

# Warum Smith-Diagramm - was hilft es mir?

**Prof. Dr.-Ing. Michael Hartje , DK5HH, [hartje@hs-bremen.de](mailto:hartje@hs-bremen.de)  
Fachbereich Elektrotechnik und Informatik, Hochschule Bremen**

Smith-Diagramm 7.10.2022/Dr. Ha.

## Zur Person (Amateurfunkaktivitäten)

- Relaisbetreiber (Experimentierstation DB0HFT, Bremen, Nordwestserver)
- Mitarbeiter im VUS-Referat des DARC – Schwerpunkt SDR
- Gründung der SDR-Akademie (gem. mit Markus Heller, DL8RDS)
- Planer und Designer der Technik und Antennen für WSPR-Bake
  - DP0GVN (Antarktis, gemeinsames Projekt mit AWI, TUM - Prof. U. Walter)
- ehm. WSPRLive.net (Webseite von Clemens Heese, DL2ZZ)
  - Mitgestaltung der Live-Auswertungen von Multiband WSPR-Baken
- Redpitaya-Anwendungen (auch im Seminar) (Funken und mehr)
- Designer des RX und Software von ENAMS (DARC-Mitgliedschaft-Pro)

# Einführung

Prof. Dr.-Ing. Michael Hartje , DK5HH, hartje@hs-bremen.de  
Fachbereich Elektrotechnik und Informatik, Hochschule Bremen

Smith-Diagramm 7.10.2022/Dr. Ha.

## Antennentest-Wochenende 2022

- Was passiert hier?



Smith-Diagramm 7.10.2022 / Dr. Ha.

# Antennentest-Wochenende 2022

- Was passiert hier?



Smith-Diagramm 7.10.2022 / Dr. Ha.



# Antennentest-Wochenende 2022

- Was passiert hier?



Smith-Diagramm 7.10.2022 / Dr. Ha.

# Zusammenhang mit Smith-Diagramm?

Nutzung des VNA

- Resonanzbestimmung
- Eingangsimpedanz komplex (Real- und Imaginärteile)

- Resonanzen der Radials
- Stromanteile der Radials

} Mit 2-Port-VNA

# Motivation zum Smith-Diagramm und VNA

# Warum VNA, wenn ich doch SWR-Messungen machen kann?

- SWR-Messungen: „einfache“ Messung als Kontrolle
  - Voraussetzung ist die eingemessene Antennenanlage
  - Messung ohne Phaseninformation
- Antennenabgleich ist damit nicht möglich!
- Ich habe doch einen „Antennentuner“ – da brauch ich das nicht!
  - Kann der Antennentuner die Antenne „abstimmen“?
- Hinweis: Antennen „funktionieren gut“ im Resonanzfall.
  - Wie kann man den „Resonanzfall“ finden / messen?
- Hinweis: dies ist **kein** Antennenvortrag!

## weitere Argument

- Ein nanoVNA ist preiswerter als ein SWR-Meter
- Ein VNA kann sehr viel mehr als eine SWR-Anzeige
- Resonanz kann man mit dem VNA leicht bestimmen
- Ein VNA ersetzt mehrere „historische“ Instrumente im Shack
  - Rauschbrücke
  - Grid-Dip-Meter
  - „Kann“ Messender und Spektrumanalysator
- Voraussetzung: Smithdiagramm verstehen und anwenden

# Grundlagen

## „Widerstände“ im Wechselstromkreis

- Ohmsche Widerstände: „resistive Anteile“
- Induktivitäten
- Kapazitäten
- Definitionen: Blindwiderstände, Scheinwiderstände

# Komplexe (Gaußsche) Zahlenebene

- Reelle Zahlen
- Komplexe Zahlen
- Rechnen mit komplexen Zahlen
- Betrag- und Phase einer komplexen Zahl
- Exponentialdarstellung



C.F. Gauß  
Q: wikipedia

# Impedanzen und Admittanzen

- Messung in Ohm (Impedanz)
- Darstellung als komplexe Zahl (realer + imaginärer Anteil)
- Umwandlung in Admittanzen (rechnerisch)

$$\underline{Z} = 1 / \underline{Y}$$

# Leitungseigenschaften

- Leitungen haben Dämpfung
- Impulse haben Laufzeiten auf Leitungen
- Impedanzanpassung auf beiden Seiten der Leitung erforderlich um Reflexionen zu vermeiden
- Leitungen haben Dämpfungswerte

# Smithdiagramm

# Entwicklung des Smithdiagramm

- Grafische Lösung komplexer Rechnungen
- Grafik ist „genau genug“ für die Lösung
- Nur einfache Rechnungen erforderlich
- Konforme Abbildung (Dreh-Streck-Transformation) der komplexen Zahlenebene auf das Innere eines Kreises
- Erfordert eine Normierung / Entnormierung der Impedanzen vor und nach der Nutzung des Smith-Diagramm
- Stellt den Reflexionsfaktor komplex dar
- (Reflexionsfaktor entspricht dem Streuparameter  $S_{11}$ )

