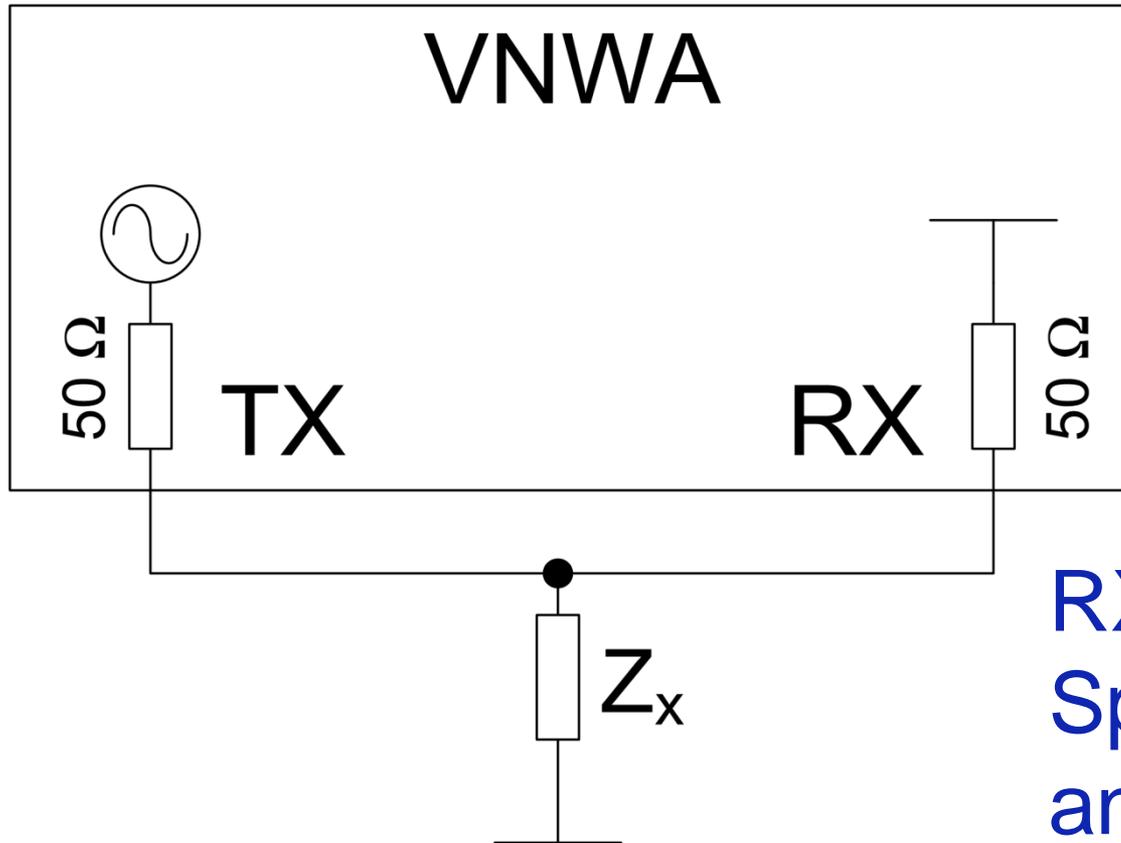
Optimal für
 Z_x groß

Cal: Thru

RX misst Strom durch Z_x

Impedanzmessung (4)

Variante 3: V-Messung



**Optimal für
 Z_x klein**

**RX misst
Spannung
an Z_x**

Cal: SOL

Impedanzmessung (5)

Variante 4: RF-IV-Messung

$$Z_x = \frac{V}{I}$$

Cal: SOL Z_x

Optimal für
alle Z_x

Kombination aus
I- und V-Messung

Impedanzmessung (6)

Sensitivitäten Varianten 1 - 4

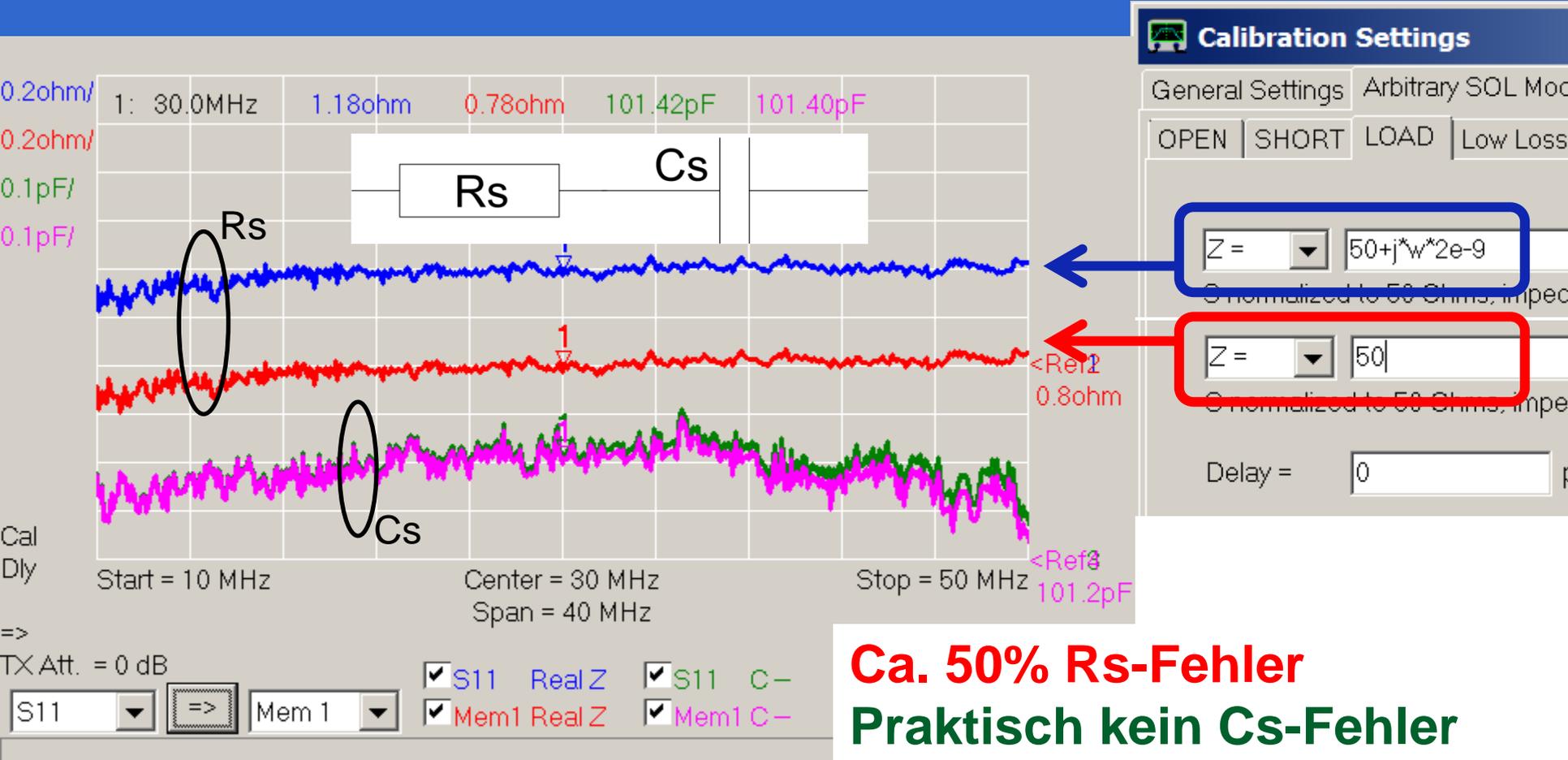
Auswirkung der Vergrößerung von Z_x um 10% auf den Messwert:

Z_x	S_{11}	I	V	V / I
0,1 Ω	-0,04%	0,01%	-9,96%	9,97%
51 Ω	480,68%	3,27%	-3,08%	6,56%
100 k Ω	0,01%	9,08%	0,00%	9,99%



RF-IV ist immer gleich empfindlich!

