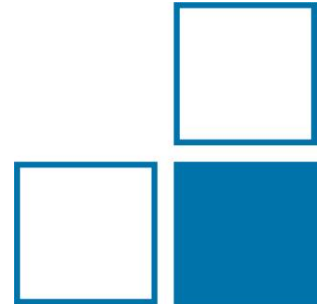


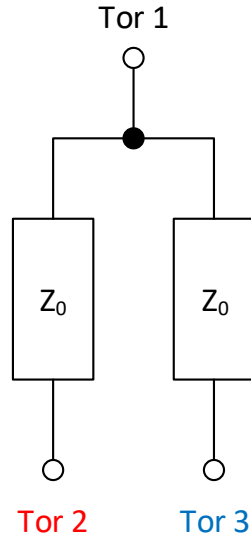
Vergleich von Messverfahren zur Bestimmung des äquivalenten Reflexionsfaktors von Power Splittern

Florian Rausche, AG 2.22



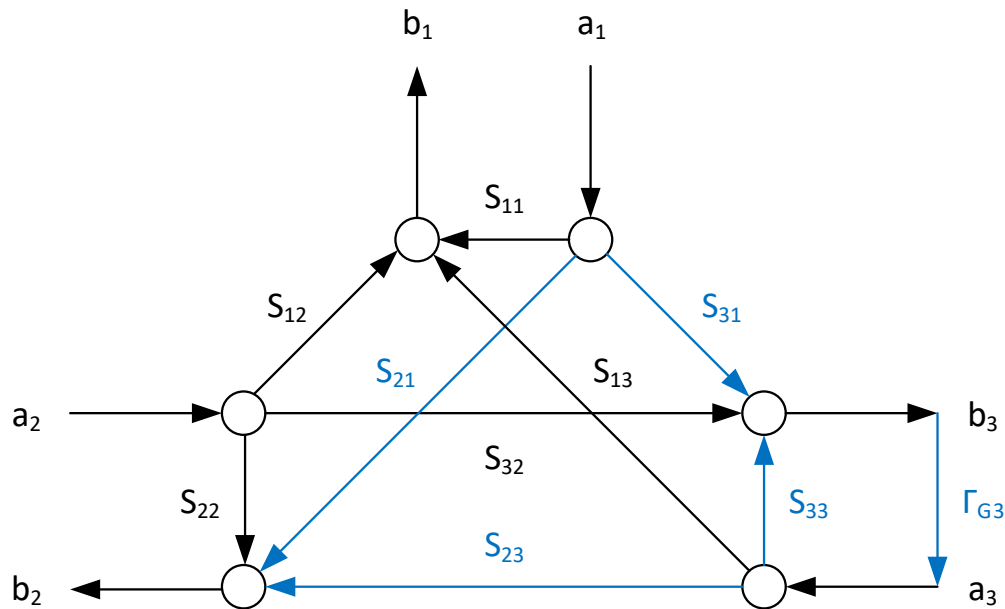
- Power Splitter
- Messverfahren
- 3-Tor Messung
- Juroshek
- Shimaoka
- Vergleich
- Zusammenfassung

Power Splitter (1)



Beschreibung	Parameter
Input SWR	$ S_{11} $
Equivalent Output SWR	$ r_G $
Output Tracking	$ S_{21}/S_{31} $
Phase Tracking	$\arg(S_{21}/S_{31})$

Power Splitter (2)