# Phillip Hagar Smith

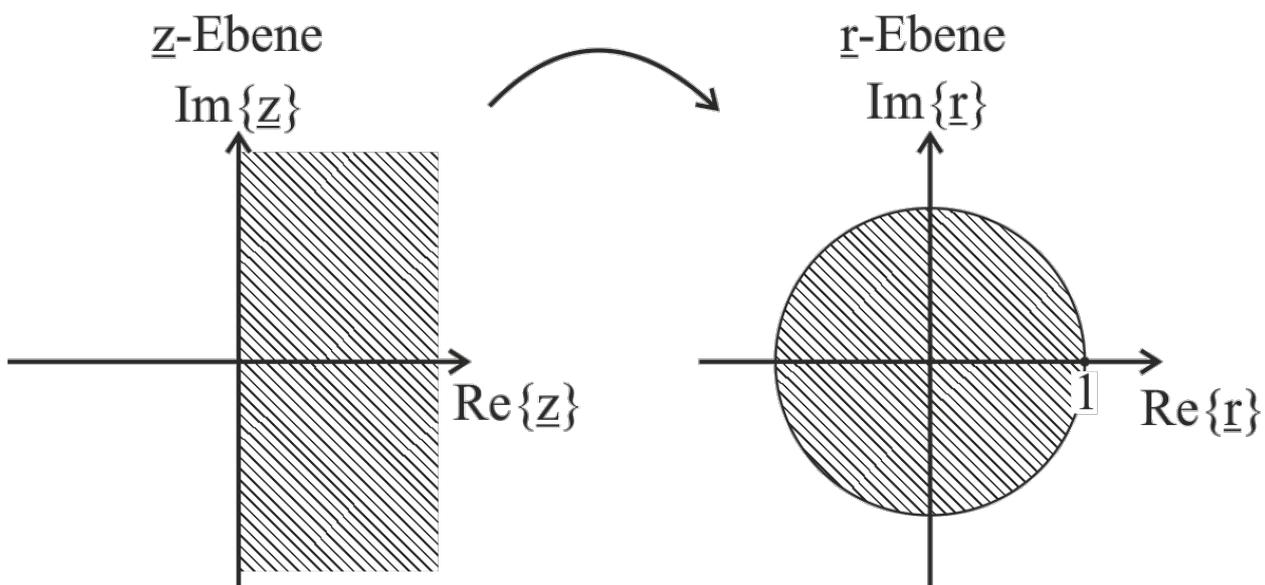
- (1905 -1987)
- Bachelor EE
- IEEE-Fellow
- Rufzeichen 1ANB