Impedanz eines 100 pF SMD Kondensators: Effekt von 2 nH beim Load Standard

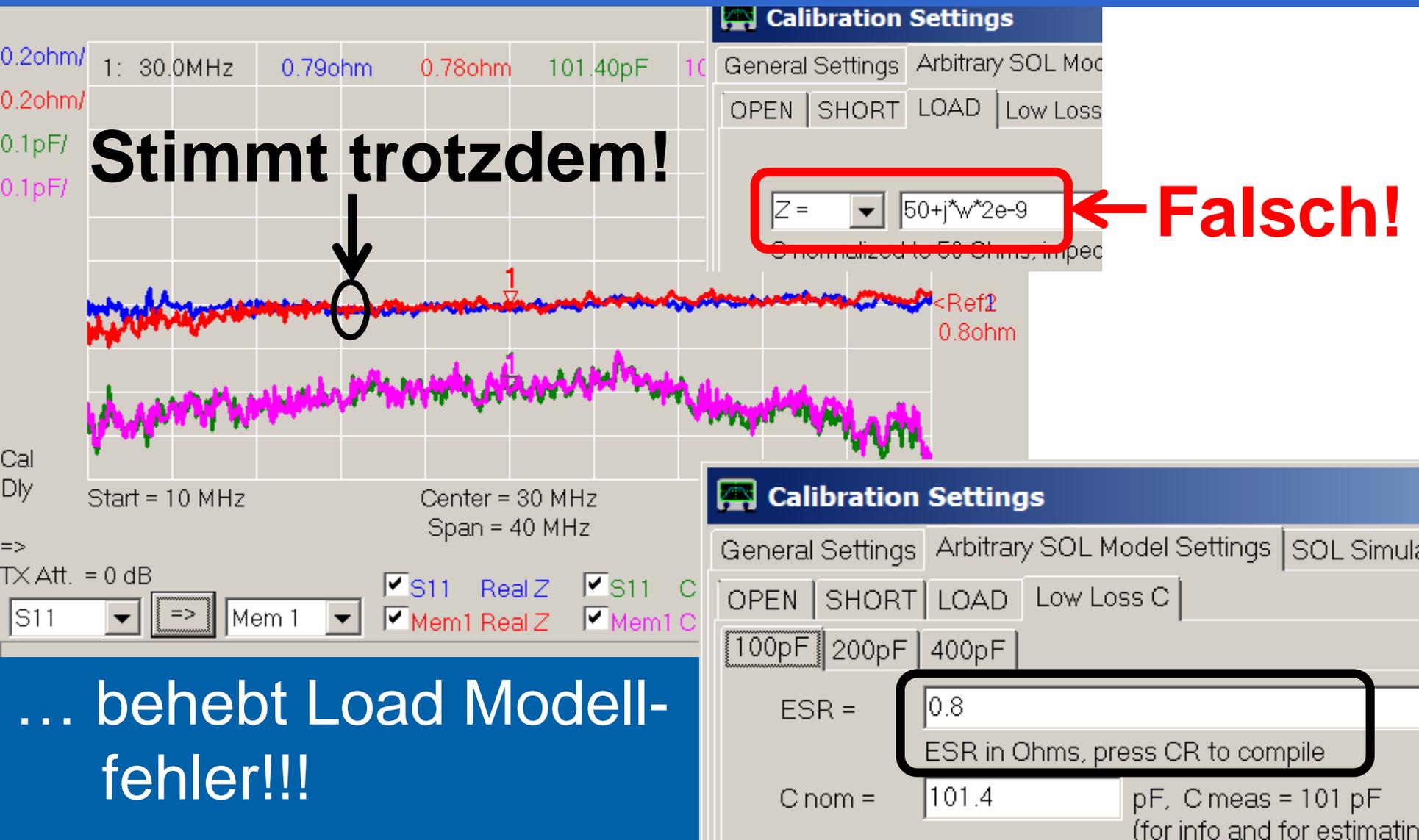


Load-Modell kritisch bei Gütemessungen!