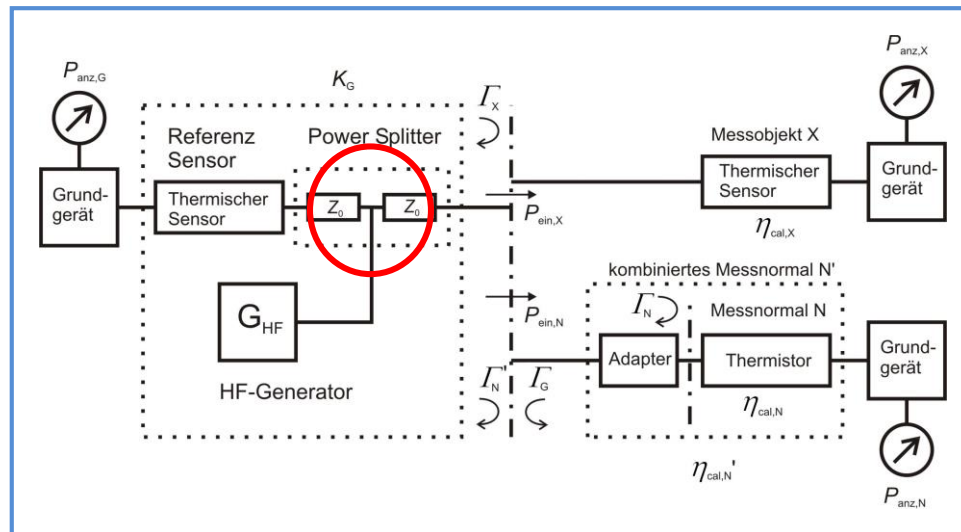


$$\Gamma_{G3} = S_{33} - S_{23} \cdot \frac{S_{31}}{S_{21}}$$

S-Parameter	Idealwert
S11	0
S12	0,5
S13	0,5
S21	0,5
S22	0,25
S23	0,25
S31	0,5
S32	0,25
S33	0,25

Power Splitter (3)

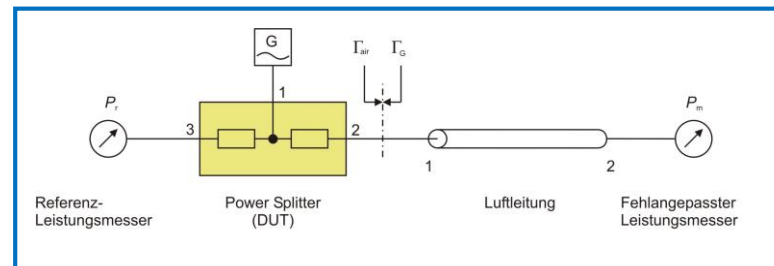
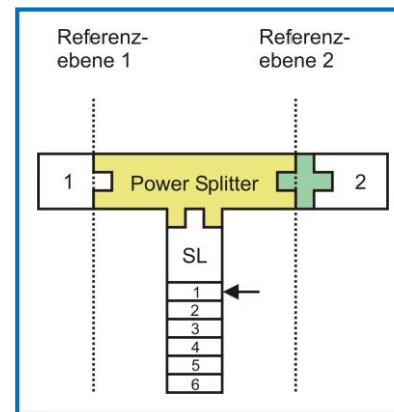
- Leistungskalibrierung im Außenvergleich mit Referenzzweig
- Minimierung von Reflexionen durch die schlechte Quelltoranpassung des Generators



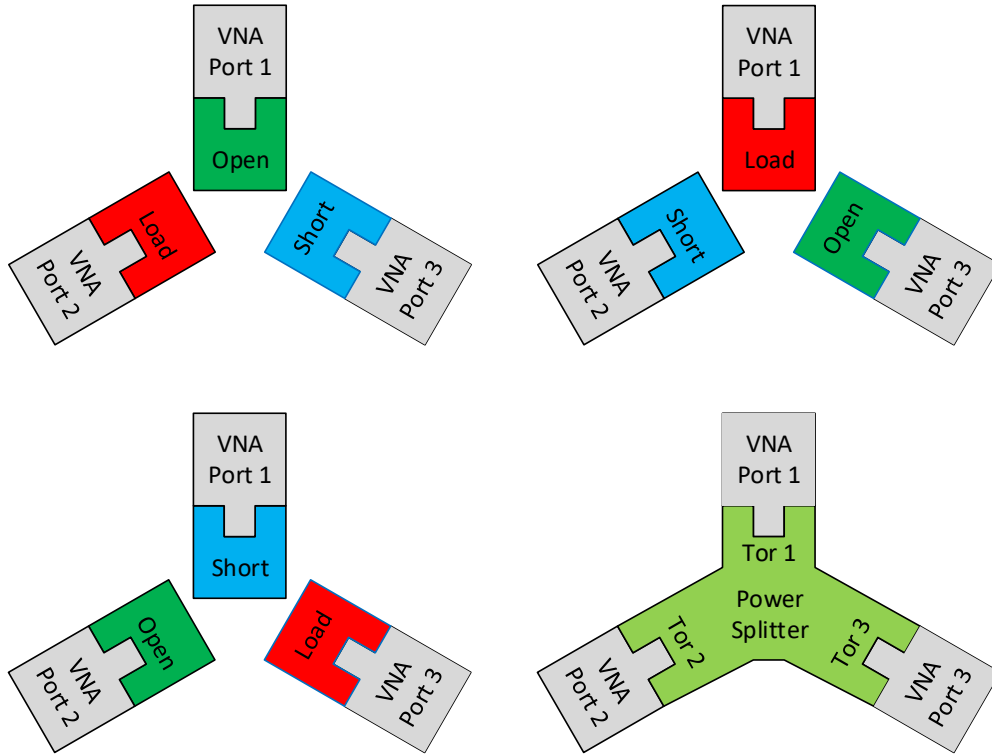
Kalibrierungsfaktor des Leistungssensors:

$$\eta_{\text{cal},X} = \eta'_{\text{cal},N} \cdot \frac{|1 - \Gamma_G \cdot \Gamma_X|^2}{|1 - \Gamma_G \cdot \Gamma'_N|^2} \cdot \frac{P_{\text{anz},X}}{P_{\text{anz},G,X}} \cdot \frac{P_{\text{anz},G,N}}{P_{\text{anz},N}} = \eta'_{\text{cal},N} \cdot \frac{M_{G,X}}{M_{G,N}} \cdot \frac{\rho_X}{\rho_N}$$

- Russell A. Johnson¹ (1975)
- Thomas Reichel² (1998)
- **3-Tor Messung**
- John R. Juroshek³ (1997)
- Kasohiro Shimaoka⁴ (2010)



3-Tor Messung (1)

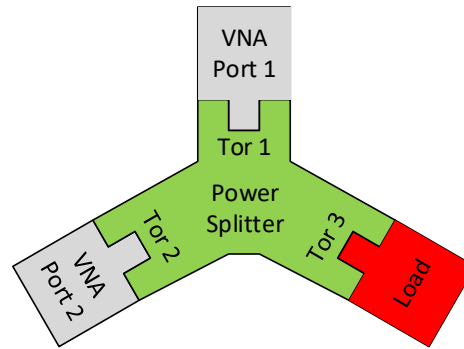
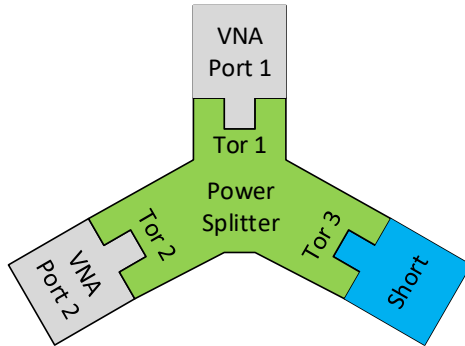
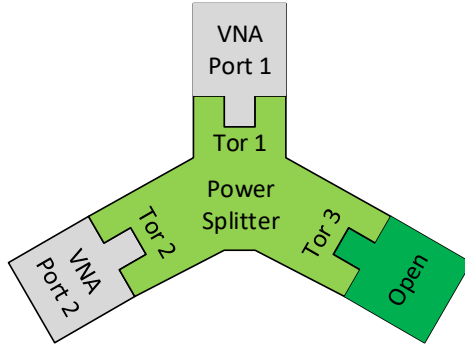


Bestimmung von Γ_G über

- UOSM Kalibrierung
- als „Unknown Thru“ dient der Power Splitter
- Messung aller S-Parameter
- über die S-Parameter kann Γ_G bestimmt werden

3-Tor Messung (2)

	3-Tor Messung
Bestimmung von Γ_G an Tor	2 und 3
Anzahl der Verbindungen	12
Kabelbewegung	ja
VNA Test Ports	3
Sonstiges	alle charakteristischen Größen können bestimmt werden



Bestimmung von $\Gamma_{G,3}$ über

- Tore 1 und 2 des Power Splitters mit den Toren 1 und 2 des VNAs verbinden
- OSM (Offline-) Kalibrierung an Tor 3 des Splitters mit:

$$J_{33} = \frac{S_{11}}{S_{21}}$$

- Der Errorbox Parameter e_{11} („Source Match“) entspricht $\Gamma_{G,3}$

Juroshek (2)