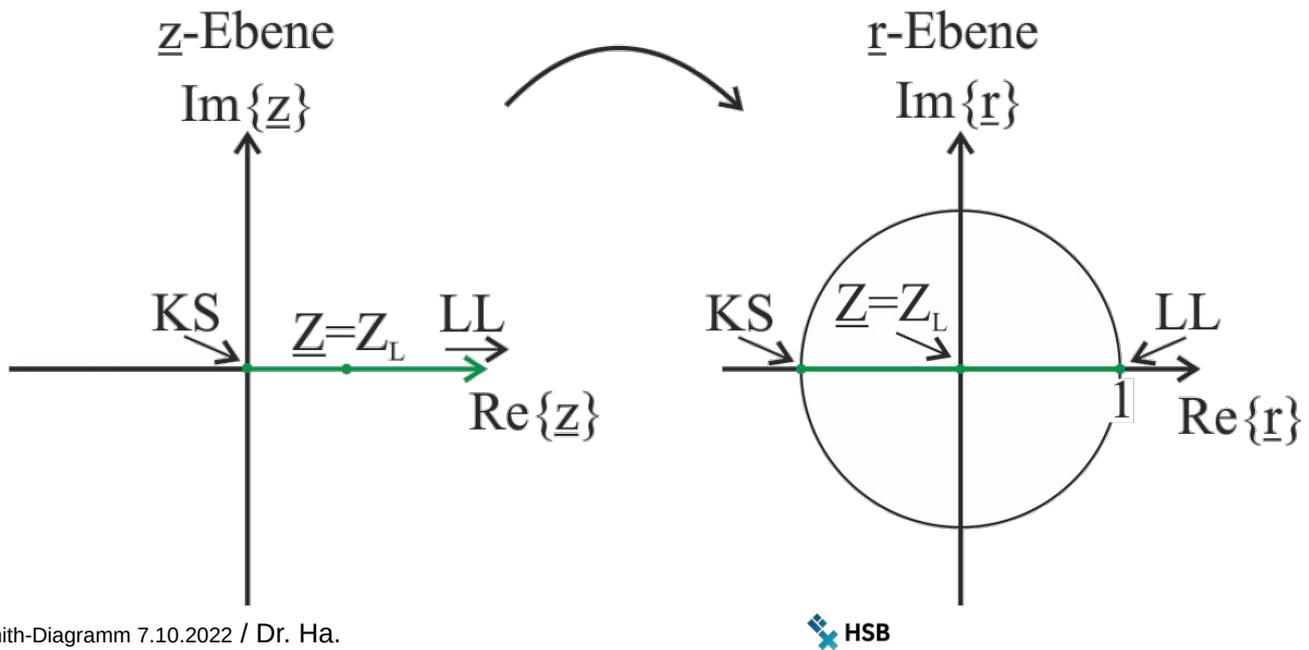
# Weitere Diagramme

- Buschbeck-Diagramm  
(Erfinder des Leistungsrichtkopplers)
- Kreisdiagramm 1. Art
  - Carter-DiagrammAber 2.Art
- Smith-Diagramm

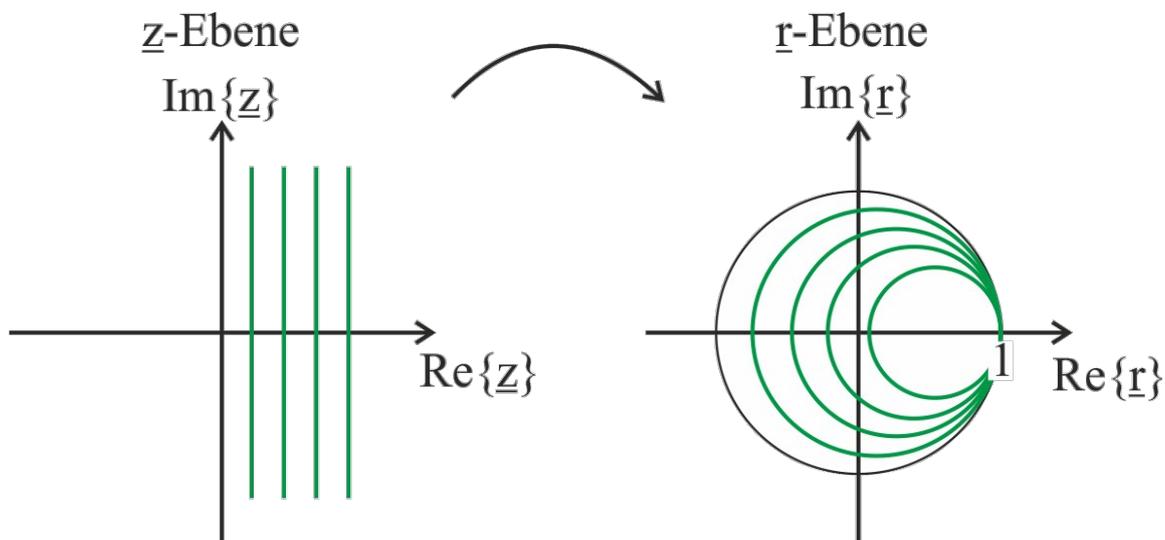
# Abbildung der Ebenen $z$ auf $r$



# Abbildung reelle Widerstände, KS und LL



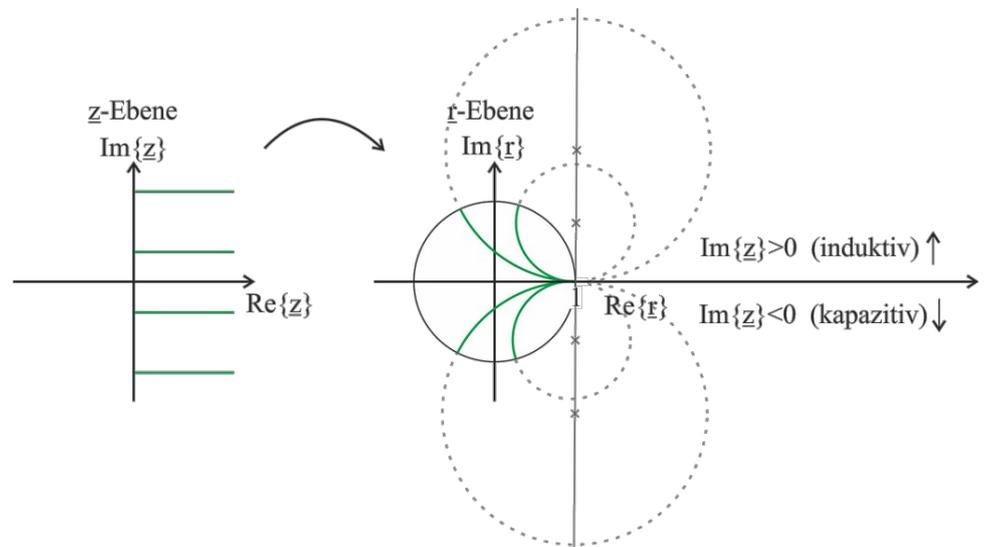
# Abbildung Impedanzen mit konstantem Realanteil