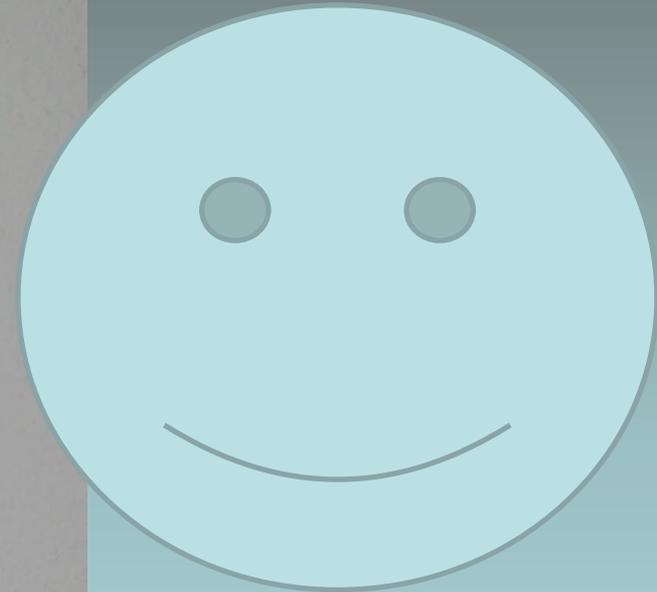
Hochschule Ulm



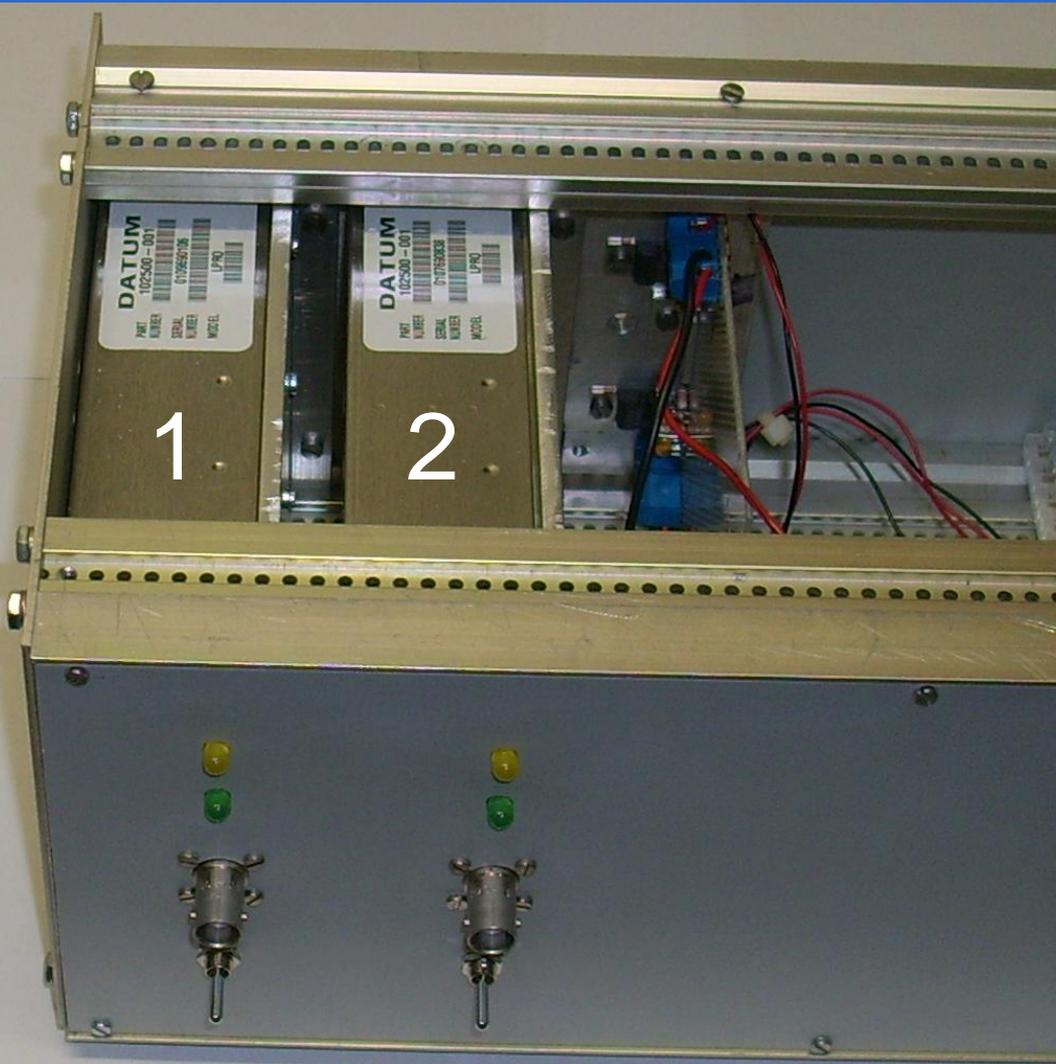
Neu: Low Loss Capacitor (LLC) als zusätzlicher Kalibrationsstandard...



Wer eine Uhr hat, weiß immer wie spät es ist ...

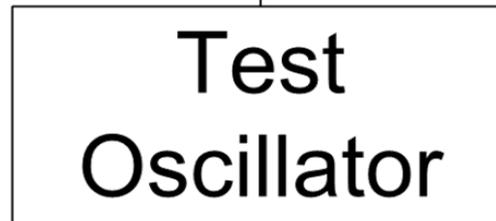
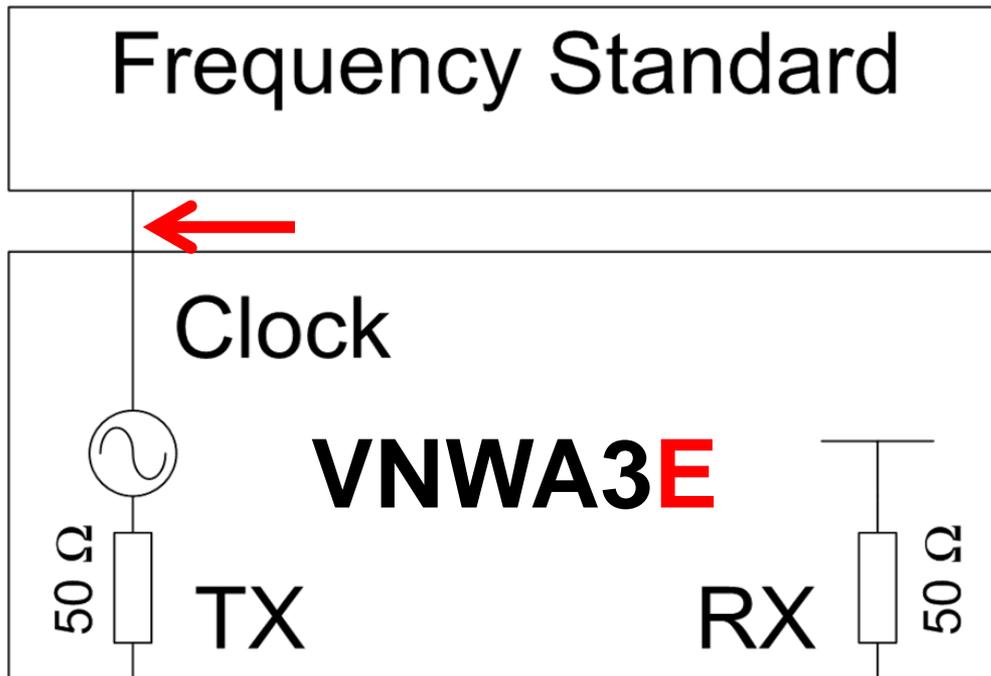


Wer ZWEI Uhren hat, der ist sich nie ganz sicher!



- Meine beiden Rubidium Frequenznormale
- **Wie präzise laufen die synchron?**

Anwendung Frequenzvergleich: VNWA3 als Phasenvergleichler



- Präzise Phasenmessung mit VNWA3
- Frequenzabweichung aus Phase berechenbar



Frequenzvergleich (2)

Messgenauigkeit



- TCXO mit sich selbst verglichen
- 1s Messzeit
- ca $\pm 10 \mu\text{Hz}$ Streuung!!!



Frequenzvergleich (3)

