

Basteltagebuch

Das Rauschen von Spannungsreglern

Version 07d

Jörn Bartels, DK7JB

49088 Osnabrück

mail@dk7jbde

<http://www.bartelos.de>

17. September 2016

Inhaltsverzeichnis

1	<i>Einleitung.....</i>	5
2	<i>Historie - Messanordnung – Betaversuche</i>	7
2.1	Berechnungen des Wenzelverstärker für $G=+40\text{dB}$	10
2.2	Messungen am eigenen Wenzelverstärker	12
2.3	NF-Referenzoszillator	15
2.4	Neuaufbau 2 des Wenzelverstärkers.....	17
2.5	Neuaufbau 3 des Wenzelverstärkers.....	19
2.6	Neuaufbau 4 des Wenzelverstärkers – Entwurf von Dietmar.....	22
2.6.1	Erfahrungen mit den Aufbauten.....	24
2.6.2	Hinweise zum Aufbau	24
3	<i>Die aktuelle Messanordnung – die beste Version</i>	25
3.1	Einstellung am Gerät und der Software	26
4	<i>Rauschen von Spannungsreglern</i>	28
4.1	Messung an einem LF50	35
4.2	Messung an einem LM317	37
4.3	Messung an einem LM1117 bzw. REF1117-5.....	39
4.4	Messung an einem MIC5205-5	40
4.5	Messung an einem MIC5209-3.3	41
4.6	Reg104-5	42
4.7	HiQSDR Ultra Low Noise Voltage Source 3,3V	43
4.8	Spannungsversorgung vom IQ-DDS-Generator mit nachfolgender Beruhigung	45
4.9	LD2981ABU33TR 3.3V	47
4.10	LM723 mit PNP 9V.....	48
4.11	Messung an einem LM723	49
4.12	LM723 für 3,5V - Spannungsversorgung vom NB3H-Kurzwellenoszillator.....	50
4.13	78L05.....	51
5	<i>Spannungsregler aus anderen Projekten von mir</i>	53
5.1	Spannungsregler – LO-Erzeugung des TRX2012.....	53
5.1.1	AVDD 1,8 V für die Pins 10-12-27	53
5.1.2	DVDD 1,8V für Pin 11.....	54
5.1.3	AVDD 1,8 V für den Pin 20	54
5.1.4	3,3V für den 1 GHz Oszillator	55
5.1.5	AVDD 3,3 V für den Pin 26 und mit Ferrit auch Pin 25.....	55
5.2	Spannungsregler - Frequenznormal	57
5.2.1	Netzteil 5V_Variante 5_v01	57

Spannungsregler: Einleitung

Jörn DK7JB mail@dk7jb.de

5.2.2	Netzteil 5V_Variante 2a_v01	58
5.2.3	Netzteil 5V_Variante 1a_v01	59
5.2.4	Netzteil 5V_Variante 4a_v01	60
5.3	Spannungsregler-Platine	61
5.4	Weitere Spannungsregler, die angeblich rauscharm sein sollen	64
6	Messung weiterer Parameter	64

1 Einleitung

In diesem Basteltagebuch beschäftige ich mich mit dem Rauschen von Spannungsreglern. Es werden Spannungsregler vermessen, die ich in der Vergangenheit bei unterschiedlichsten Projekten eingesetzt habe, oder plane sie in Zukunft einzusetzen. So soll mit der Zeit eine umfangreiche Dokumentation entstehen, die mir bei kommenden Projekten bei der Auswahl der dann jeweils geeigneten Spannungsregler helfen soll.

Der Verstärker und das Messverfahren wird in den Artikeln von Bernd und Thomas in der Zeitschrift FUNKAMATEUR 10-12/2014 beschrieben. Sie dienen als Grundlage zum Verständnis von diesem Basteltagebuch.

In diesem Basteltagebuch liegt weniger der Schwerpunkt auf dem Messverfahren, sondern mehr bei der Untersuchung der einzelnen Spannungsregler.

