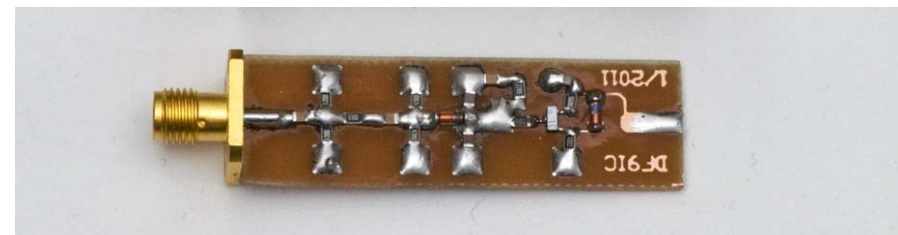


# Untersuchungen an Rauschquellen

Wolf-Henning Rech  
DF91C  
Eisinger Str. 36/2  
75245 Neulingen

<http://www.df91c.de>



# Rauschzahl eines Verstärkers

- Definition:

$$F = \frac{SNR_{In}}{SNR_{Out}}$$

- Messung (Hot/Cold):

$$F = \frac{ENR}{Y \cdot \frac{G_{OFF}}{G_{ON}} - 1}$$

$ENR$  : Excess Noise Ratio

$Y$  : Rauschleistungsverhältnis ON/OFF

# Ursachen von Meßfehlern



- Rauschzahlmeßgerät ( $Y$ ):
  - Leistungsverhältnis falsch bestimmt
  - Falsche Meßfrequenz, zu große Meßbandbreite
  - Störsignale
- Rauschquelle ( $ENR, G_{OFF}/G_{ON}$ ):
  - ENR falsch, instabil, temperaturabhängig
  - Verstärkung des DUT ist abhängig vom Schaltzustand der Rauschquelle

# Verstärkungsfehler

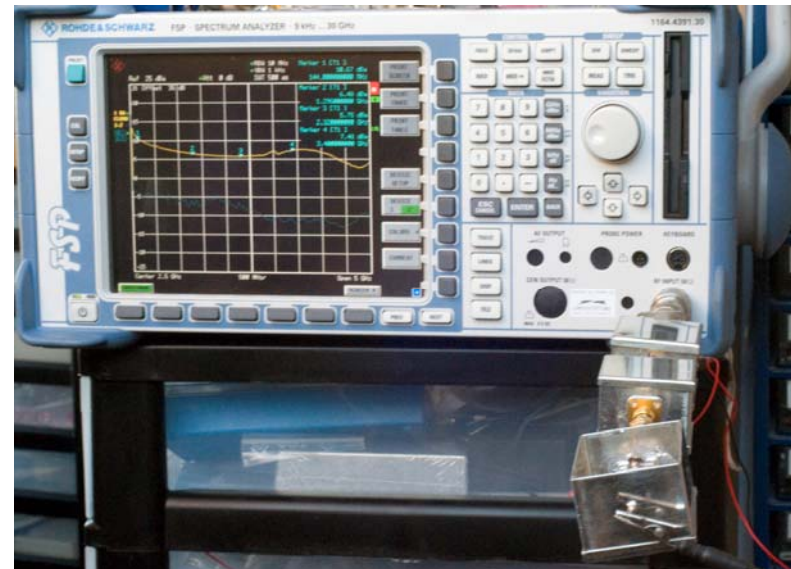
- $G_{OFF}/G_{ON}$  soll möglichst nahe Eins liegen
- Bei eingangsseitig gut angepaßten Verstärkern variiert die Verstärkung nur wenig bei kleinen Änderungen der Quellenimpedanz
- Verstärker mit starker Eingangsreflexion können sehr empfindlich auf Änderungen reagieren

=> Rauschquelle mit konstanter Impedanz:

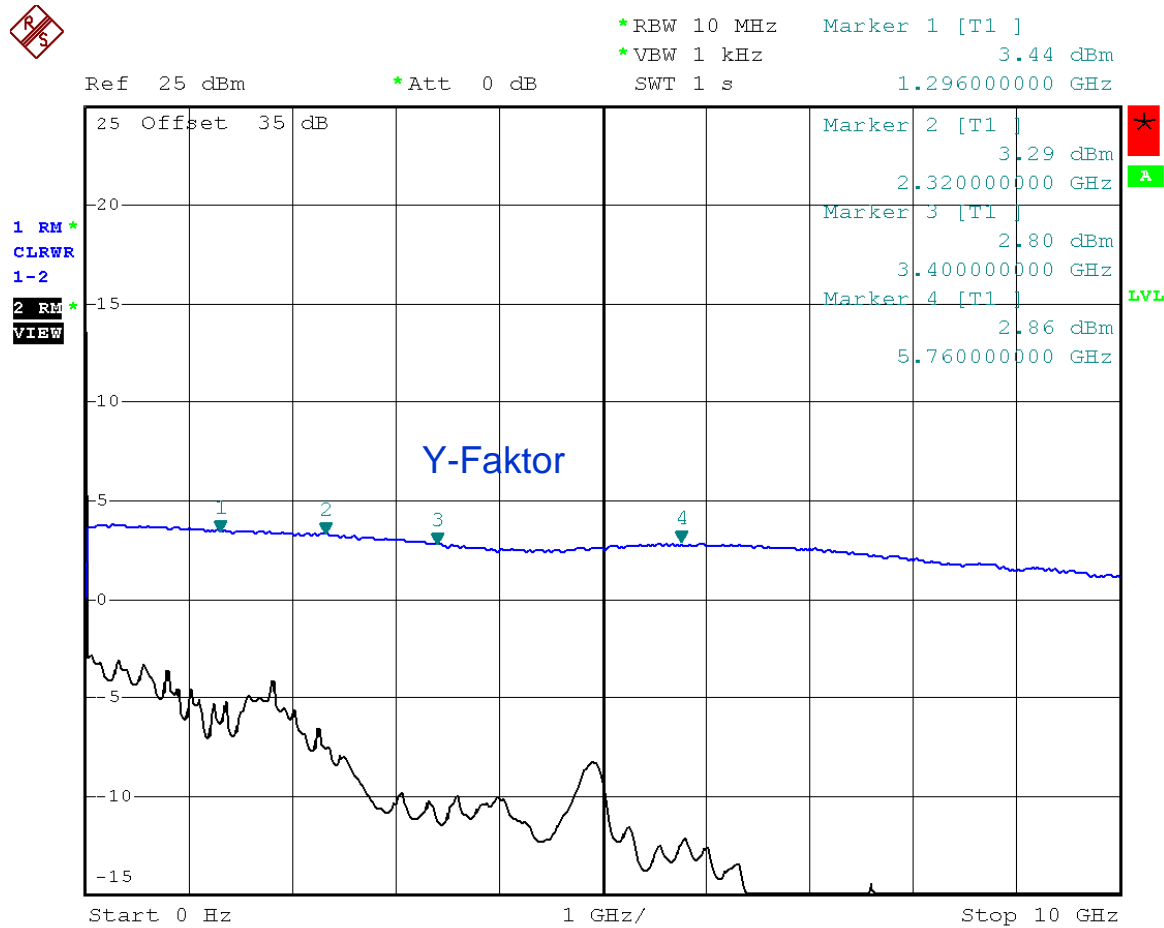
$$\Delta\Gamma = \Gamma_{ON} - \Gamma_{OFF} \text{ soll minimal sein}$$

# Messungen an Rauschquellen

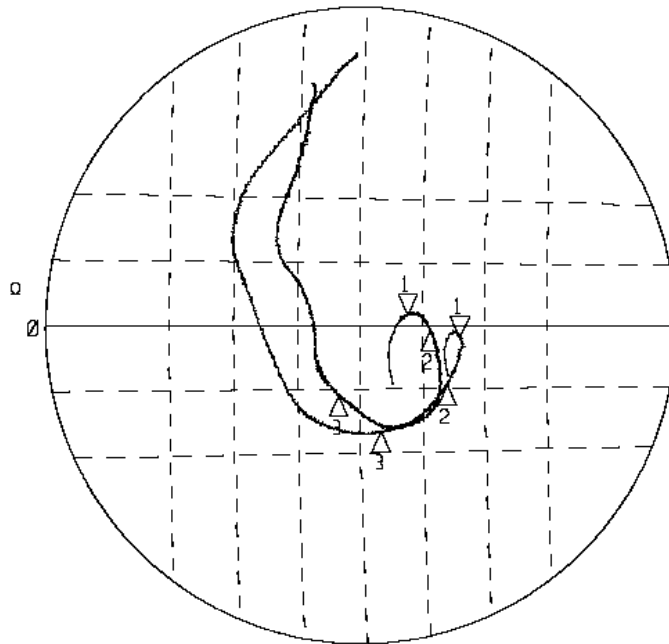
- Impedanz (Reflexionsfaktor) mit VNA in beiden Schaltzuständen (hochaufgelöst dargestellt)
- ENR- Schätzung durch Y-Faktor-Messung mit Spektrumanalysator und hochverstärkendem Breitbandverstärker ( 6 x GALi 19)