Rubidium 1 vs. Rubidium 2 über 260s

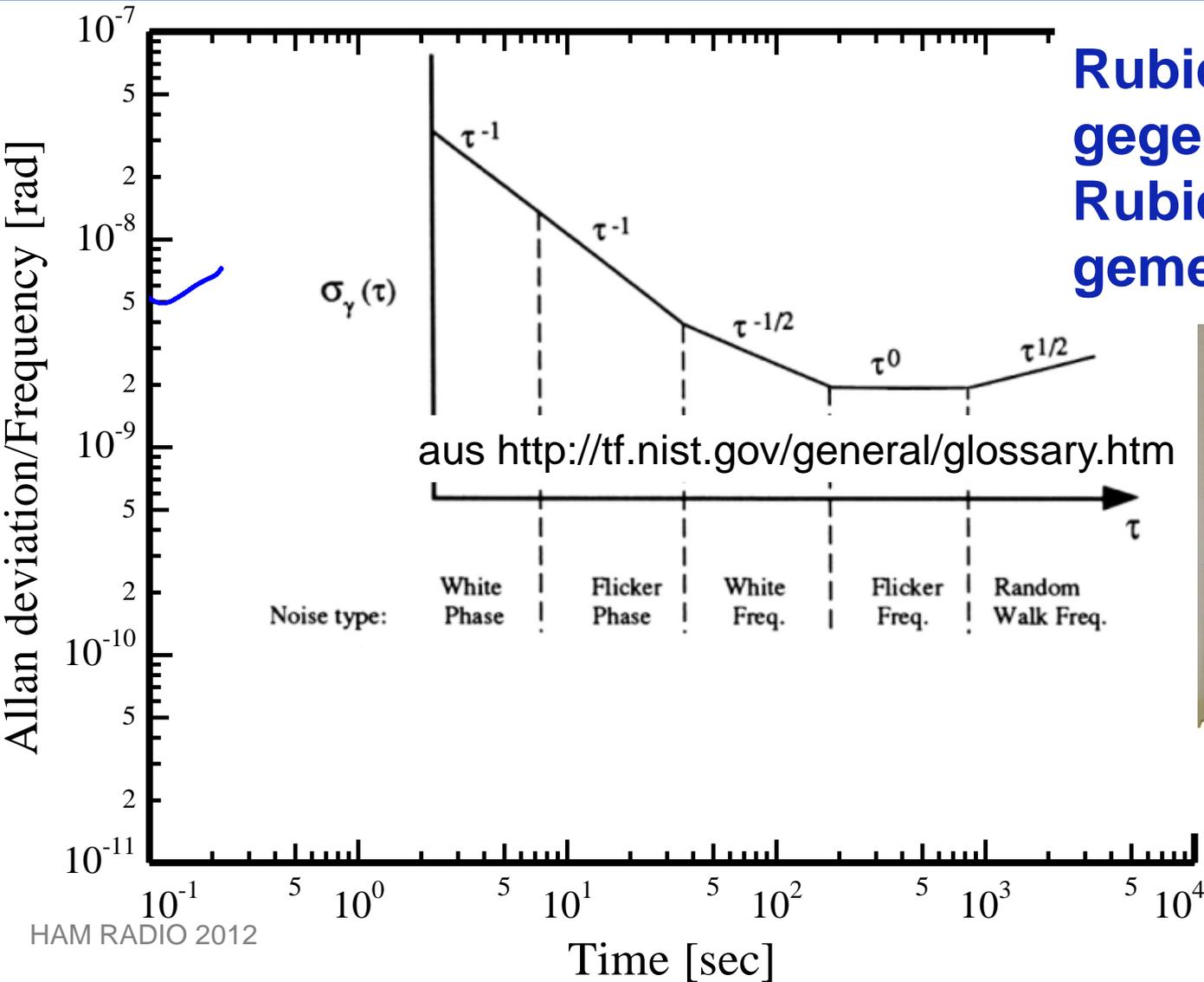


Abweichung = $-0,0025 \text{ Hz} \pm 0,0003 \text{ Hz}$ bei 10 MHz
 $\equiv 2,5 \cdot 10^{-10}$

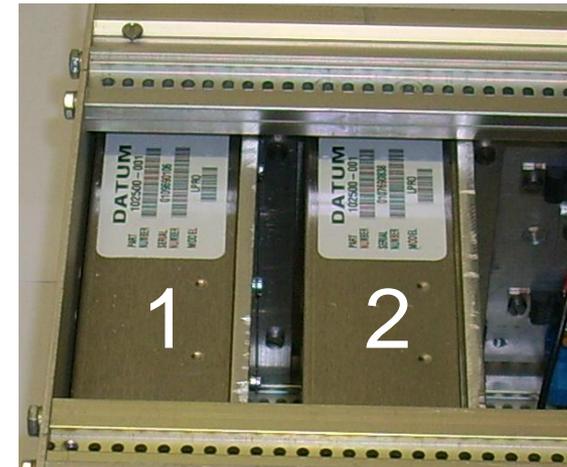


Frequenzvergleich (4)

Allan Abweichung aus VNWA-Messung



**Rubidium Standard 1
gegen
Rubidium Standard 2
gemessen**



Hochschule Ulm



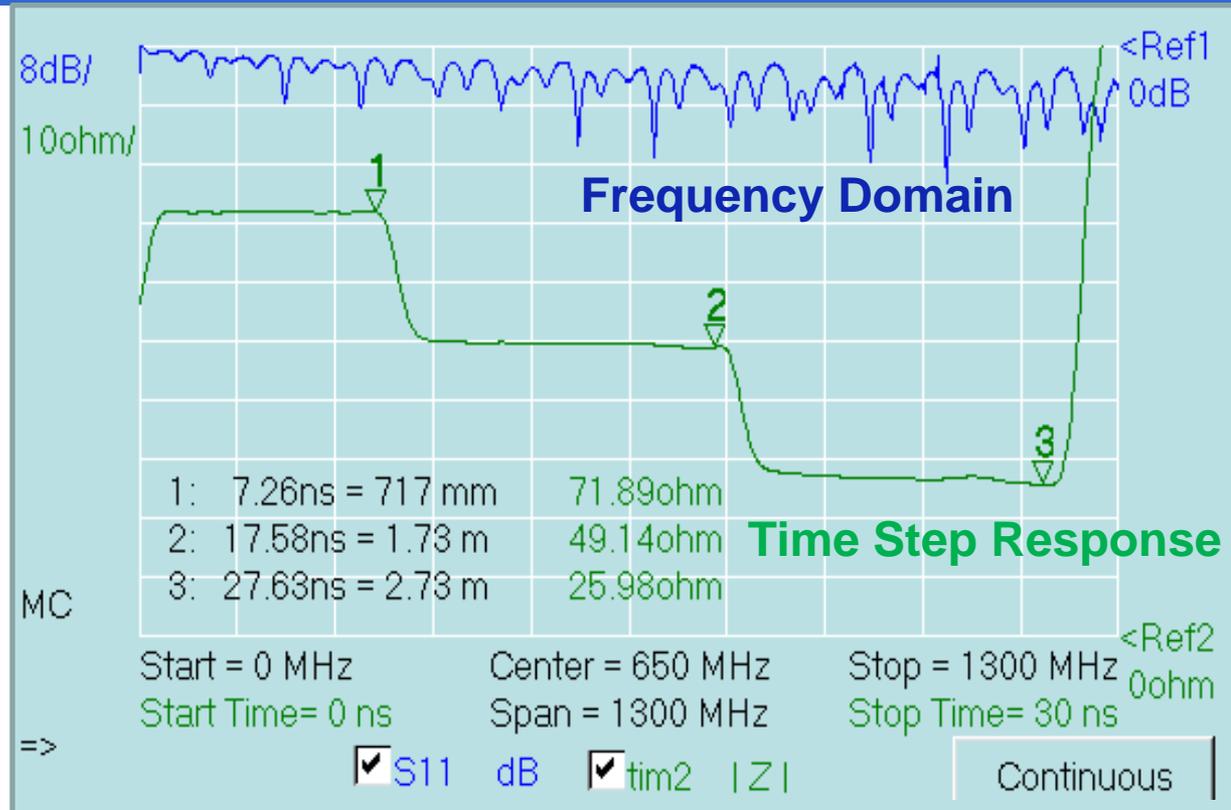
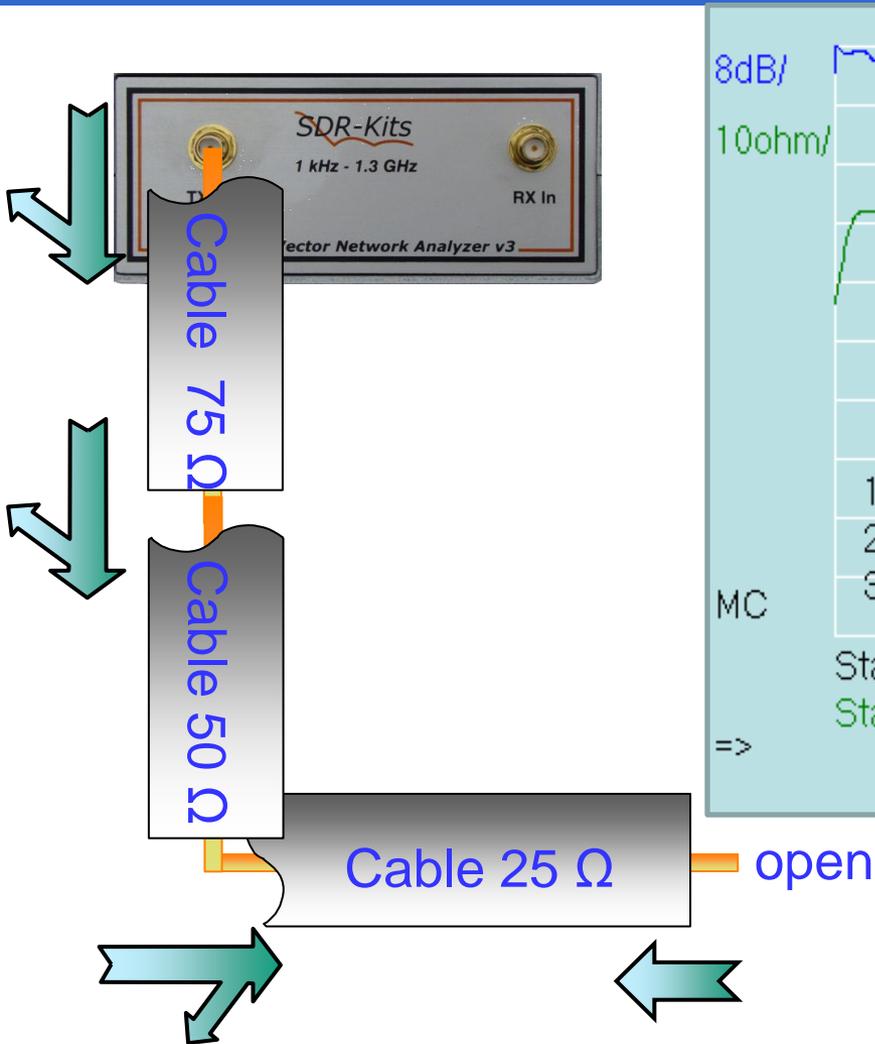
Frequenzvergleich (5)