# Webseiten

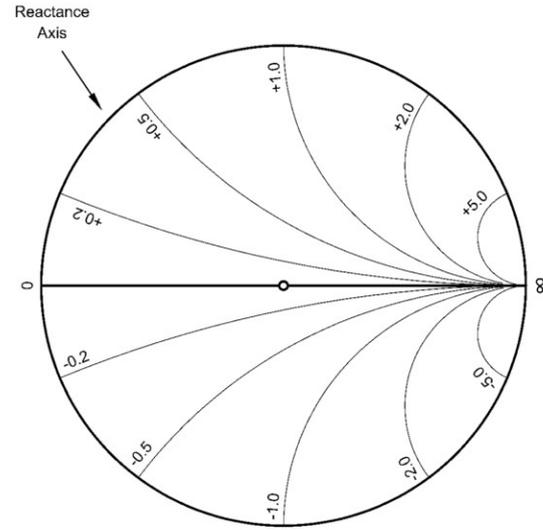
- Reflexion auf Leitung <https://www.rfmentor.com/node/138>
- Smithchart <https://www.rfmentor.com/content/smith-chart-matching-app>
- <https://quicksmith.online/#>
- 

# Abbildung Impedanzen mit konstantem Imaginäranteil



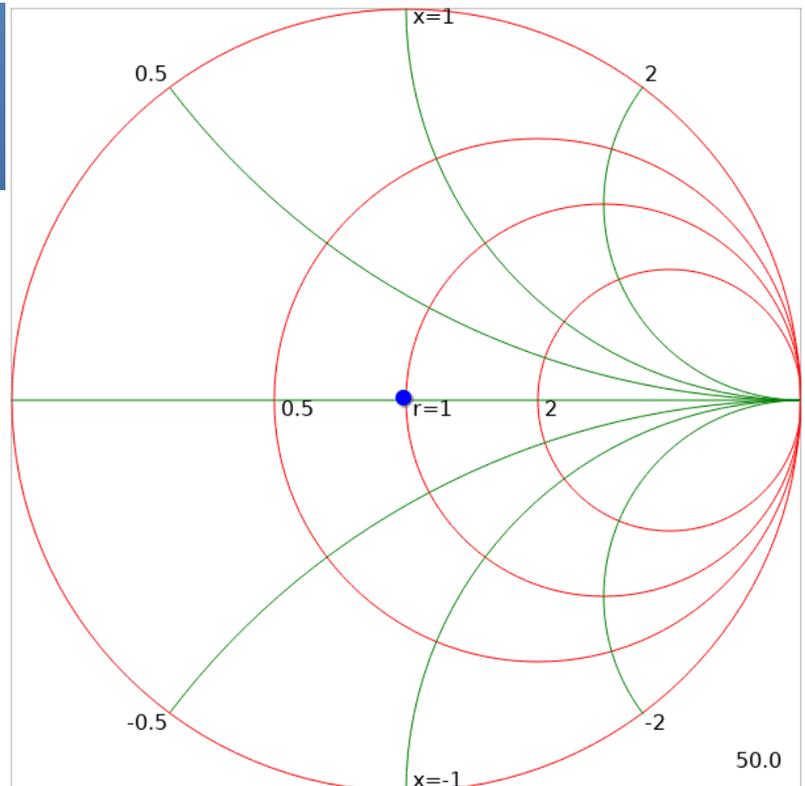
# Imaginäre Werte

- 



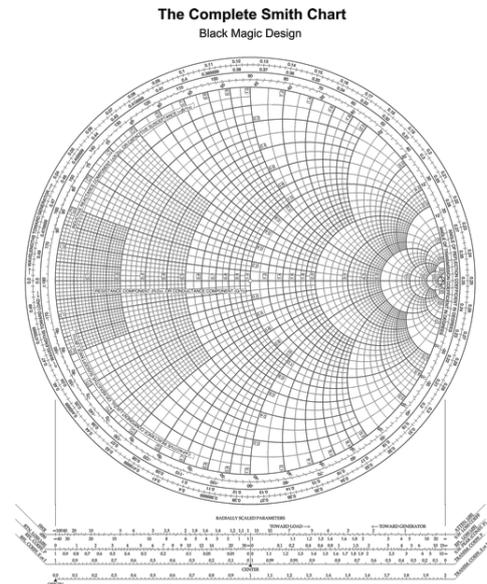
# Smithdiagramm

- Normiert auf 50 Ohm
- Impedanzdiagramm



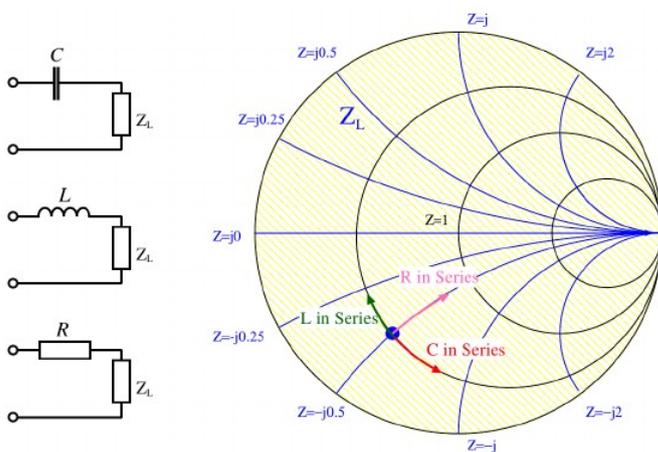
# Komplette Darstellung Smith-Diagramm

- Impedanzdarstellung

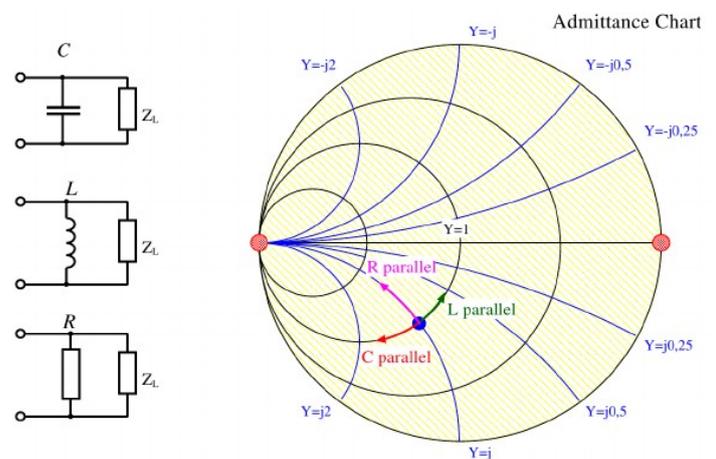


# Impedanz- und Admittanzdiagramm

- Impedanzform



- Admittanzform



## Weitere Einträge im Diagramm

- Kreise um  $r = 0$  werden das SWR
- Anpasskreis, mit R oder G

### wichtige Eigenschaft

- Inversion (Punkt-Spiegelung am Ursprung) = Konversion Impedanz -- Admittanz

## Zusammenfassung der Definitionen

- Reflexion: 