	3-Tor Messung	Juroshek
Bestimmung von Γ_G an Tor	2 und 3	2 oder 3
Anzahl der Verbindungen	12	5
Kabelbewegung	ja	nein
VNA Test Ports	3	2
Sonstiges	alle charakteristischen Größen können bestimmt werden	

Shimaoka (1)

$$S_{21S} = S_{21} + S_{31} \cdot \frac{S_{23} \cdot \Gamma_S}{1 - S_{33} \cdot \Gamma_S} \quad (1)$$

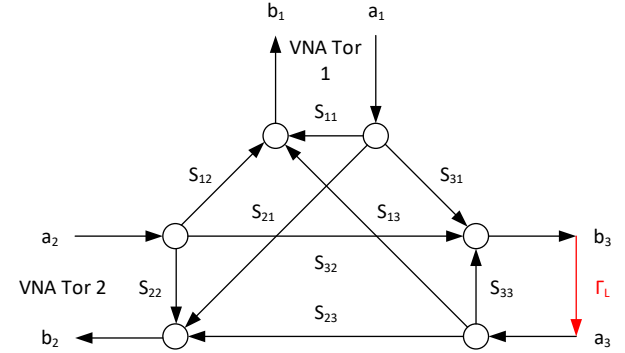
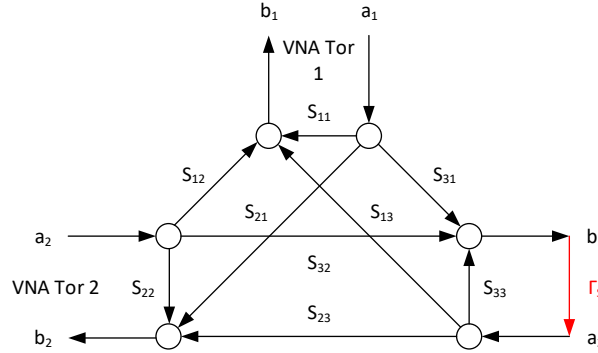
$$S_{22S} = S_{22} + S_{32} \cdot \frac{S_{23} \cdot \Gamma_S}{1 - S_{33} \cdot \Gamma_S} \quad (2)$$

$$S_{22S} - S_{21S} \cdot \frac{S_{32}}{S_{31}} = S_{22} - S_{21} \cdot \frac{S_{32}}{S_{31}} \quad (3)$$

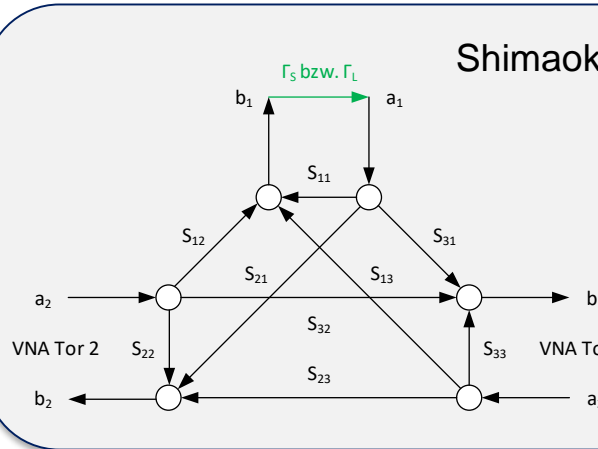
$$S_{22L} - S_{21L} \cdot \frac{S_{32}}{S_{31}} = S_{22} - S_{21} \cdot \frac{S_{32}}{S_{31}} \quad (4)$$

$$\frac{S_{32}}{S_{31}} = \frac{S_{22L} - S_{22S}}{S_{21L} - S_{21S}} \quad (5)$$

$$\Gamma_{G,2} = S_{22S} - \frac{S_{22L} - S_{22S}}{S_{21L} - S_{21S}} \cdot S_{21S} \quad (6)$$