Rubidium Standard vs. VNWA3 TCXO



Abweichung = $-3 \text{ Hz} \pm 1 \text{ Hz}$ bei 10 MHz $\equiv -0,3 \text{ ppm}$

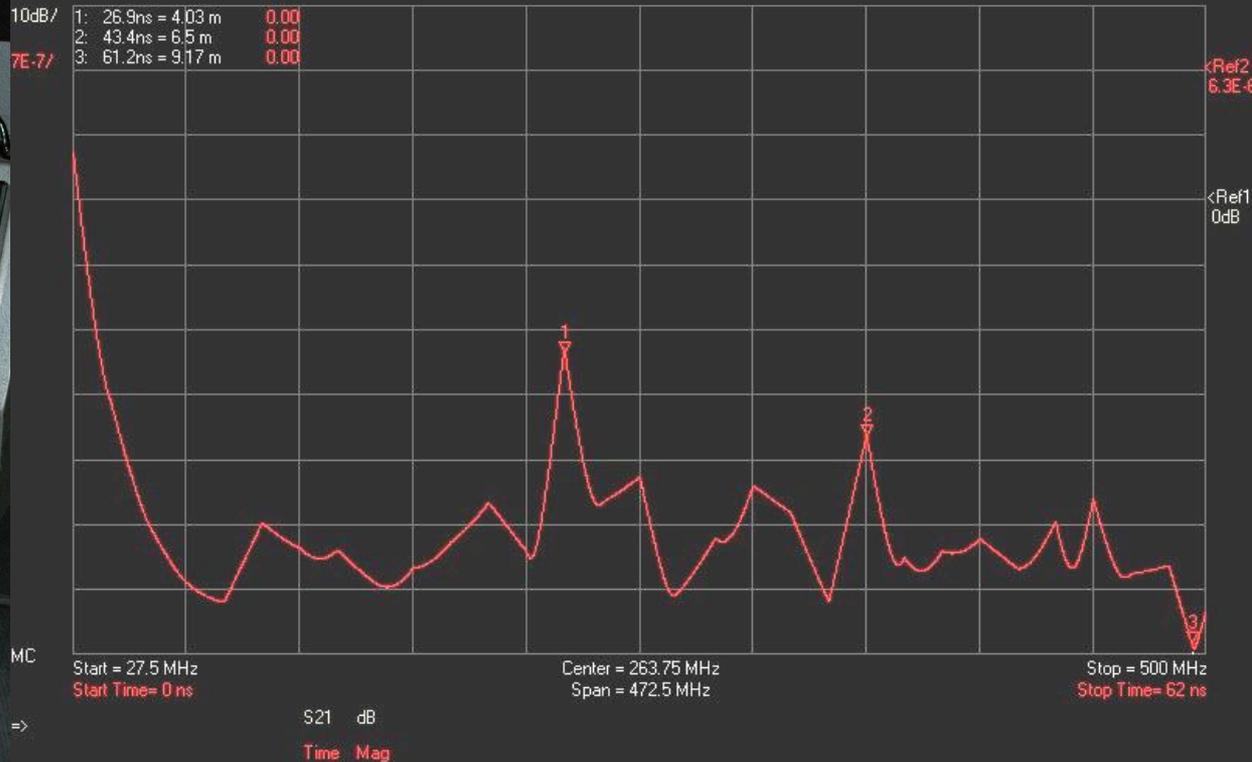
Anwendung Zeitbereichsanalyse



Zeitbereichsanalyse (2)

Finde die kaputte Christbaumkerze

DG8SAQ Vector Network Analyzer Software Version: Beta 28.14 / 2009.10.18 09:26:05
11-12-2009 22:05:51 tdr kerstsnoer