$$\underline{\Gamma} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad \rho = \underset{\text{mit}}{|\underline{\Gamma}|} \quad 0 \leq \rho \leq 1 \quad \rho = \frac{SWR - 1}{SWR + 1}$$
- SWR: 
$$SWR = \frac{\rho - 1}{\rho + 1} \quad \rho = \sqrt{\frac{(R_L - R_0)^2 + (X_L)^2}{(R_L + R_0)^2 + (X_L)^2}}$$
- Return Loss: 
$$\frac{RL}{dB} = -20 \lg \rho \quad P_{\text{Ref}} = P_{\text{Fwd}} \cdot \rho^2$$
$$P_L = P_{\text{Fwd}} - P_{\text{Ref}}$$
- Mismatch Loss: 
$$\frac{ML}{dB} = -10 \lg \left( \frac{P_{\text{Fwd}} - P_{\text{Ref}}}{P_{\text{Fwd}}} \right) = -10 \lg (1 - \rho^2)$$

# Beispiel Antennen-WE 22

Smith-Diagramm 7.10.2022/Dr. Ha.

## Antennentest-Wochenende 2022

- Was passiert hier?



Smith-Diagramm 7.10.2022 / Dr. Ha.



# Antennentest-Wochenende 2022

- Was passiert hier?



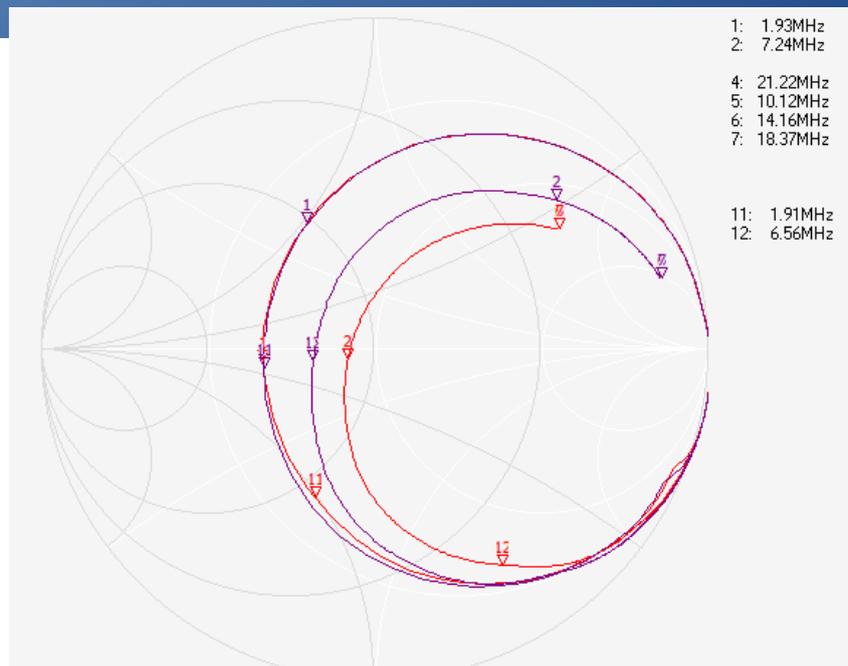
Smith-Diagramm 7.10.2022 / Dr. Ha.