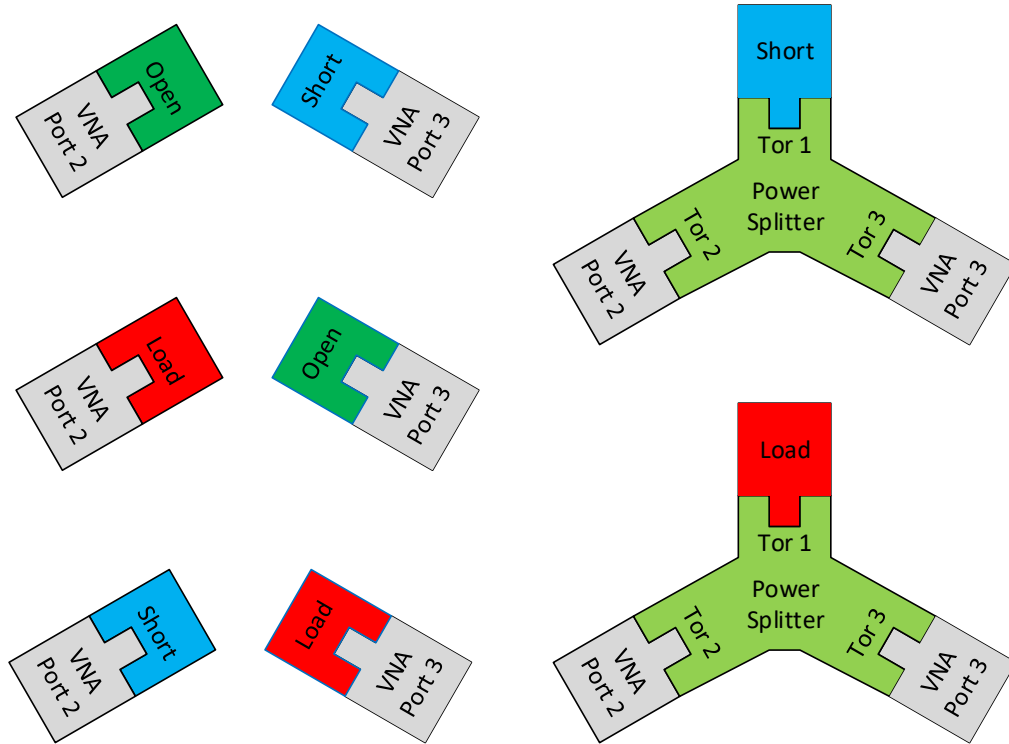


Shimaoka modifiziert (auch „Palmer⁵“ genannt)



$$\Gamma_{G,2} = \frac{S_{22L} \cdot S_{32S} - S_{22S} \cdot S_{32L}}{S_{32S} - S_{32L}}$$

$$\Gamma_{G,3} = \frac{S_{33L} \cdot S_{23S} - S_{33S} \cdot S_{23L}}{S_{23S} - S_{23L}}$$