<http://www.pa4tim.nl/?p=345>



Anwendungsbeispiel Hohlraumresonator



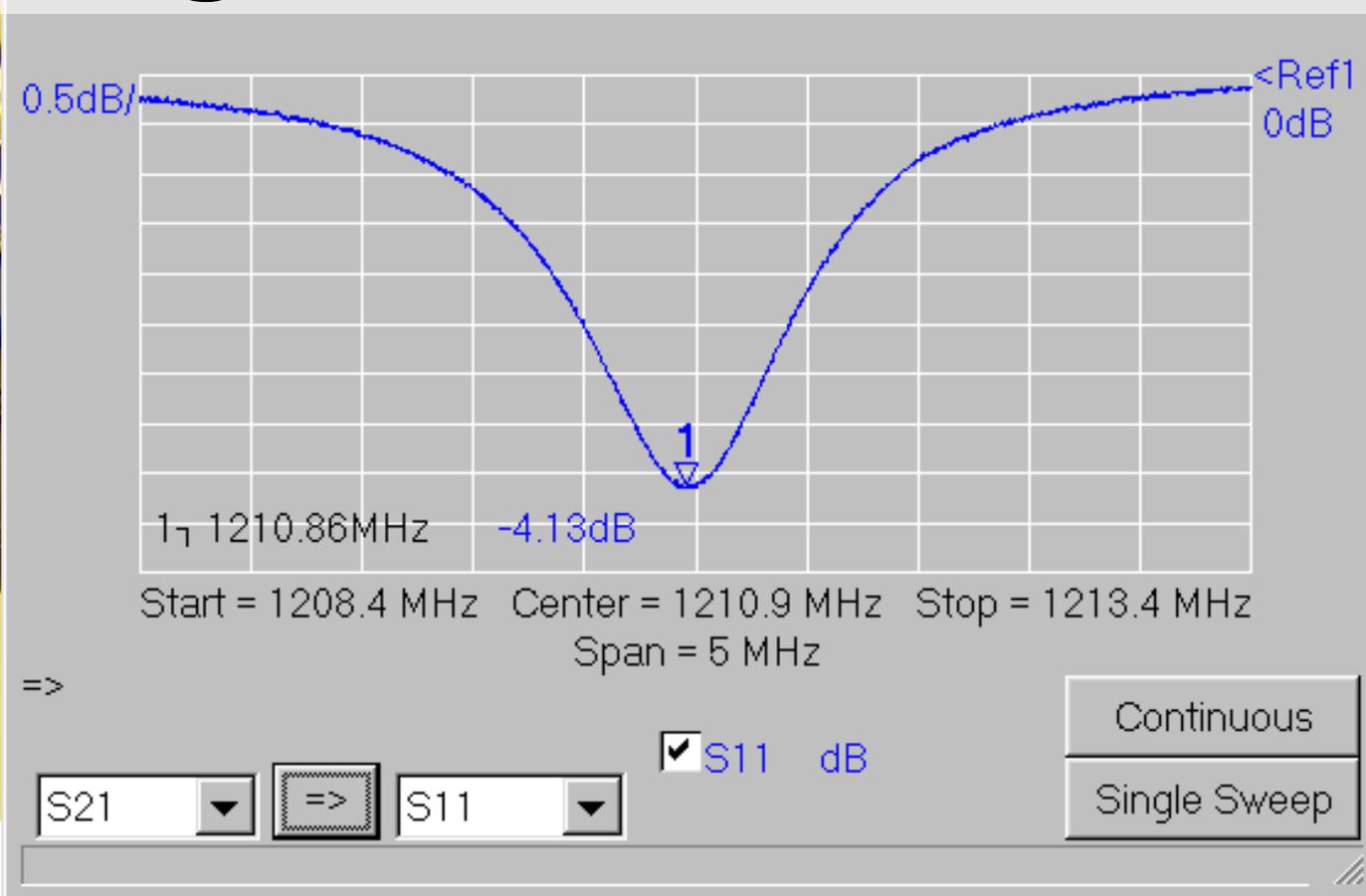
Hohlraumresonator (2)

Niedrigste Resonatormode:

$$f = \frac{c_0}{2\pi r} J_{01} \approx \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{6,28 \cdot 9,5 \text{ cm}} \cdot 2,405$$
$$\approx 1209 \text{ MHz}$$

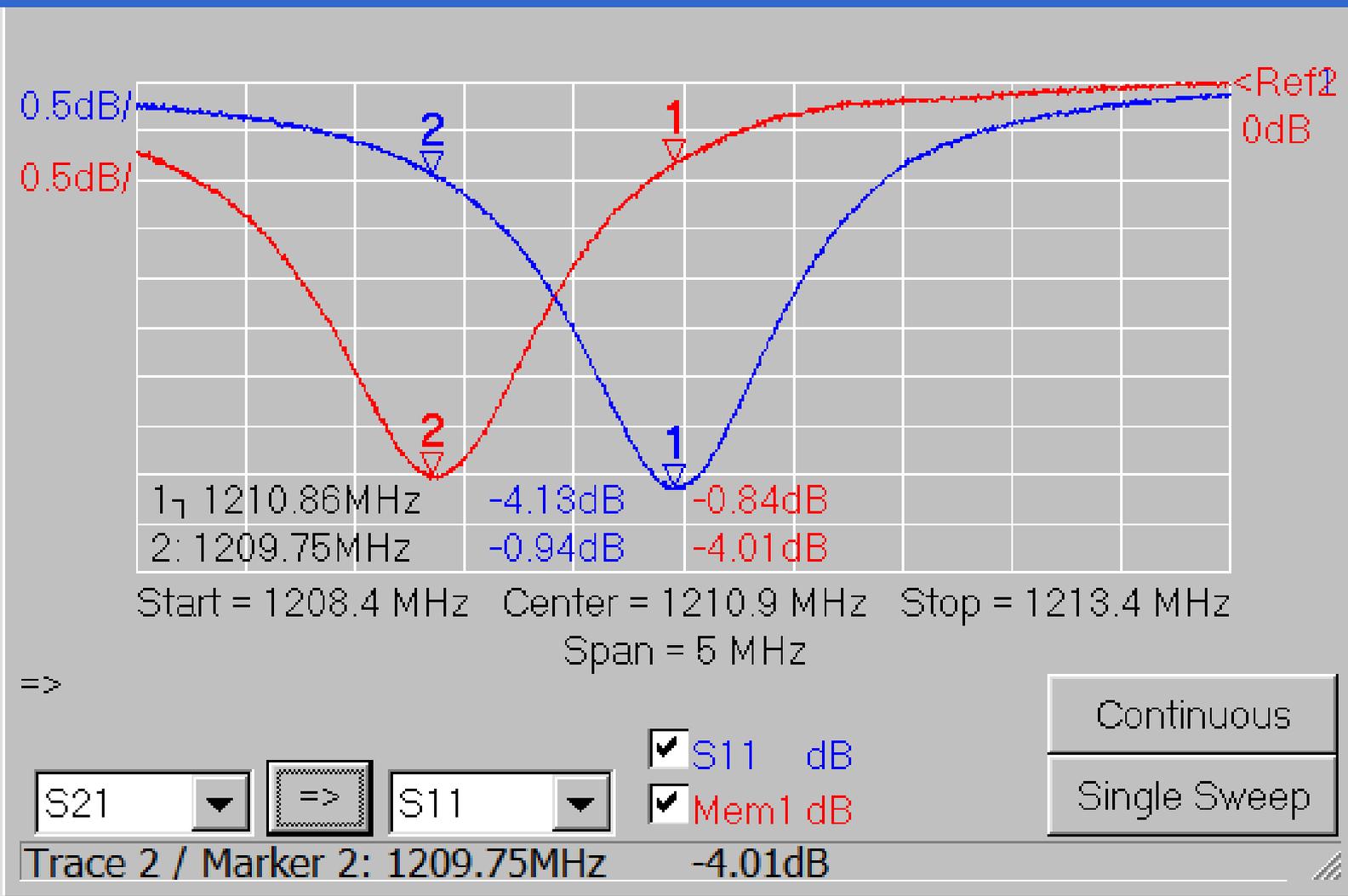
Hohlraumresonator (3)

Niedrigste Resonanzmode:



Hohlraumresonator (4)

leer
vs.
gefüllt



Hohlraumresonator (5)

NASA/TM—2007-214907

AIAA-2007-1198



Radio Frequency Mass Gauging of Propellants

*Gregory A. Zimmerli and Karl R. Vaden
Glenn Research Center, Cleveland, Ohio*

*Michael D. Herlacher
Analex Corporation, Brook Park, Ohio*

*David A. Buchanan and Neil T. Van Dresar
Glenn Research Center, Cleveland, Ohio*



Hochschule Ulm



Hohlraumresonator (6)