# HP346A 5 dB ENR -18GHz



# HP346A 5 dB ENR -18GHz

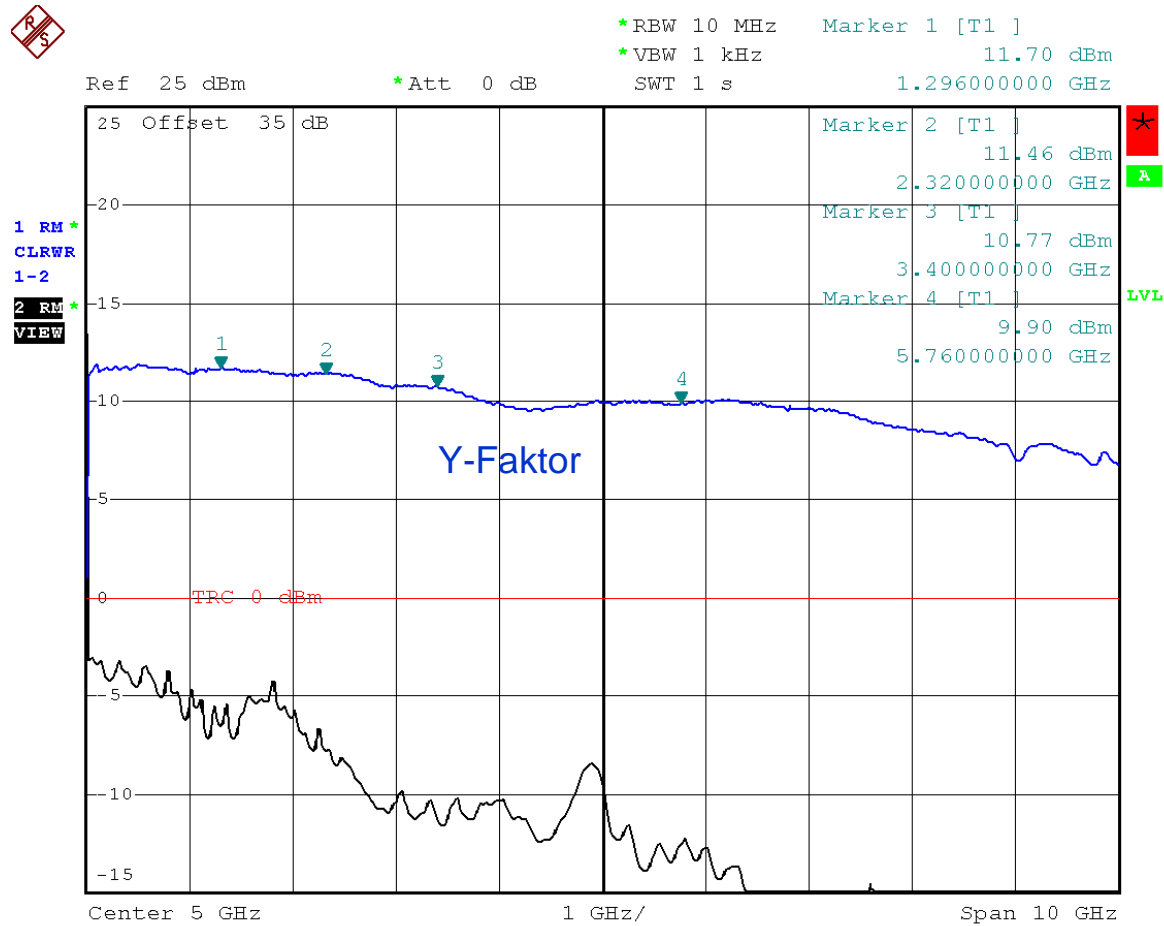


$|\Delta\Gamma|$

144 MHz	0,0045
432 MHz	0,0045
1296 MHz	0,0044

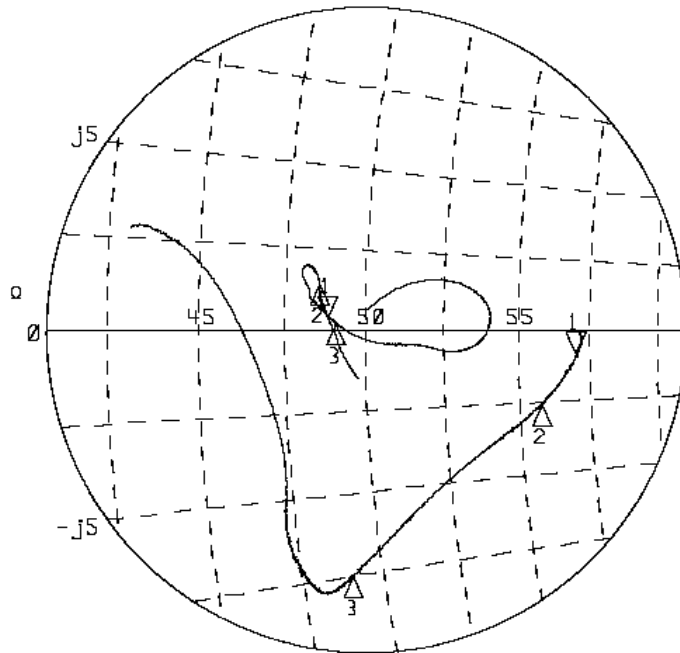
1: Mkr (MHz)	Ohm	Ohm	2: Mkr (MHz)	Ohm	Ohm
1> 144.000	50.37	92.96m	1> 144.000	50.79	-86.32m
2: 432.000	50.56	-37.11m	2: 432.000	50.69	-467.8m
3: 1296.000	50.16	-832.0m	3: 1296.000	49.83	-548.3m

# Eaton 7618E 15 dB ENR -18GHz





# Eaton 7618E 15 dB ENR -18GHz

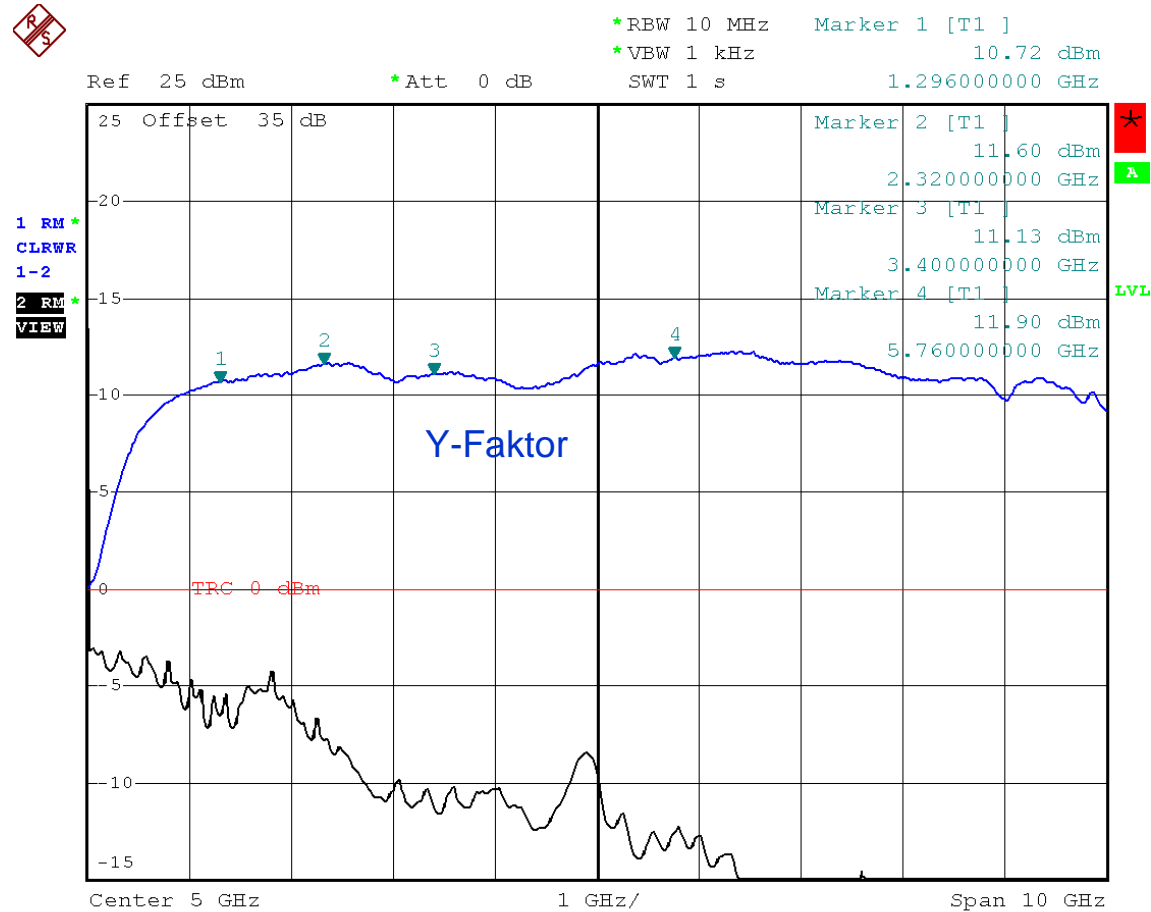


$|\Delta\Gamma|$

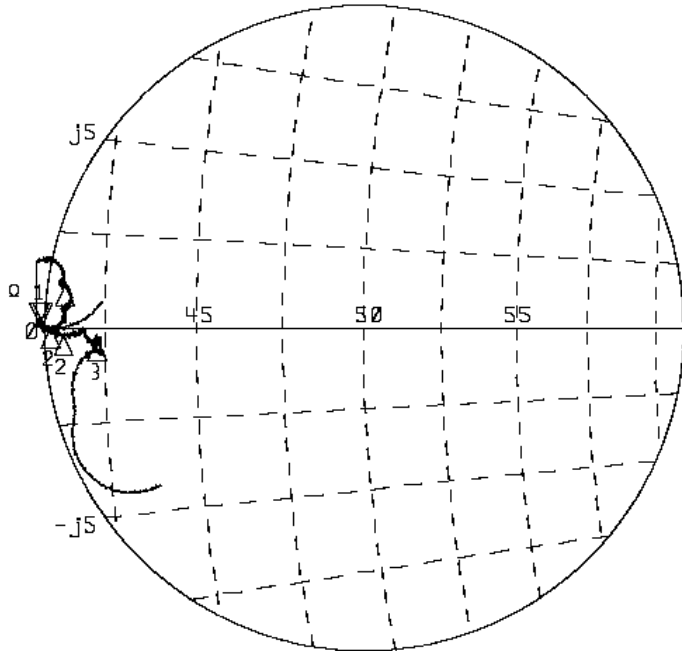
144 MHz	0,078
432 MHz	0,079
1296 MHz	0,078