- Artikel von Thomas DG8SAQ "AudioMeter-Software zum Messen mit der Soundkarte" im Funkamateureur 10/11 2014
- Artikel von Bernd DG4RBF "Rauscharme Stromversorgung mit dem Spannungsregler LM723" im Funkamateureur 12/2014

WICHTIGER HINWEIS

Unter Windows 7 muss in den Audio-Einstellungen im Betriebssystem darauf geachtet werden, dass für die Aufnahme der Schieberegler für den Aufnahmepegel auf "3" steht. Wird dies nicht beachtet, wird das Signal intern per Software verstärkt, was zu einer Abnahme der Messdynamik führt.

Die Nutzer des VNWA kennen diese Problematik.

WICHTIGER HINWEIS

In diesem Dokument wird nur das Rauschen der Spannungsregler untersucht. Die weiteren wichtigen Regeleigenschaften von Spannungsreglern, wie die Reaktion auf Spannungsänderungen am Eingang oder Laständerungen am Ausgang bleiben noch unberücksichtigt.

Meine Basteltagebücher sind nicht für den optimalen Nachbau optimiert. Es sind echte Basteltagebücher für meine Bastelrunde und mich. Es wird mehr der chronologische Pfad verfolgt und weniger der logische. Hierbei gehört es zum normalen Bastelalltag, dass wir manchmal im Text springen ;-). Ihr müsst also den gesamten Text und auch die anderen Bände mehrfach lesen um wirklich folgen zu können. Es ist meine Laborkladde, die auch einem weiteren Leserkreis zugänglich gemacht werden soll.

Hier findet ihr noch weitere interessante Literatur:

<http://users.cosylab.com/~msekoranja/tmp/04447683.pdf>

„AudioMeter-Software zum Messen mit der Soundkarte (1)“; Thomas Baier, DG8SAQ; FA 10/2014, S. 1078

„AudioMeter-Software zum Messen mit der Soundkarte (2)“; Thomas Baier, DG8SAQ; FA 10/2014, S. 1179

„Rauscharme Stromversorgung mit dem Spannungsregler LM723“; Bernd Kaa, DG4RBF; FA 12/2014, S. 1296

„Sehr rauscharmer 60-dB-Verstärker - bis 500 kHz linear“; Bernd Kaa, DG4RBF; FA 10/2015, S. 1076

www.analog.com/media/en/technical-documentation/application-notes/AN-1120.pdf

<http://www.farnell.com/datasheets/1760785.pdf>

Die Software zur Auswertung: <http://www.dg8saq.darc.de/AudioMeter/index.shtml>

Hardware

<http://www.wenzel.com/wp-content/uploads/lowamp.pdf>

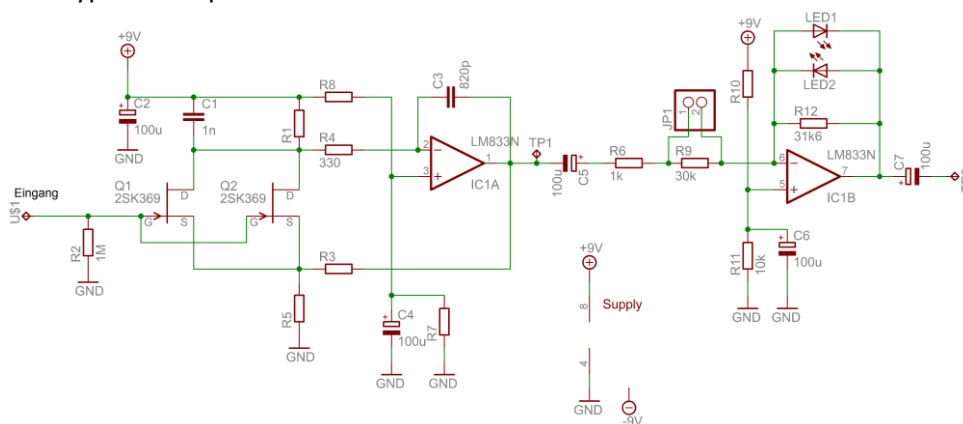
http://www.sdr-kits.net/DG8SAQ/VNWA/HamRadio_DG8SAQ_2014.pdf Folie 15

2 Historie - Messanordnung – Betaversuche

Hier dokumentiere ich die Betaphase. Auf diese Weise gehen Dokumentation von unseren alten Aufbauten nicht verloren. An diesem Verstärker haben mitgewirkt: Bernd, Dietmar, Eric, Jörn und Thomas (in alphabetischer Reihenfolge). Bernd hat den Verstärker letztlich auf minimales Rauschen getrimmt und einen Artikel im [FUNKAMATUER \(10/2015\)](#) geschrieben.