NASA/TM-



Radio F

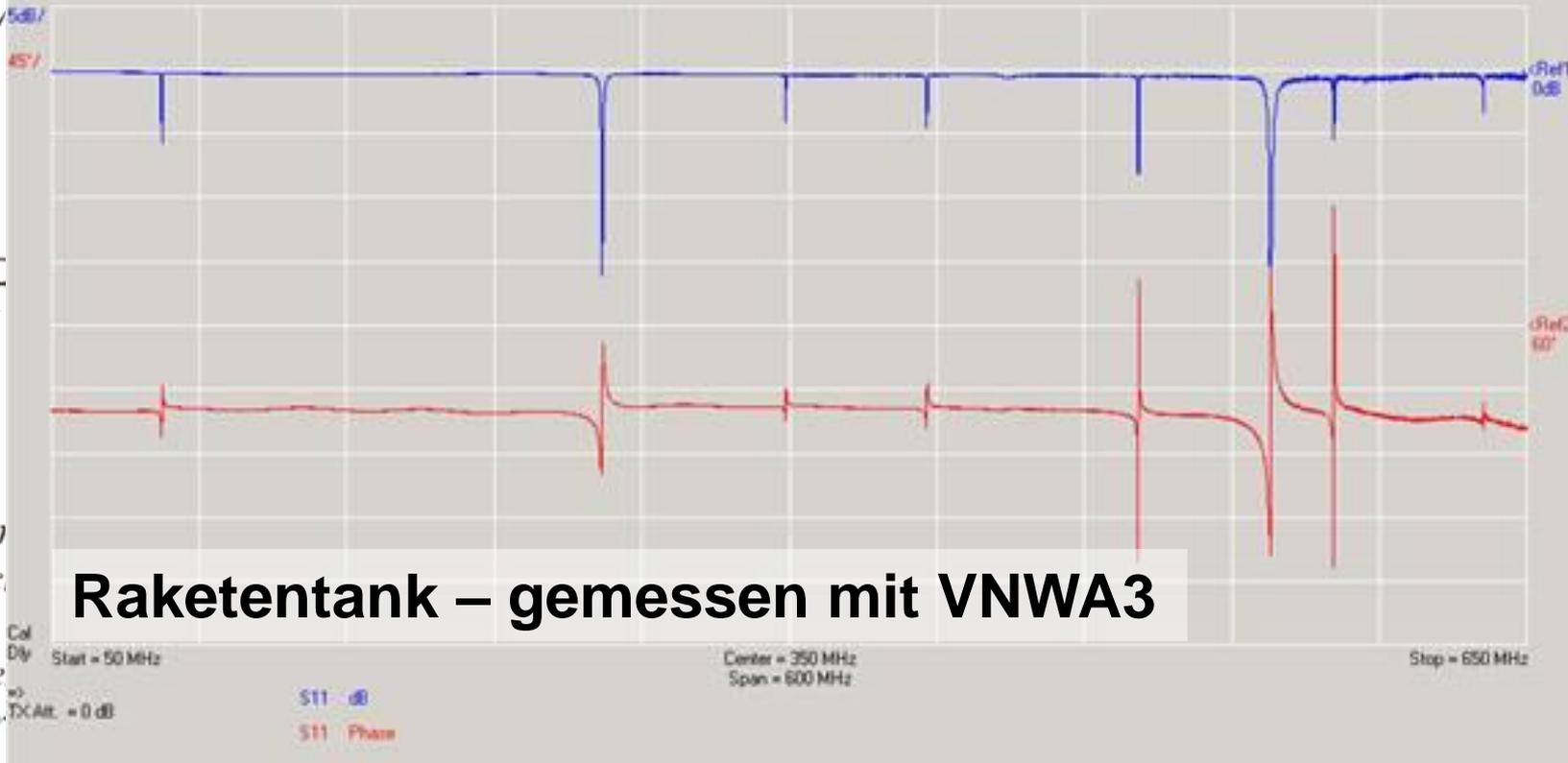
Gregory A. Zin
Glenn Research

Michael D. He
Analex Corpor

David A. Buchanan and Neil T. Van Dresar
Glenn Research Center, Cleveland, Ohio

HAM RADIO 2012

DG8SAQ Vector Network Analyzer Software
12/12/2011 3:44:04 PM 20111212 op-settings: 50-650MHz 5000pts



Raketentank – gemessen mit VNWA3



Hochschule Ulm



Zusammenfassung

- **Der VNWA3 ist ein vielseitig einsetzbares Messgerät.**
- **Er ist sogar für viele professionelle Anwendungen ausreichend!**

 **Er ist auf allen 5 Kontinenten im Einsatz**

Der VNWA3 wird inzwischen auf der ganzen Welt eingesetzt.

GERÄTE

Messungen mit dem Vektor-Netzwerkanalysator VNWA 2 (1)

Netzwerkanalyse und VNWA 2

Dr.-Ing. Bodo Scholz, DJ9CS

In [1] hat Thomas Baier, DG8SAQ, sein Konzept für einen Vektor-Netzwerkanalysator mit minimaler Hardware vorgestellt. Während die damals beschriebene Version noch größtenteils auf Lochrasterplatten aufgebaut und somit nur mit eingeschränkter Sicherheit reproduzierbar war, gibt es jetzt einen Bausatz.



Bild 1: Aufgebauter VNWA 2.3 mit Kugelschreiber zum Größenvergleich

den Typen besser aufzuzeigen, folgt zunächst eine Beschreibung des grundsätzlichen Aufbaus eines skalaren Netzwerkanalysators (Bild 2). Kernelemente sind ein in der Frequenz gesteuerter Sinusgenerator mit konstantem Pegel und normalerweise 50 Ω Ausgangswiderstand. Gemessen werden die Signale mit einem im Allgemei-

Zur Person

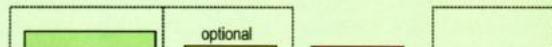
Dr.-Ing. Bodo Scholz, DJ9CS
Jahrgang 1942, DARC-Mitglied seit 1959
Amateurfunkgenehmigung 1963

Studium der Elektro- und Nachrichtentechnik, Leitender Wissenschaftlicher Direktor a.D.
Besondere Interessengebiete: Selbstbau, Messtechnik, Software Defined Radio (SDR), QRP

Anschrift
dj9cs@darcs.de
<http://dj9cs.raisdorf.org>

nen breitbandigen Pegeldetektor. So lassen sich die Übertragungsfunktion und am Netzwerkeingang das Stehwel-

Aufbau eines skalaren Netzwerkanalysators



Vielen Dank
an alle
Unterstützer!

Hochschule Ulm



Der VNWA3 wird inzwischen auf der ganzen Welt eingesetzt.

GERÄTE

Messungen mit dem Vektor-Netz

Netzwerkanalys

Dr.-Ing. Bodo Scholz, DJ9CS

In [1] hat Thomas Baier, DG8SAQ, sein Ko-Netzwerkanalysator mit minimaler Hardw- Während die damals beschriebene Versio- Lochrasterplatten aufgebaut und somit r- Sicherheit reproduzierbar war, gibt es jet-



Bild 1: Aufgebauter VNWA 2.3 mit Kugelschreiber zum Größenvergleich

den Type- zunächst- grundsätz- Netzwerk- Kernelem- gesteuert- tantem P- Ausgangs- den die S-

LABORATORIO-STRUMENTAZIONE

di Vittorio Carboni I6DVX

Un accurato e prezioso strumento: VNWA2

Un analizzatore di reti per radioamatori



sostanza consente di misurare i parametri S: S11, S12, S21, S22 e VSWR. Dei singoli componenti può misurare: resistenza, ammettenza, capacità induttanza e fattore di qualità (Q). Le misure S12 e S22 sono effettuate scambiando manualmente l'ingresso e l'uscita del dispositivo in misura (DUT) oppure realizzando una commutazione esterna delle porte⁽⁵⁾. Le ultime versioni del software di gestione permettono di caratterizzare i quarzi ricavandone automaticamente tutti i parametri. È inoltre prevista la possibilità di usare il VNWA2 come analizzatore di spettro. Tutte queste informazioni vengono fornite dalle elaborazioni del software di gestione e sicuramente oggi, quando queste note sono lette, altre possibilità di misure si saranno aggiunte a quelle qui indicate.