1: Mkr (MHz)	Ohm	Ohm	2: Mkr (MHz)	Ohm	Ohm
1> 144.000	48.82	401.2m	1> 144.000	57.03	-800.4m
2: 432.000	48.53	1.416	2: 432.000	55.74	-2.549
3: 1296.000	49.06	213.8m	3: 1296.000	49.02	-7.474

# MSC 65185 + 10 dB (extern)



# MSC 65185 + 10 dB (extern)



Impedanzen bei niedrigen Frequenzen deutlich abweichend von 50 Ohm; außerdem dort nur niedrige ENR.

1: Mkr (MHz)	Ohm	Ohm	2: Mkr (MHz)	Ohm	Ohm
1> 144.000	40.85	129.5m	1> 144.000	40.80	143.1m
2: 432.000	41.40	-162.5m	2: 432.000	41.09	47.56m
3: 1296.000	42.31	-313.3m	3: 1296.000	41.43	1.128

# Rauschquellen mit Zenerdioden



- Sehr preiswert realisierbar, keine Spezialbauteile
- Hohe Rauschleistung bei niedrigen Frequenzen
- Nachteil: hohe Sperrschichtkapazität
- Zenereffekt:  $< 5\text{ V}$  dominierend
- Lawineneffekt:  $> 5\text{ V}$  dominierend

# Rauschquellen mit Zenerdioden

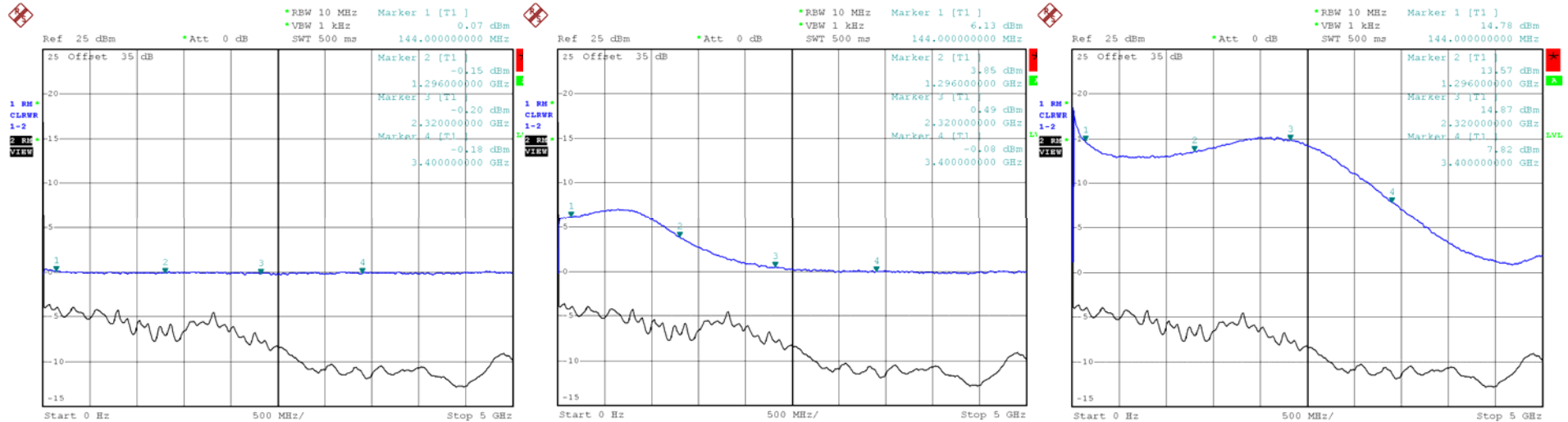
Table 1 Per type BZV55-B/C2V4 to B/C24

T<sub>j</sub> = 25 °C unless otherwise specified.

BZV55-B or C XXX	WORKING VOLTAGE V <sub>Z</sub> (V) at I <sub>Ztest</sub> = 5 mA				DIFFERENTIAL RESISTANCE r <sub>dif</sub> (Ω)				TEMP. COEFF. S <sub>Z</sub> (mV/K) at I <sub>Ztest</sub> = 5 mA (see Figs 5 and 6)			DIODE CAP. C <sub>d</sub> (pF) at f = 1 MHz; V <sub>R</sub> = 0 V	NON-REPETITIVE PEAK REVERSE CURRENT I <sub>ZSM</sub> (A) at t <sub>p</sub> = 100 μs; T <sub>amb</sub> = 25 °C
	Tol. ±2% (B)		Tol. approx. ±5% (C)		at I <sub>Ztest</sub> = 1 mA		at I <sub>Ztest</sub> = 5 mA		MIN.	TYP.	MAX.		
	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.	TYP.	MAX.	TYP.	MAX.					
2V4	2.35	2.45	2.2	2.6	275	600	70	100	-3.5	-1.6	0	450	6.0
2V7	2.65	2.75	2.5	2.9	300	600	75	100	-3.5	-2.0	0	450	6.0
3V0	2.94	3.06	2.8	3.2	325	600	80	95	-3.5	-2.1	0	450	6.0
3V3	3.23	3.37	3.1	3.5	350	600	85	95	-3.5	-2.4	0	450	6.0
3V6	3.53	3.67	3.4	3.8	375	600	85	90	-3.5	-2.4	0	450	6.0
3V9	3.82	3.98	3.7	4.1	400	600	85	90	-3.5	-2.5	0	450	6.0
4V3	4.21	4.39	4.0	4.6	410	600	80	90	-3.5	-2.5	0	450	6.0
4V7	4.61	4.79	4.4	5.0	425	500	50	80	-3.5	-1.4	0.2	300	6.0
5V1	5.00	5.20	4.8	5.4	400	480	60	60	-2.7	-0.8	1.2	300	6.0
5V6	5.49	5.71	5.2	6.0	80	400	15	40	-2.0	1.2	2.5	300	6.0
6V2	6.08	6.32	5.8	6.6	40	150	6	10	0.4	2.3	3.7	200	6.0
6V8	6.66	6.94	6.4	7.2	30	80	6	15	1.2	3.0	4.5	200	6.0
7V5	7.35	7.65	7.0	7.9	30	80	6	15	2.5	4.0	5.3	150	4.0
8V2	8.04	8.36	7.7	8.7	40	80	6	15	3.2	4.6	6.2	150	4.0
9V1	8.92	9.28	8.5	9.6	40	100	6	15	3.8	5.5	7.0	150	3.0
10	9.80	10.20	9.4	10.6	50	150	8	20	4.5	6.4	8.0	90	3.0
11	10.80	11.20	10.4	11.6	50	150	10	20	5.4	7.4	9.0	85	2.5
12	11.80	12.20	11.4	12.7	50	150	10	25	6.0	8.4	10.0	85	2.5
13	12.70	13.30	12.4	14.1	50	170	10	30	7.0	9.4	11.0	80	2.5
15	14.70	15.30	13.8	15.6	50	200	10	30	9.2	11.4	13.0	75	2.0
16	15.70	16.30	15.3	17.1	50	200	10	40	10.4	12.4	14.0	75	1.5
18	17.60	18.40	16.8	19.1	50	225	10	45	12.4	14.4	16.0	70	1.5
20	19.60	20.40	18.8	21.2	60	225	15	55	14.4	16.4	18.0	60	1.5
22	21.60	22.40	20.8	23.3	60	250	20	55	16.4	18.4	20.0	60	1.25
24	23.50	24.50	22.8	25.6	60	250	25	70	18.4	20.4	22.0	55	1.25