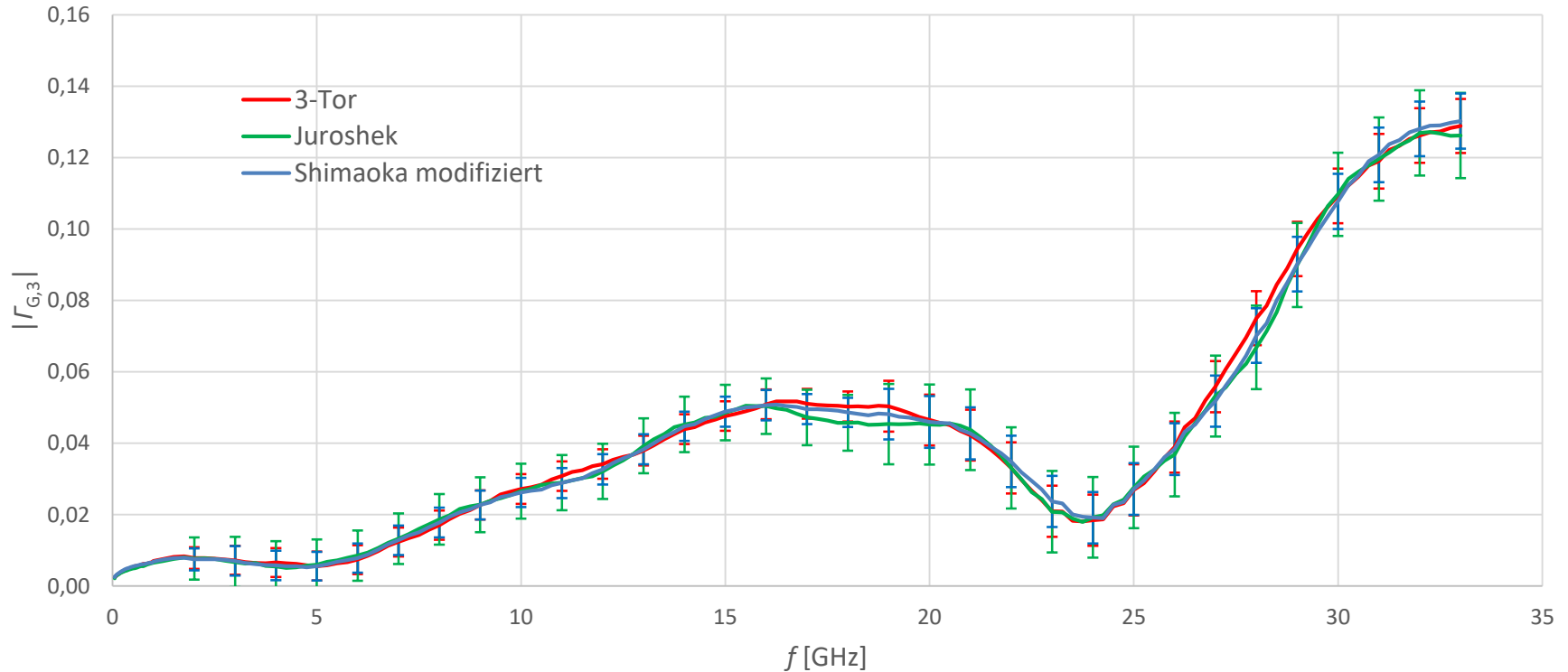
Bestimmung von Γ_G über

- UOSM Kalibrierung
- als „Unknown Thru“ dient der Power Splitter (z. B. mit der Load an Tor 1 des Splitters) bei der Kalibrierung
- Messung aller S-Parameter mit beiden Reflexionsstandards
- Reflexionsstandards müssen nicht bekannt, nur unterschiedlich sein.
- über die gemessenen S-Parameter mit beiden Reflexionsstandards kann Γ_G von beiden Toren berechnet werden.

	3-Tor Messung	Juroshek	Shimaoka mod.
Bestimmung von Γ_G an Tor	2 und 3	2 oder 3	2 und 3
Anzahl der Verbindungen	12	5	10
Kabelbewegung	ja	nein	ja/(offline - nein)
VNA Test Ports	3	2	2
Sonstiges	alle charakteristischen Größen können bestimmt werden		Tracking kann bestimmt werden