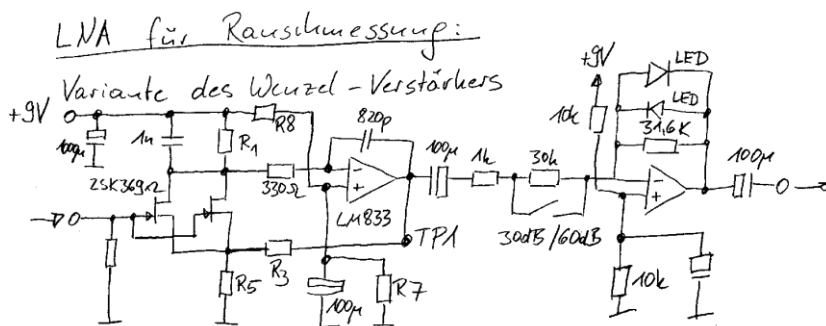
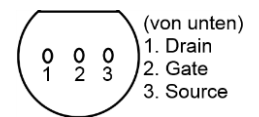
Letztlich sind die Informationen aus diesem Kapitel nur für Eric und mich von Interesse ;-).

Thomas hat für die Messung des Rauschens der Spannungsregler einen Rauschverstärker gezeichnet, der auf unserem LNA basiert. Die Bauteilwerte mussten nur leicht angepasst werden, damit er mit einer 9V Batterie betrieben werden kann. Der erste OP läuft jetzt 0,1V über dem unteren Rail. Wenn dieser einfache Entwurf keinen Erfolg bringt, müssen doch zwei Batterien verwendet werden. Es wird aber bestimmt sehr eng, da der LM833 kein R2R Typ ist. Bei späteren Entwürfen haben wir immer zwei 9V-Batterien verwendet.



Ausprobieren, ob ein oder zwei Batterien benötigt werden.

2SK369



$$I_D = 2 \times 10 \mu A ; U_D = 6V \rightarrow R_D = \frac{9V - U_D}{I_D} = \frac{3V}{20 \mu A} = 150 \Omega$$

$$\Rightarrow R_1 = 150 \Omega$$

$$\text{Pro FET : } I_D = 10 \mu A \Rightarrow U_G \rightarrow 0,083V \text{ (Kennlinie)}$$

$$\Rightarrow R_5 = \frac{0,083V}{20 \mu A} = 4,15 \Omega \Rightarrow R_5 = 4,42 \Omega$$

$$\text{Verstärkung } 30dB \Rightarrow R_3 = (V-1) \cdot R_5 = 30,6 \cdot 4,42 \Omega = 1355 \Omega$$

$$\Rightarrow R_3 = 120 \Omega + 15 \Omega$$

$$U_D = 6V ; U_G = 9V \Rightarrow \frac{R_7}{R_8} = \frac{6V}{9V - 6V} = 2$$

$$\Rightarrow R_7 = 2 \cdot R_8$$

$$\text{z.B. } \begin{cases} R_8 = 16 \Omega \\ R_7 = 470 \Omega \end{cases}$$

R_8 so justieren, dass an TP1 $\geq 0,1V$ DC

16.1.14 / Tom Baier DG8SAQ

Beim Aufbau müssen wir noch austesten, ob eine schwankende Versorgungsspannung (Batterie) toleriert werden kann. Bei den Blockzellen kann die Spannung zwischen 9,3V und 8V langsam schwanken - je nach Zustand der Batterie.