Dioden mit  
Zenerspannung  
im Bereich von  
10-20 V am  
günstigsten

# Verschiedene Zenerspannungen



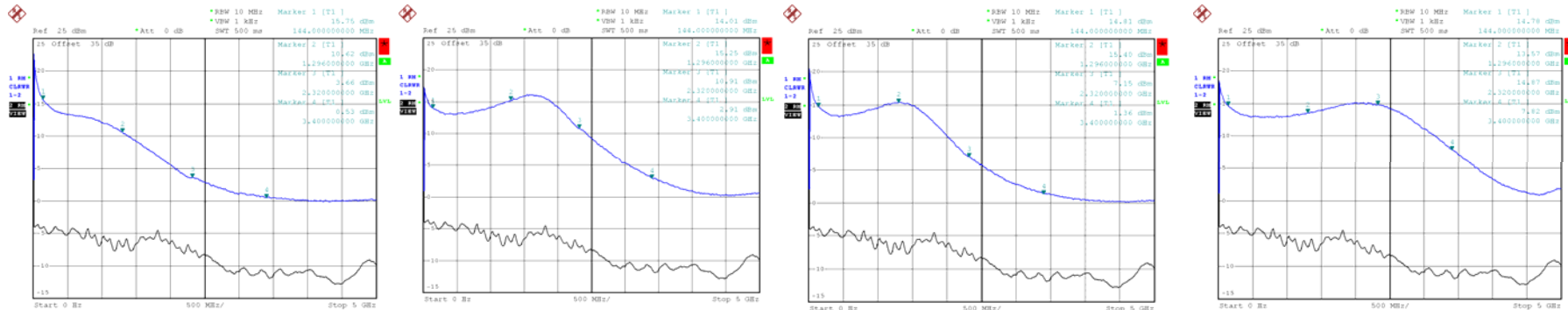
3,9 V (reiner Zenereffekt)

5,1 V

12 V

Zenerdioden verschiedener Zenerspannung, jeweils Y-Faktor 0-5 GHz, gemessen mit 20 dB Dämpfungsglied bei 6 mA Strom

# Verschiedene Typen/Bauformen



ZD12 bedrahtet

MELF unbekannt

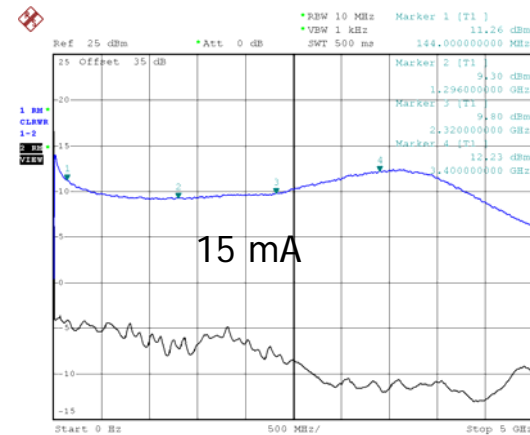
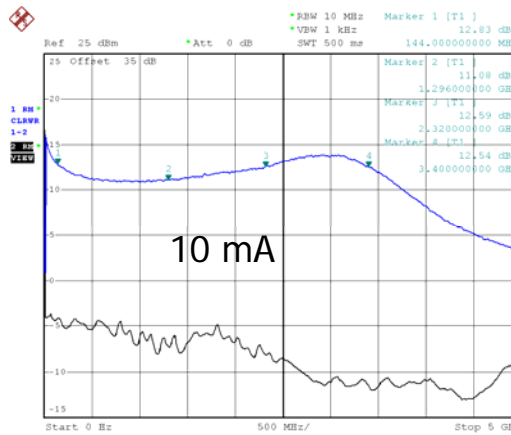
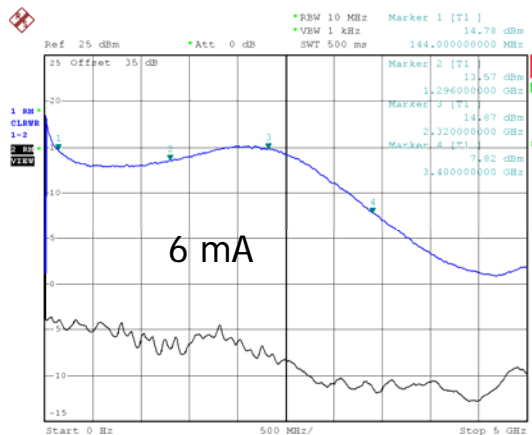
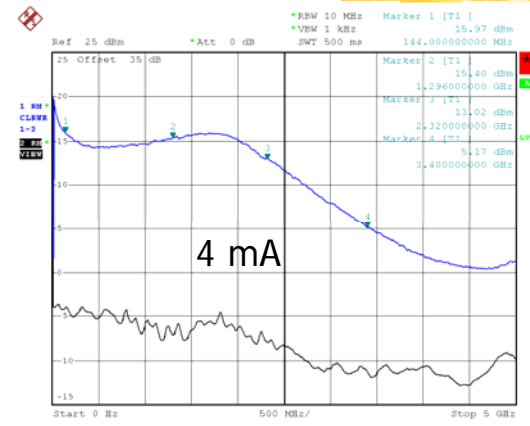
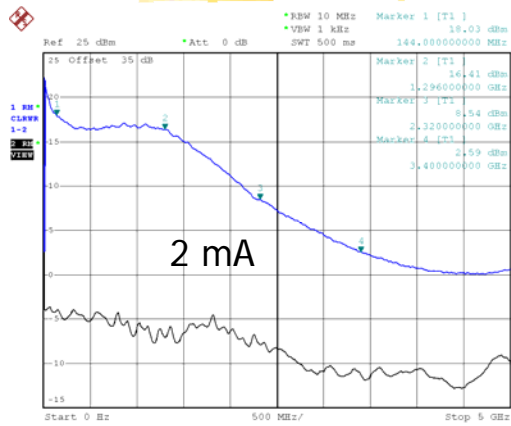
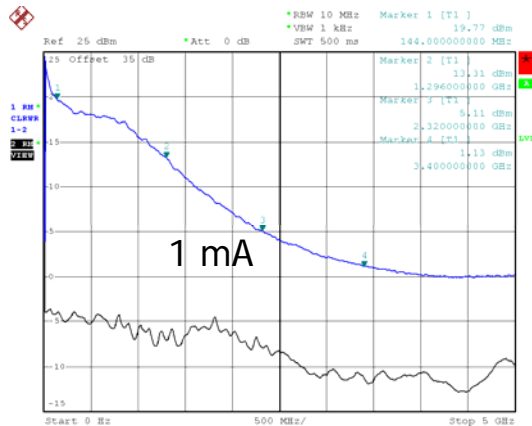
BZX84 SOT23  
(Reichelt)

BZV55 MELF  
(Reichelt)

12-V-Zenerdioden, jeweils Y-Faktor 0-5 GHz, gemessen mit 20 dB Dämpfungsglied bei 6 mA Strom

=> 12-V-Zenerdiode ist nicht gleich 12-V-Zenerdiode !