Lo schema a blocchi è visibile in Figura 1. La generazione dei segnali RF è demandata all'ormai classico DDS, che in questo progetto è presente in numero di



Der VNWA3 wird inzwischen auf der ganzen Welt eingesetzt.

GERÄTE

Messungen mit dem Vektor-Netzwerk

Netzwerkanalyse

Dr.-Ing. Bodo

In [1] hat The
Netzwerkanal
Während die
Lochrasterpla
Sicherheit re



Bild 1: Aufgebauter VNWA 2.3 mit Kugelschleifkontaktoren

LABORATORIO-STRUMENTAZIONE

di Vittorio Carboni I6DVX

Un accurato e prezioso strumento: VNWA2

sostanza consente di misurare i parametri S: S11, S12, S21, S22 e VSWR. Dei singoli componenti può misurare: resistenza, ammettenza, capacità induttanza e fattore di qualità (Q). Le misure S12 e S21 sono effettuate scambiando periodicamente l'ingresso e l'uscita del dispositivo in misura.

Ankieta czytelników „Świata Radio” (str. 65)

ISSN 1425-1701
INDEKS 332739

świat radio 6/2010

Magazyn wszystkich użytkowników eteru
KRÓTKOFALARSTWO CB RADIOTECHNIKA

wewnątrz

KRÓTKOFALOWIEC POLSKI

nr 6 (545)/2010

9,80 zł nakład: 14 500 egz.
w tym VAT 20%



Wouxun KG-UV1P



Analizator wektorowy do 1,3 GHz

ppure realizzando una azione esterna delle portate ultime versioni del software gestione permettono di usare i quarzi ricavando automaticamente tutti i parame- inoltre prevista la possibilità di usare il VNWA2 come analizzatore di spettro. Tutte le interrogazioni vengono fornite in forma di elaborazioni del software di cui sono e sicuramente oggi, queste note sono lette, la possibilità di misure si avvicina a quelle qui in-

tema a blocchi è visibile in figura 1. La generazione dei segnali RF è demandata all'oscillatore DDS, che in questo modo è possibile il numero di



Der VNWA3 wird inzwischen auf der ganzen Welt eingesetzt.

GERÄTE

Messungen mit dem Vektor-Netzwerk

Netzwerkanalyse

LABORATORIO-STRUMENTAZIONE

di Vittorio Carboni I6DVX

Un accurato e prezioso

EQUIPMENT REVIEW

SAM JEWELL, G4DDK ♦ E-MAIL: SAM@G4DDK.COM

DECEMBER 2011 ♦ RADCOM

DG8SAQ VNWA3 Vector Network Analyser

A compact and versatile unit that measures S parameters, VSWR, reactance and Q up to 1.3GHz



Bild 1: Aufgebauter VNWA3 gleich



PHOTO 1: The front panel of the VNWA3 with

Packard 8753C vector network analyser and S parameter test set, but this combination is large and heavy – definitely not a portable setup. When *RadCom* asked me if I would like to review the new DG8SAQ VNWA3, I immediately accepted the offer as I had already been thinking about purchasing something similar for use in the field, having tried a number other small analysers. I was particularly keen to see how well the VNWA3 results compared with my own analyser

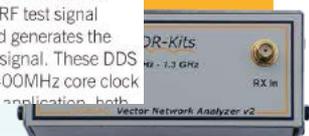
to the host computer. A red LED, visible through a hole on the rear panel, indicates that the unit is powered. **Photo 2** shows the rear panel of the analyser.

The VNWA uses two Analog Devices AD9859 direct digital synthesisers (DDS). One is used to generate an RF test signal (stimulus) whilst the second generates the test receiver local oscillator signal. These DDS chips specify a maximum 400MHz core clock frequency. However, in this application, both

sostanza consente di misurare i parametri S: S11, S12, S21, S22 e VSWR. Dei singoli componenti può misurare: resistenza, ammettenza, capacità induttanza e fattore di qualità (Q). Le misure S12 e S22 sono effettuate scambiando



14 500 egz.



Analizator wektorowy do 1,3 GHz

ualmente l'ingresso e del dispositivo in misura oppure realizzando una azione esterna delle por ultime versioni del soft gestione permettono di zzare i quarzi ricavando nativamente tutti i para inoltre prevista la possi usare il VNWA2 come tore di spettro. Tutte que mazioni vengono fornite laborazioni del software di e sicuramente oggi, queste note sono lette, ssibilità di misure si sag giunte a quelle qui in-

ema a blocchi è visibile a 1. La generazione dei RF è demandata all'or sico DDS, che in questo è presente in numero di



Der VNWA3 wird inzwischen auf der ganzen Welt eingesetzt.

GERÄTE

Messungen mit dem Vektor-Netzwerk

Netzwerk

EQUIPMENT REVIEW

DG8S
Vector

A compact
VSWR, re



Bild 1: Aufgebaute VNWA2 gleich



PHOTO 1: The front panel

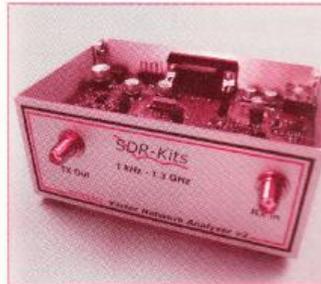
LABORATORIO-STRUMENTAZIONE

di Vittorio Carboni I6DVX

In accurato e prezioso

sostanza consente di misurare i parametri S: S11, S12, S21, S22. R. Dei singoli componenti misurare: resistenza, ammettanza, capacità, induttanza e fattibilità (Q). Le misure S12 sono effettuate scambiando periodicamente l'ingresso e l'uscita del dispositivo in misura. Oppure realizzando una connessione esterna delle portate. Le ultime versioni del software permettono di misurare i quattrini ricambiando periodicamente tutti i parametri. Inoltre è prevista la possibilità di usare il VNWA2 come generatore di spettro. Tutte le operazioni vengono fornite dal software di elaborazione del software di elaborazione e sicuramente oggi, con queste note sono lette, la possibilità di misure si aggiunge a quelle qui in-

製作&実験



USB 接続で使える 1k ~ 1.3 GHz までの
低価格ベクトル・ネットワーク・アナライザ

“VNWA2”キットの製作・試用記

西村 芳一
Yoshikazu Nishimura

VNWA2とは？

■ ベクトル・ネットワーク・アナライザ(VNA)は高額の花

ちょっとした高周波回路を試作するとき、ネットワーク・アナライザが手元にあるのとないのでは大違いです。とくにマイクロ波などのインピーダンス・マッチングでは、強力なツールとなります。

しかしながら、ネットワーク・アナライザはともて高価な測定器で、しかもオシロスコープのような稼働

ネットワーク・アナライザの製作記事でした。しかも、パソコンとUSBケーブル1本だけでつながり、電源もUSBから供給します。写真1にその外観、パソコンと組み合わせた全体の様子を写真2にそれぞれ示します。

普通のネットワーク・アナライザはとて大きくて重い測定器で、例えば写真3は仕事で使っているアンリツのネットワーク・アナライザですが、気軽に持ち歩くことは不可能です。



Analizator wektorowy
do 1,3 GHz



Zum Schluss eine Warnung: VNWAs machen süchtig!

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

Dipl. Psychologe

dra. Quon

OMICRON
LAB