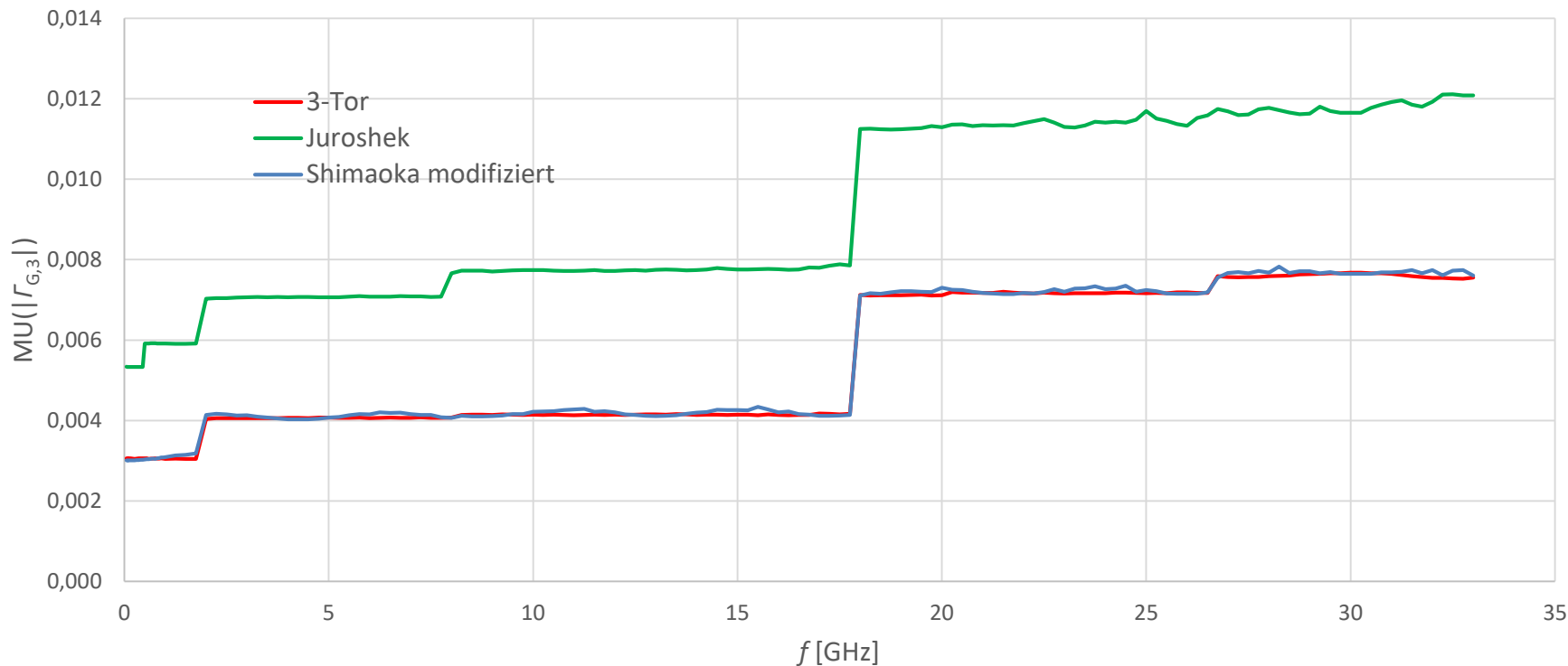
Vergleich (1)

Beispiel Power Splitter PC3,5mm



Vergleich (2)

Messunsicherheiten (Beträge), berechnet mit VNA Tools II



- Alle Messverfahren liefern vergleichbare Messergebnisse
- Vor- und Nachteile:

	3-Tor Messung	Juroshek	Shimaoka mod.
Bestimmung von Γ_G an Tor	2 und 3	2 oder 3	2 und 3
Anzahl der Verbindungen	12	5	10
Kabelbewegung	ja	nein	ja/(offline - nein)
VNA Test Ports	3	2	2
Sonstiges	alle charakteristischen Größen können bestimmt werden		Tracking kann bestimmt werden
Messunsicherheit	gering	deutlich größer	gering

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

- [1] Russel A. Johnson „Understanding microwave power splitters“, Microwave Journal 1975
- [2] Thomas Reichel „Messverfahren für den äquivalenten Reflexionsfaktor von Power Splittern“, 139. PTB Seminar (PTB-Bericht E58) 1998
- [3] John R. Juroshek „A direct calibration method for measuring equivalent source mismatch“, Microwave Journal 1997
- [4] Kasohiro Shimaoka “A new method for measuring accurate equivalent source reflection coefficient of three-port devices”, CPEM 2010
- [5] Johannes Hoffmann “Comparison of methods for measurement of equivalent source match”, 45th European Microwave Conference 2015

Einfluss auf die MU @26,5 GHz (berechnet mit VNA Tools II)

	3-Tor Messung	Juroshek	Shimaoka mod.
Cable Stability	<0,1%	-	-
Connector Repeatability	3,9%	1,5%	3,9%
Calibration Standards	95%	93,3%	94,6%
VNA Drift	<0,1%	<0,1%	<0,1%
VNA Linearity	1%	5%	1,4%
VNA Noise	<0,1%	0,1%	<0,1%



**Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Braunschweig und Berlin**

Bundesallee 100

38116 Braunschweig

Florian Rausche

Telefon: 0531 592-2221

E-Mail: florian.rausche@ptb.de

www.ptb.de



Stand: 10/13