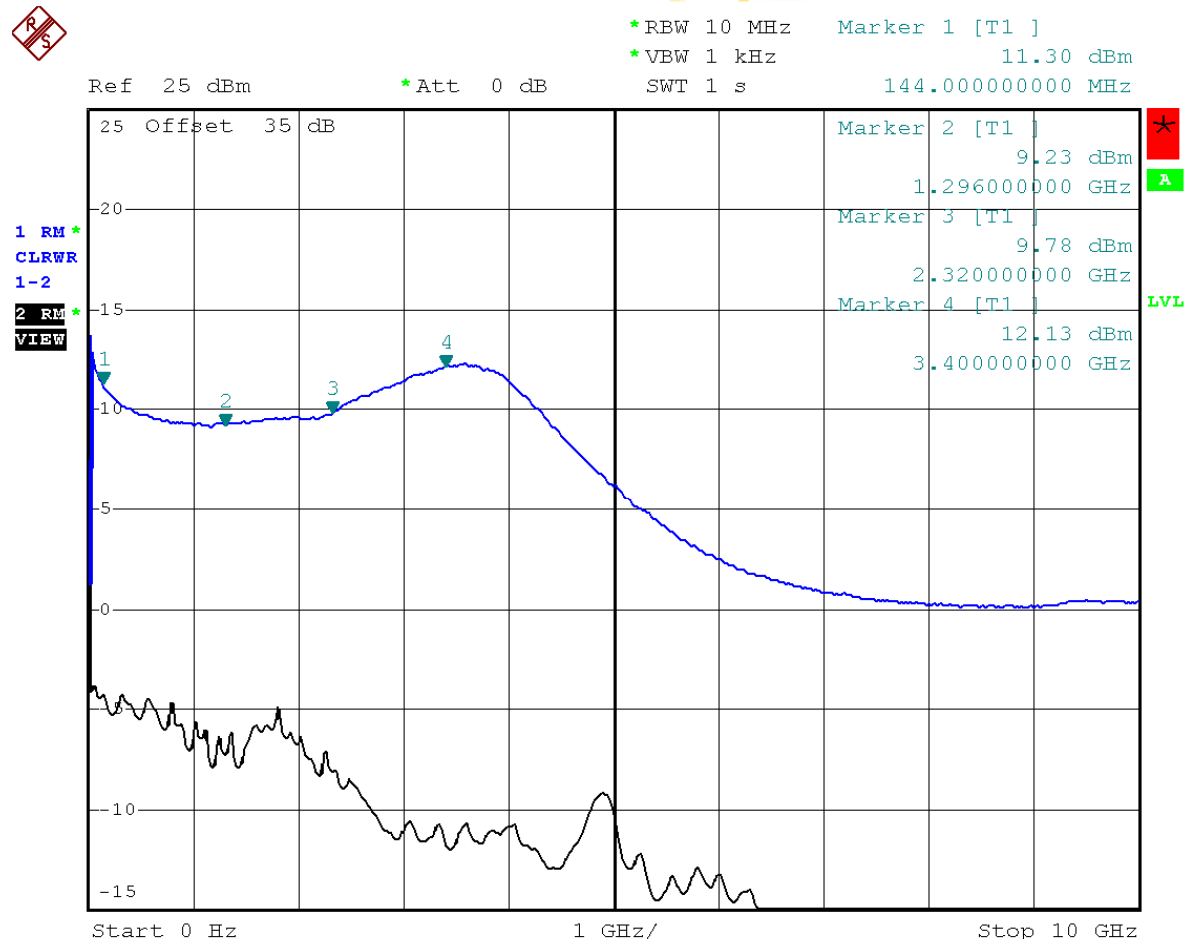
# Einfluß des Zenerstroms



BZV55-12 V, jeweils Y-Faktor 0-5 GHz, gemessen mit 20 dB Dämpfungsglied



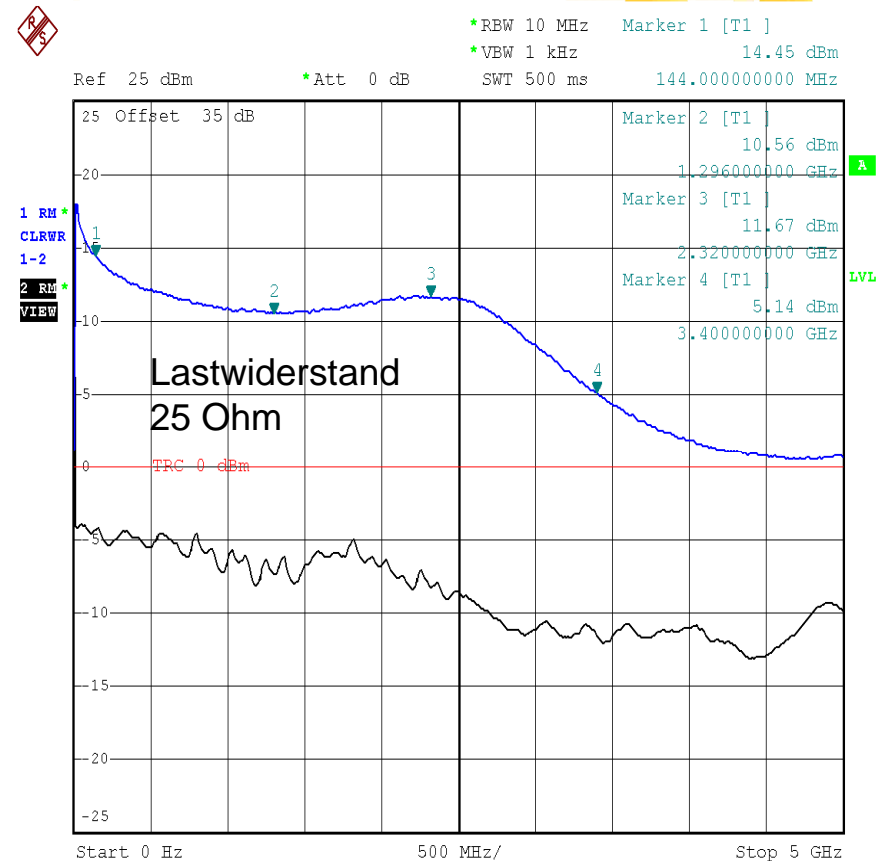
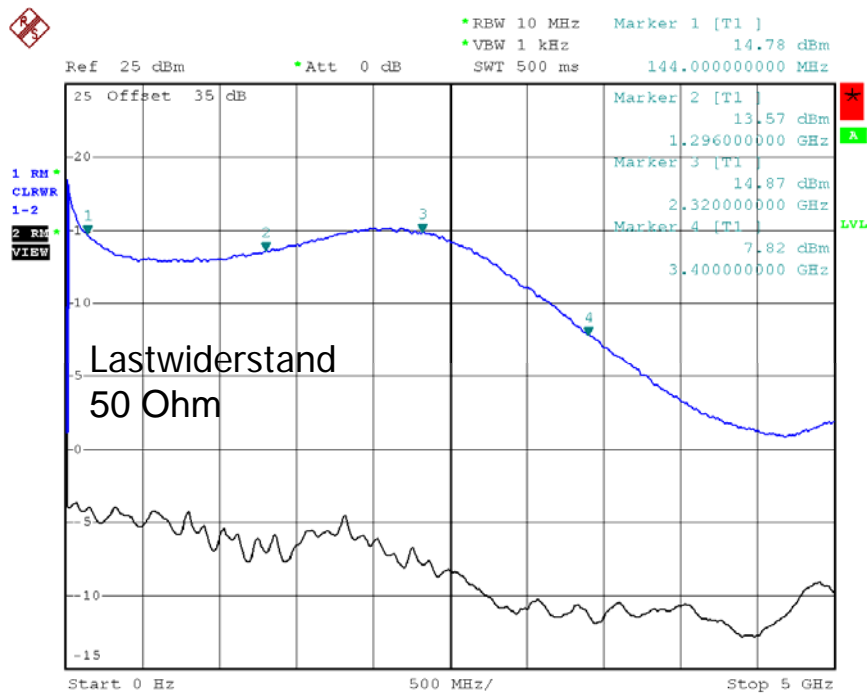
# Grenzfrequenz bei hohem Strom