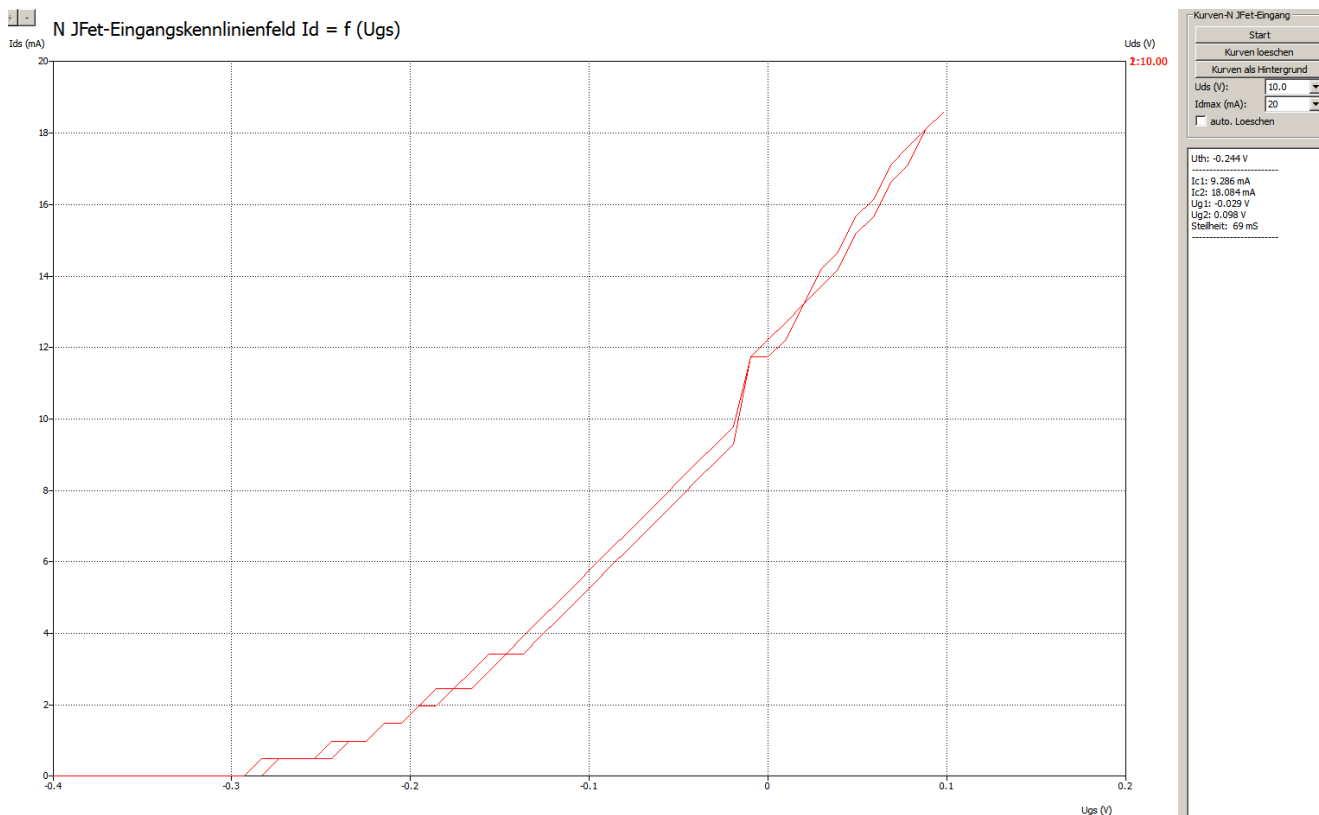
Ich werde den Verstärker mit einer positiven und einer negativen Versorgung aufbauen.

Alte Messung vor der Neujustierung des Kennlinienschreibers (reicht für die Selektion der 2SK369)