34

## Vertikal 160 m mit/ohne 2 m Verlängerung

- rt\_ohne
- vlt - mit



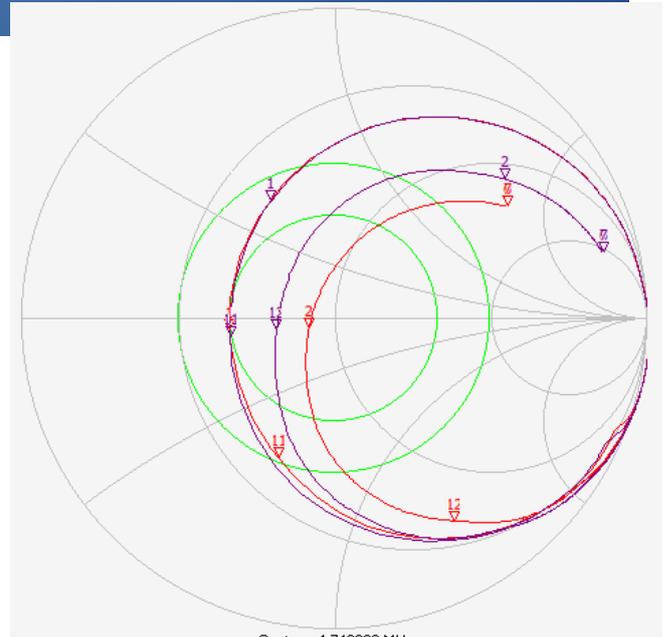
Smith-Diagramm 7.10.2022 / Dr. Ha.



35

## 160 m-Vertikal mit /ohne VL

- rt - ohne
- vlt – mit
- grn -VSWR {2 3}
- Beurteilung:
  - Schmalbandig (20 kHz: 2 → 3)



Smith-Diagramm 7.10.2022 / Dr. Ha.

## Messung einer 5/8 Lambda 15m (AW22)

- 6 erhöhte Radials (1 m über feuchter Wiese)
  - Verlängerungsspule
  - Reguläre Einspeisung über 25 m RG213
- Resonanz der Radials?**
- Messung mit 1601 Punkten, speichern in .s2p-Dateien
  - Darstellung mit Gnuplot

Smith-Diagramm 7.10.2022 / Dr. Ha.

# Fotos der Antenne

- mit



Smith-Diagramm 7.10.2022 / Dr. Ha.



# Messaufbau

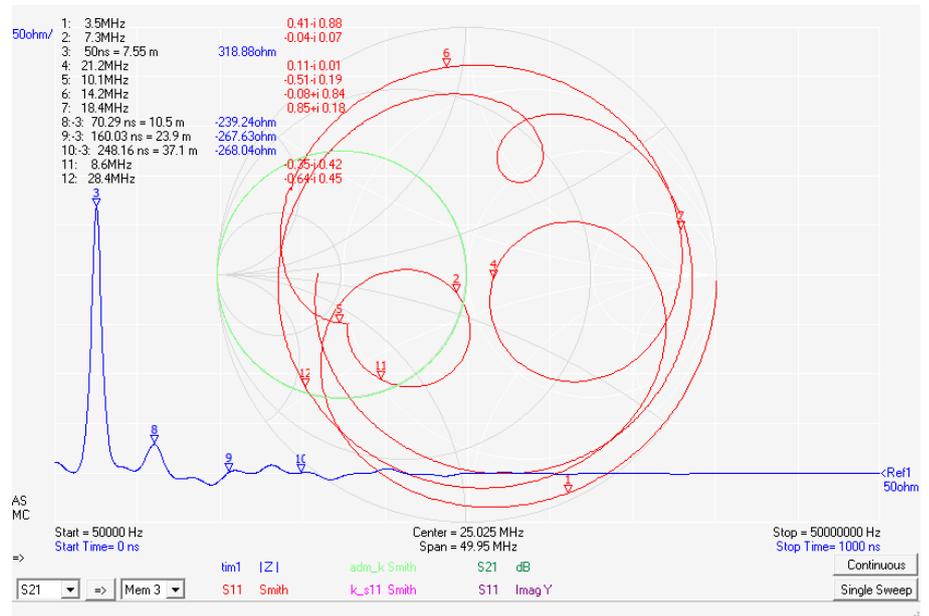
- Einspeisung 0,5 m rg58
- 
- Messung
  - NanoVNA
  - Trafo mit Wicklung 1:4 0,5 m -12 dB



Smith-Diagramm 7.10.2022 / Dr. Ha.