BZV55-12 V, 15 mA  
Y-Faktor 0-10 GHz,  
gemessen mit 20 dB  
Dämpfungsglied

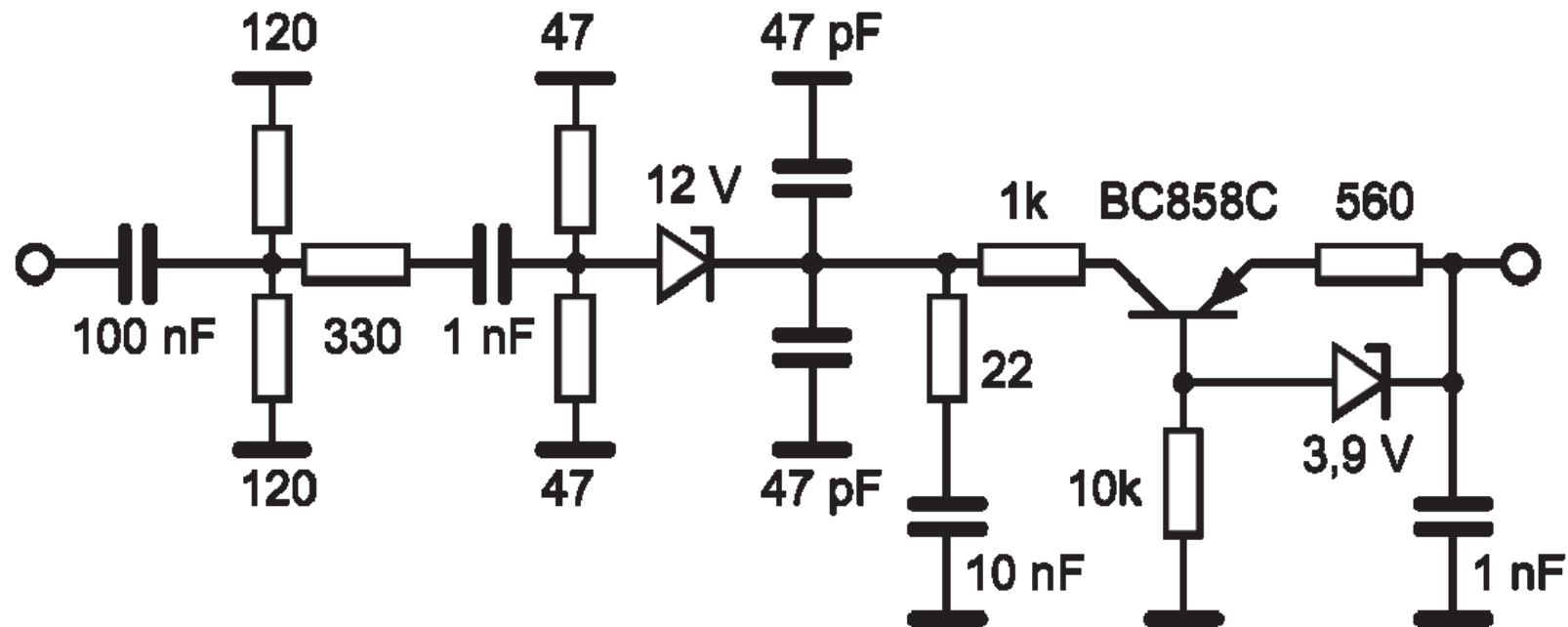
=> Bei >6 GHz  
nicht nutzbar

# Einfluß des Lastwiderstands



BZV55-12 V bei 6mA, jeweils Y-Faktor 0-5 GHz, gemessen mit 20 dB Dämpfungsglied

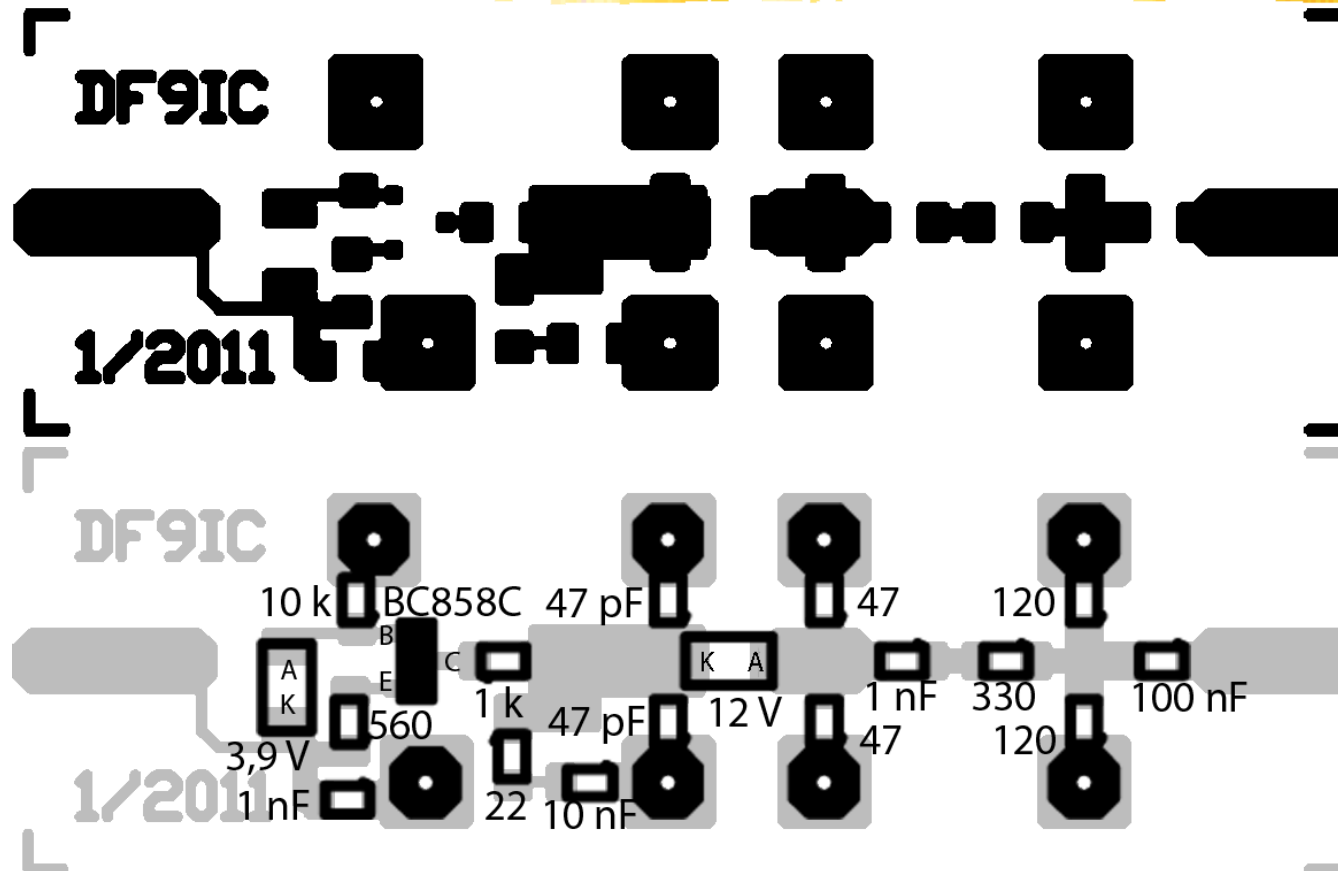
# Schaltungsentwurf



BZV55-12 V, 6 mA, auf 23 Ohm Lastwiderstand; auf Masseseite Hochpaß aus 2 x 47 pF und 22 Ohm. Integriertes Dämpfungsglied.

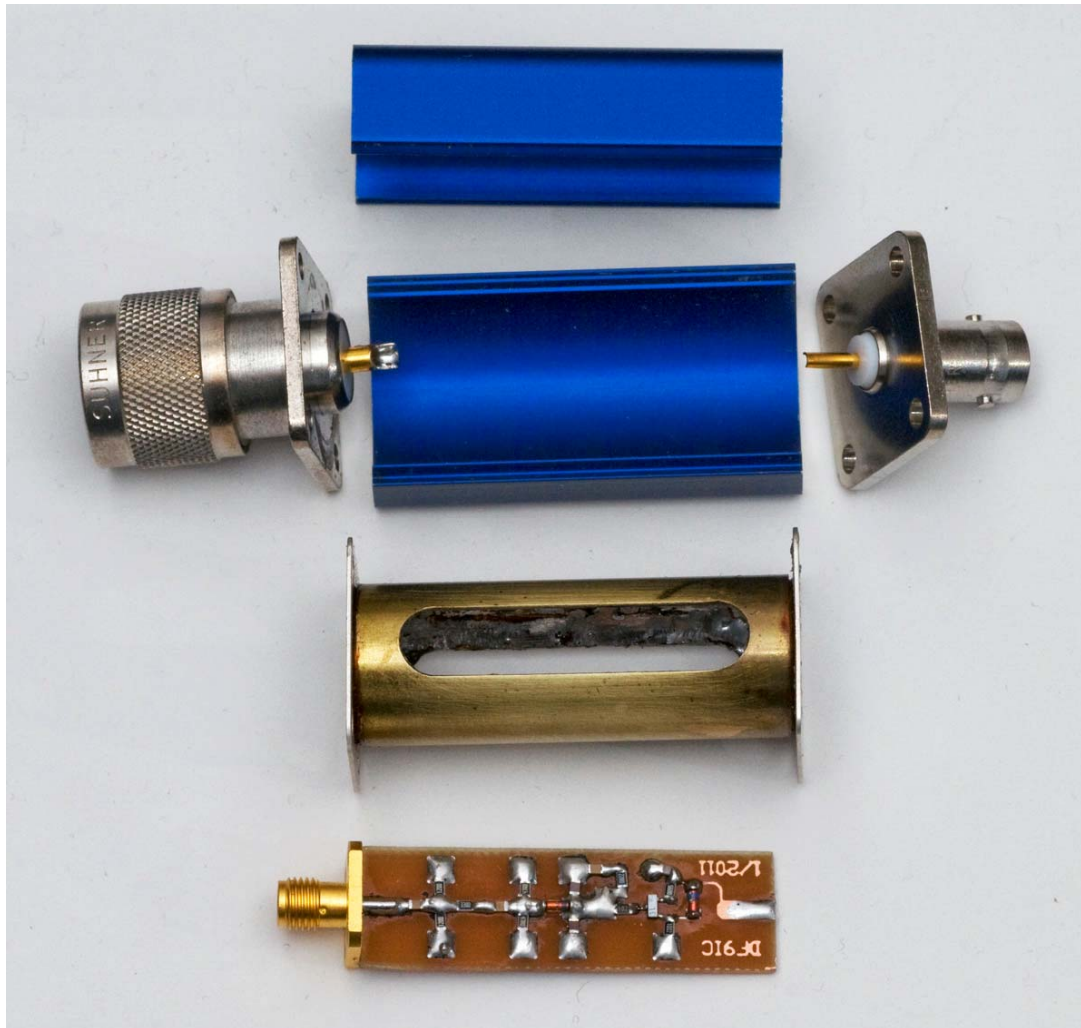
Stromquelle mit Temperaturkompensation (3,9 V Zener und B-E-Spannung BC858C)

# Leiterplatte



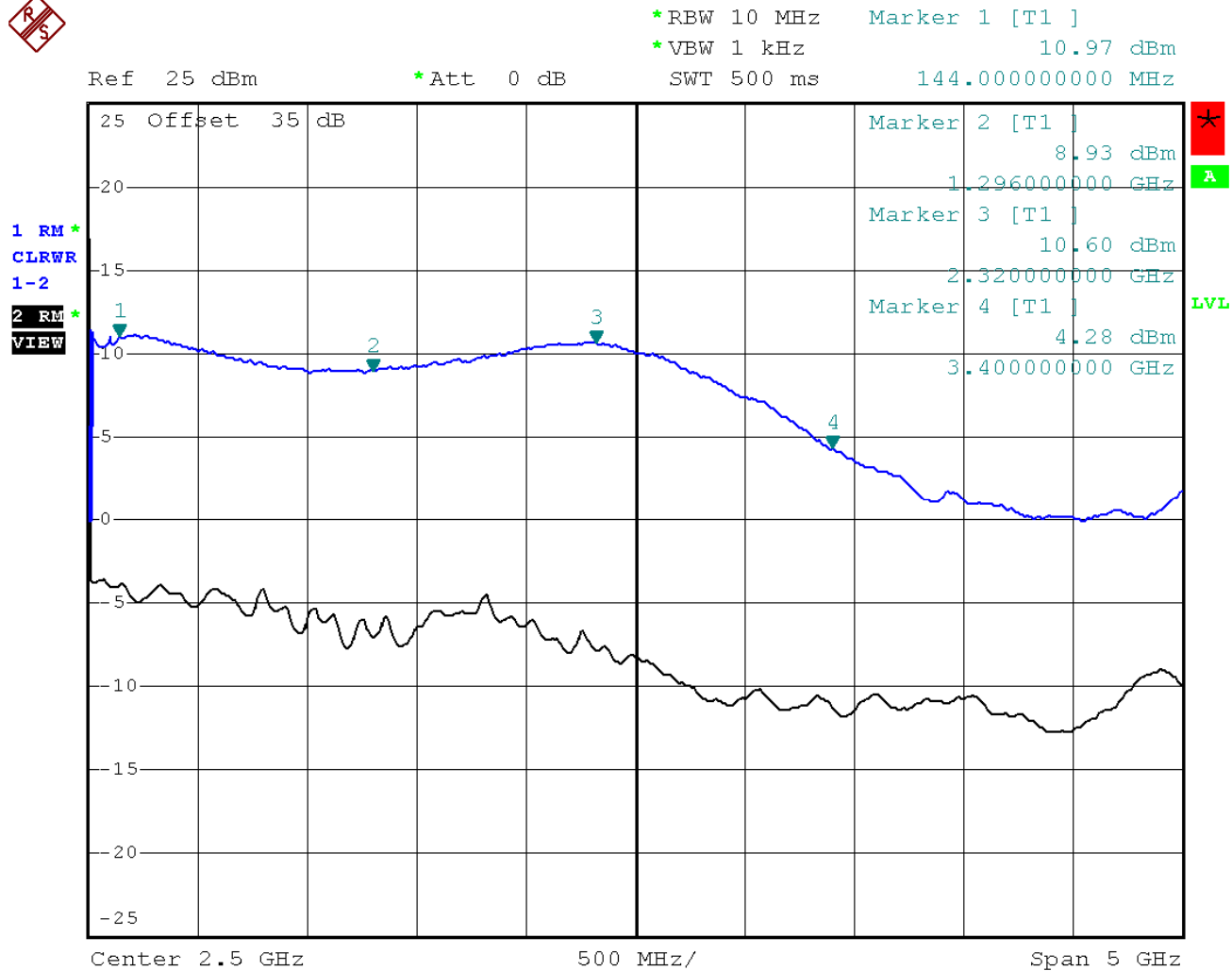
SMD-Bauteile in Baugröße 0805, FR4 1,5 mm,  
Durchkontaktierung mit Nieten 1,2/1,5 mm

# Baugruppe

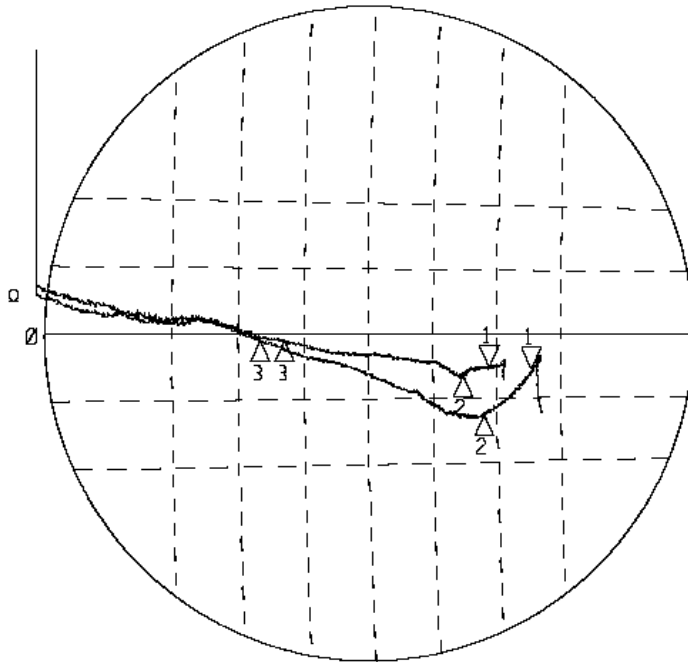


Leiterplatte des  
Prototypen und  
mögliches Gehäuse  
zum Einbau  
(SUCOBOX)

# Zenerdiode 15 dB ENR -2,5 GHz



# Zenerdiode 15 dB ENR -2,5 GHz



$|\Delta\Gamma|$

144 MHz	0,0033
432 MHz	0,0033
1296 MHz	0,0019

1: Mkr (MHz)	Ohm	Ohm	2: Mkr (MHz)	Ohm	Ohm
1> 144.000	50.93	-251.2m	1> 144.000	51.27	-272.9m
2: 432.000	50.74	-317.6m	2: 432.000	50.89	-619.2m
3: 1296.000	49.36	-51.11m	3: 1296.000	49.17	-47.05m

Geringere Impedanzvariation als HP346A  
trotz 10 dB höherer ENR

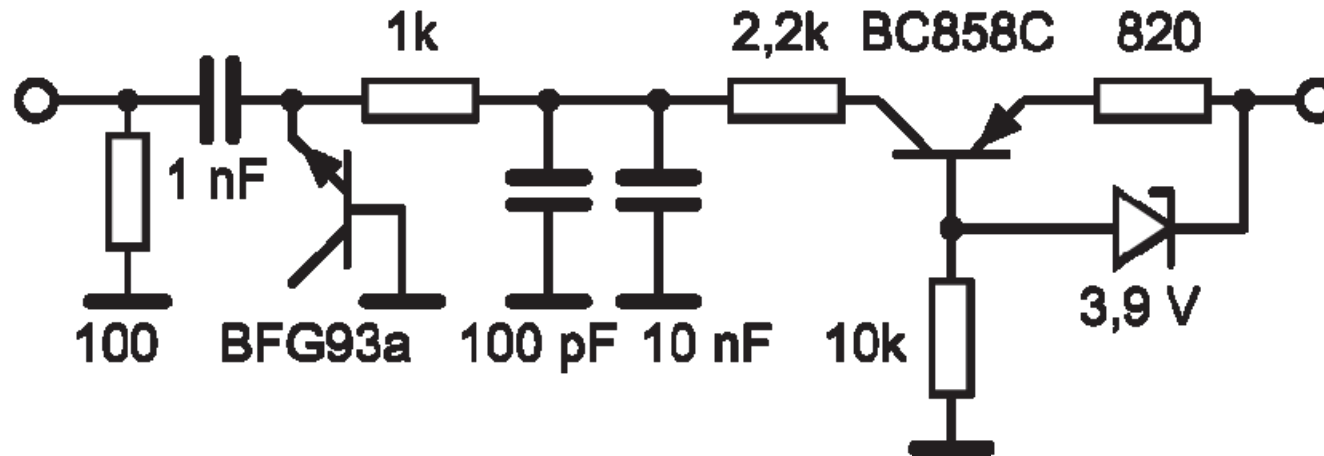
# Größere Bandbreite?



- Kleinere Sperrschichtkapazität!
- B-E-Strecke von Mikrowellen-Bipolartransistoren im Durchbruch (typ. ca. 5 V Zenerspannung)
- BFR90/91 und Nachfolger sind gut geeignet; hier: BFG93a
- BFP420 rauschen deutlich weniger (niedrigere Durchbruchspannung)



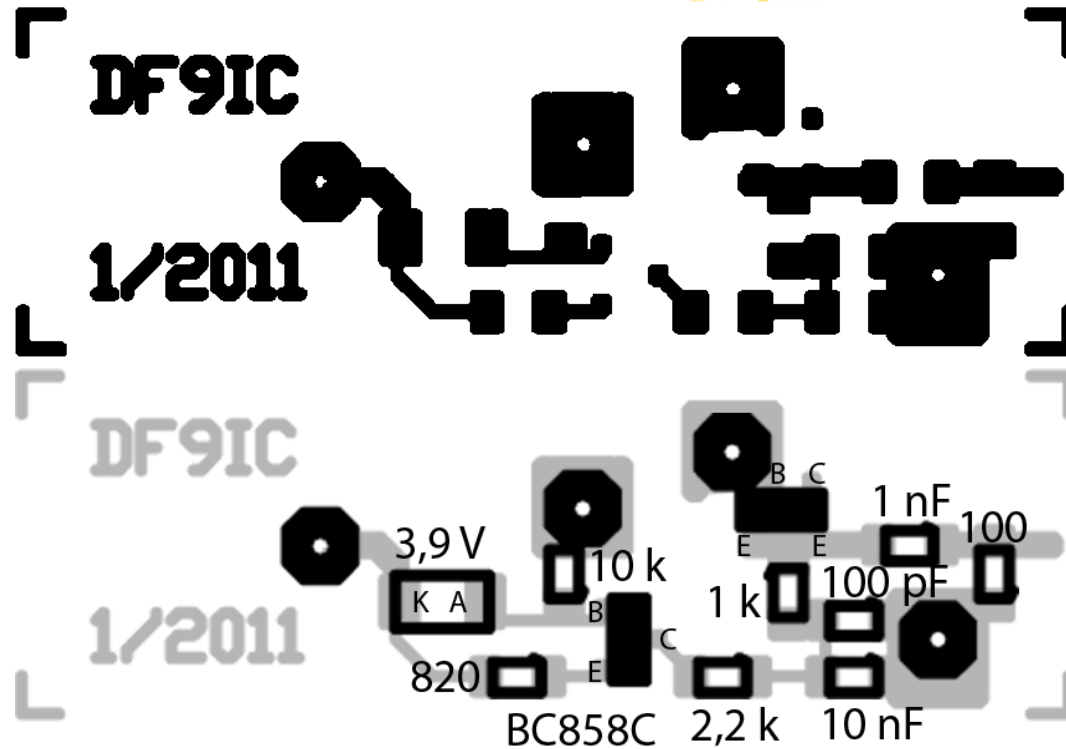
# Schaltungsentwurf



BFG93a, 3,5 mA, auf 33 Ohm Lastwiderstand. Shuntkonfiguration, keine Frequenzgangkompensation; externes Dämpfungsglied (empfohlen: 20 dB).