# Smithdiagram (Eingangsimpedanz)

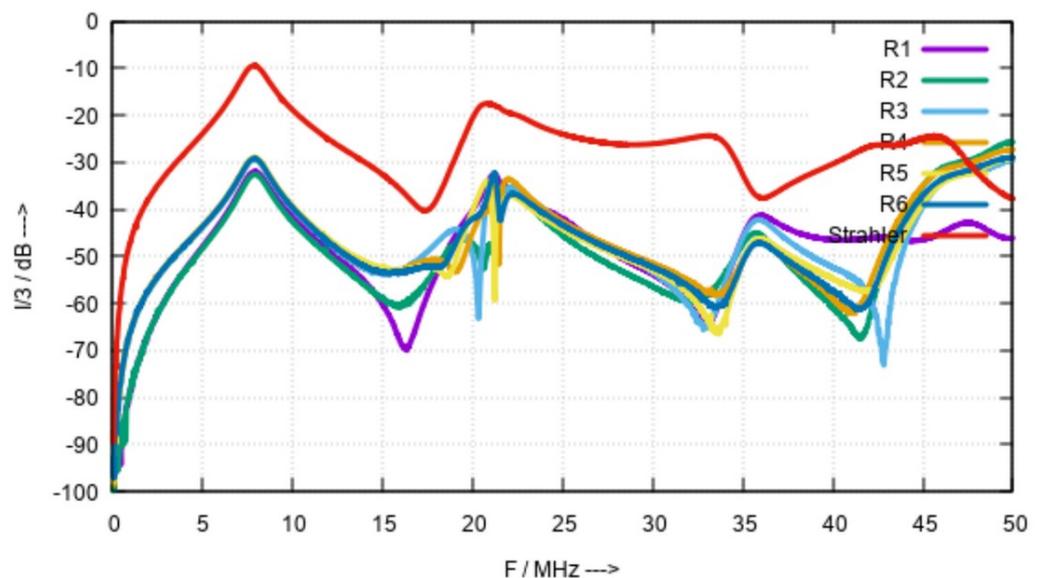
- Direkt
- Länge:
- el. 7.56m
- Mech: 10.5m



Smith-Diagramm 7.10.2022 / Dr. Ha.



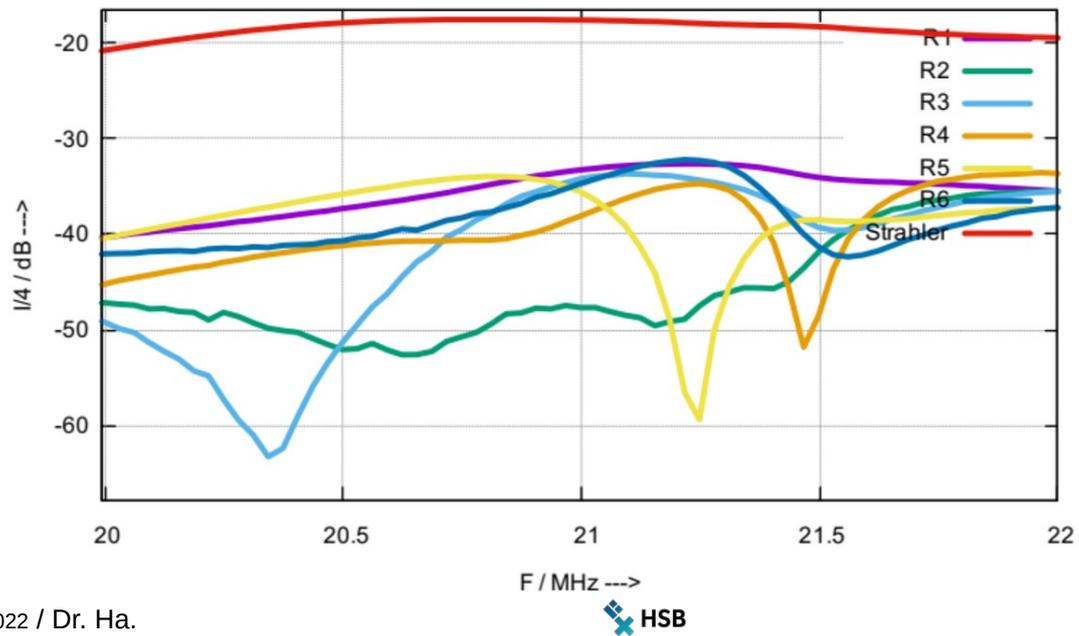
# Ströme der Radials mit Strahler



Smith-Diagramm 7.10.2022 / Dr. Ha.



# Ströme Ausschnitt 15m



42

# Antennentest-Wochenende 2022

- 15 m  $5/8 \lambda$
- 6 Radials (15) gleichmäßig
- Was passiert hier?