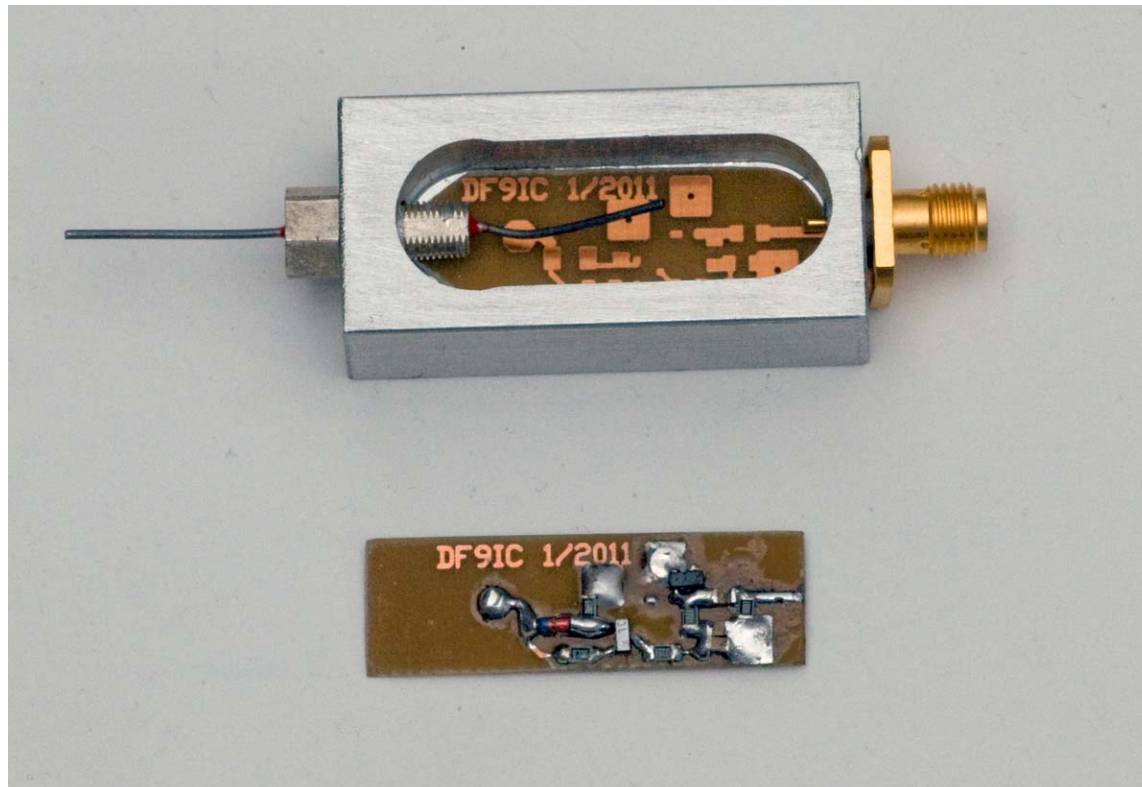
Stromquelle mit Temperaturkompensation (3,9 V Zener und B-E-Spannung BC858C).

# Leiterplatte



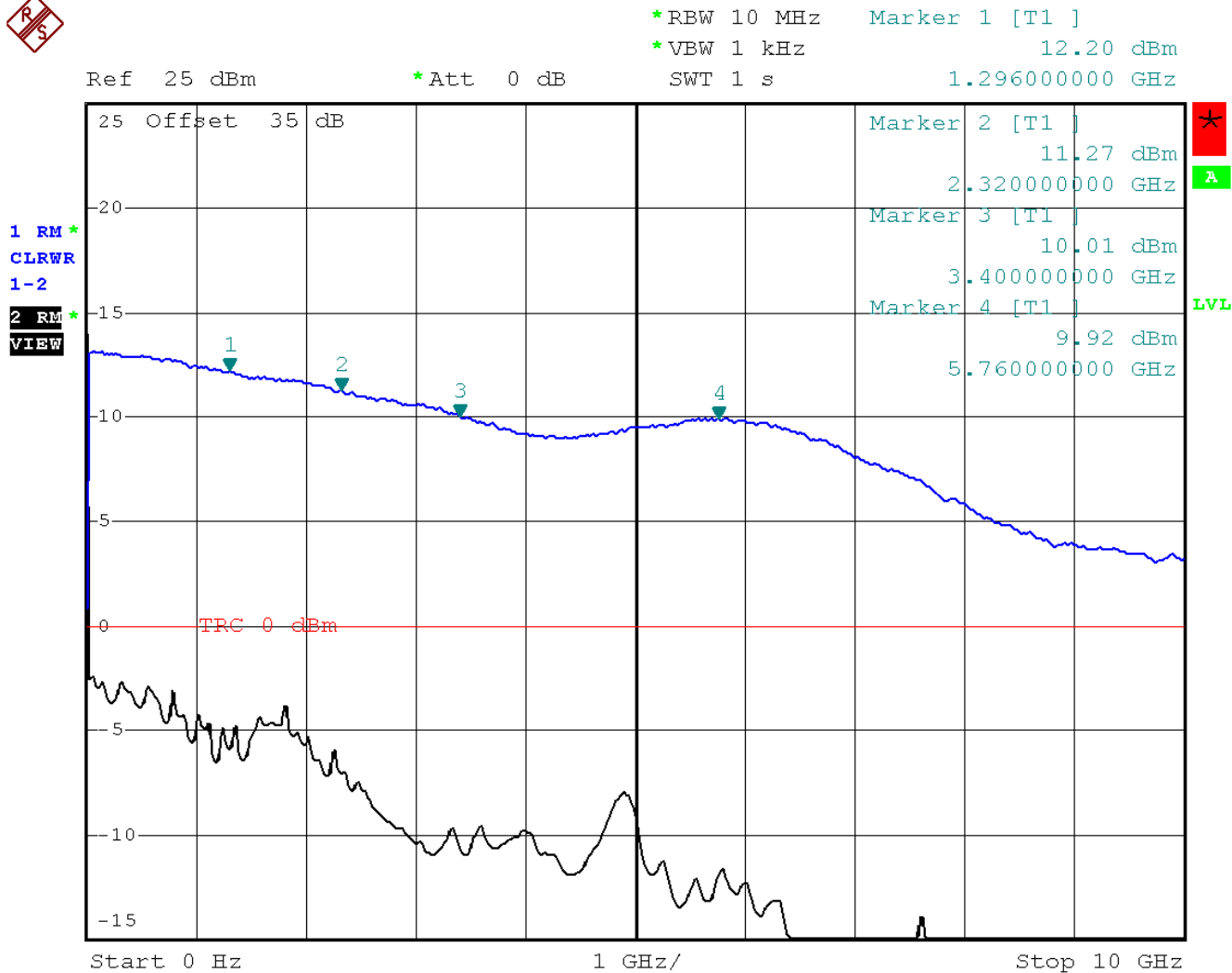
SMD-Bauteile in Baugröße 0805, FR4 0,8 mm,  
Durchkontaktierung mit Nieten 1,2/1,5 mm

# Baugruppe

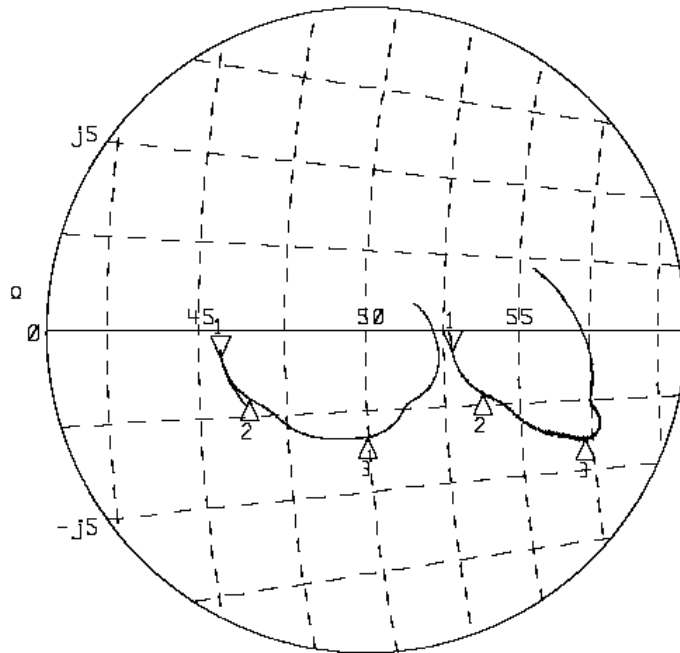


Leiterplatte des  
Prototypen und  
mögliches Gehäuse

# BFG93a + 10dB 15dB ENR -6 GHz



# BFG93a + 10dB 15dB ENR -6 GHz



$|\Delta\Gamma|$

144 MHz	0,072
432 MHz	0,073
1296 MHz	0,068

1: Mkr (MHz)	Ohm	Ohm	2: Mkr (MHz)	Ohm	Ohm
1> 144.000	45.66	-789.6m	1> 144.000	52.76	-707.8m
2: 432.000	46.46	-1.979	2: 432.000	53.74	-2.091
3: 1296.000	49.92	-3.301	3: 1296.000	57.24	-3.864

Impedanzvariation ähnlich  
Eaton 7618E bei gleicher  
ENR

# Zusammenfassung



- Zenerdiodenrauschquelle: bis ca. 2,5 GHz gut geeignet, geringerer Verstärkungsfehler als HP346A
- Verstärkungsfehler durch niedrige Lastimpedanz für die Zenerdiode minimierbar
- Rauschquelle mit BFG93a: brauchbar bis 6 GHz bei geringerer ENR, dort etwa vergleichbar mit professionellen Rauschquellen