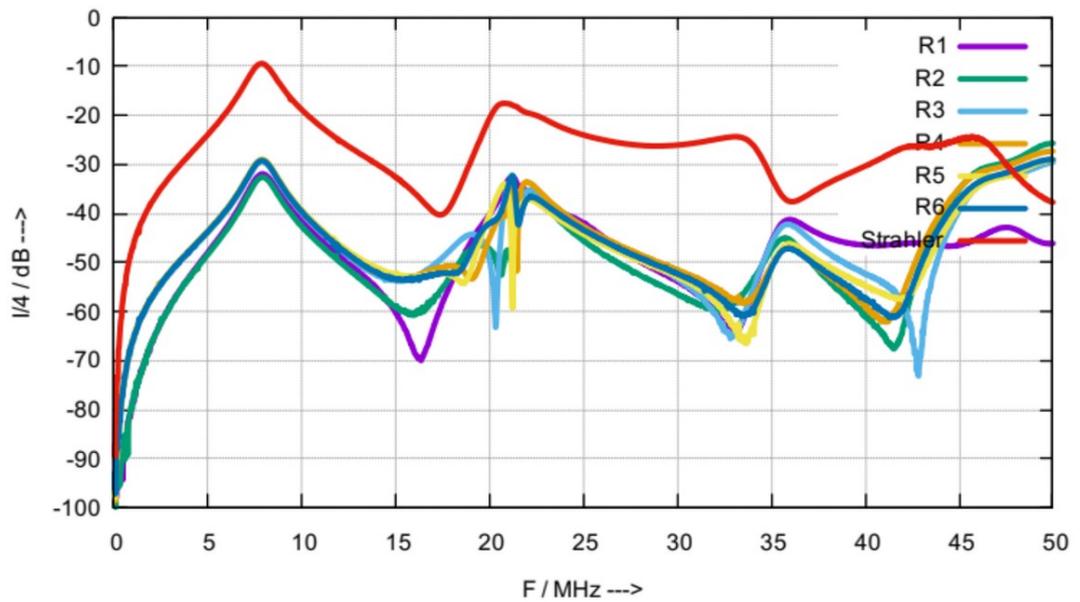


Smith-Diagramm 7.10.2022 / Dr. Ha.

HSB

43

# 6 Radials (Strommessung)

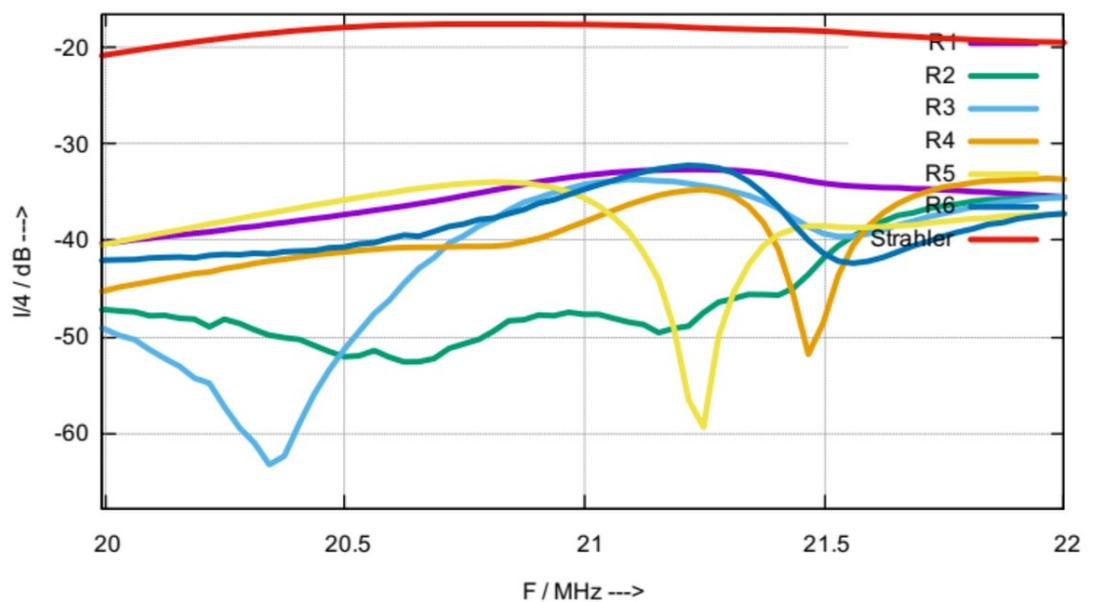


Smith-Diagramm 7.10.2022 / Dr. Ha.



44

# 6 Radials (Strommessung)



Smith-Diagramm 7.10.2022 / Dr. Ha.



45

# Zusammenfassung

- VNA und Smithdiagramm
- Grundlagen
- Entwicklung des Smithdiagramms
- Beispiele
- Antennen des Antennen-WE Delemenhorst, 2022