ObjNr	Uth	Ug1	Ic1	Ug2	Ic2	S
10	-0,166178	-0,009775	9,286413	0,136852	18,084066	0,06
14	-0,185728	-0,009775	10,26393	0,127077	18,572825	0,060714
3	-0,185728	-0,009775	10,752688	0,117302	18,572825	0,061538
17	-0,185728	-0,009775	10,752688	0,117302	18,572825	0,061538
5	-0,195503	-0,009775	11,241447	0,107527	18,572825	0,0625
12	-0,175953	-0,009775	9,775171	0,136852	19,061584	0,063333
13	-0,175953	-0,009775	9,775171	0,136852	19,061584	0,063333
1	-0,175953	0,009775	9,775171	0,146628	18,572825	0,064286
4	-0,185728	-0,009775	10,26393	0,127077	19,061584	0,064286
7	-0,166178	0,009775	9,775171	0,146628	18,572825	0,064286
8	-0,166178	0	9,775171	0,136852	18,572825	0,064286
9	-0,166178	0	9,775171	0,136852	18,572825	0,064286
11	-0,166178	0	9,775171	0,136852	18,572825	0,064286
18	-0,195503	-0,009775	10,752688	0,117302	19,061584	0,065385
2	-0,234604	-0,029326	9,775171	0,097752	18,572825	0,069231
6	-0,195503	-0,01955	9,286413	0,107527	18,084066	0,069231
15	-0,224829	-0,029326	9,775171	0,087977	18,572825	0,075
16	-0,205279	-0,01955	9,775171	0,097752	18,572825	0,075

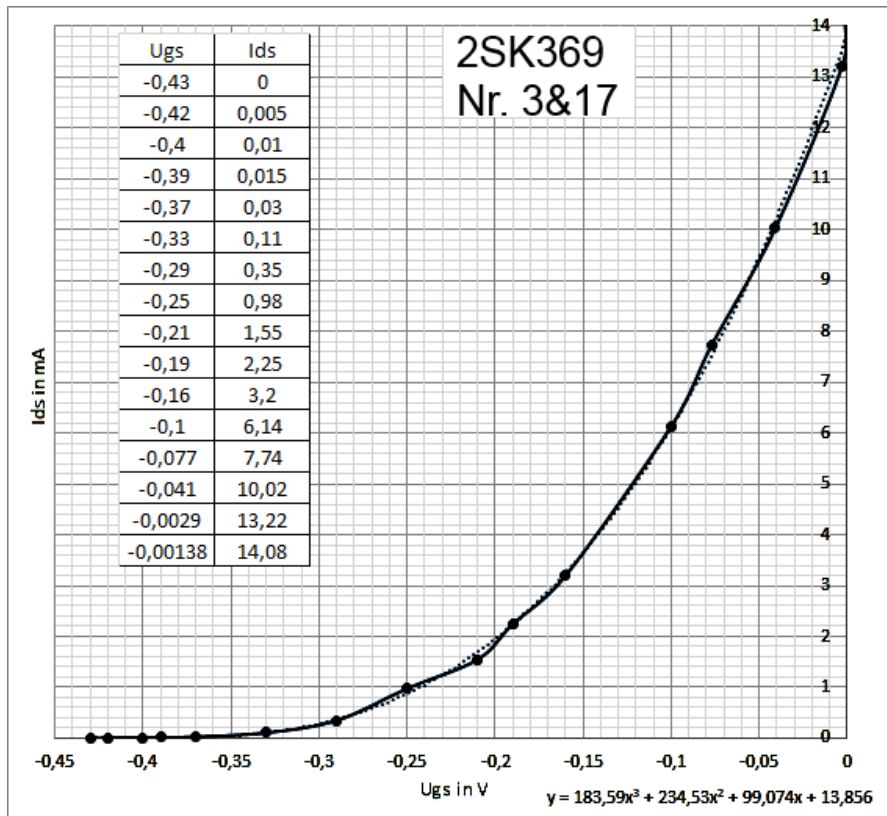
Aus der Liste wurden die FETs Nr. 3 & 17 ausgewählt und weiter vermessen.

Nachdem ich den Kennlinienschreiber neu justiert hatte, habe ich diese Kurve erhalten

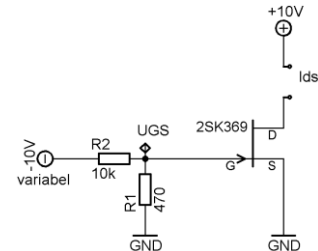


Am Diagramm lese ich einen V_{th} von knapp -0,29V ab.

Den Werten habe ich aber nicht so richtig vertraut und mein kleiner Hand-Transistortester (AS4002 MW Instruments) wurde ein Thresholdpunkt von $V_{th} = -0.40V$ gemessen.



Aufgrund der Abweichungen habe ich dann doch einen der FETs lieber mit der Hand vermessen.



Aus den Werten kann eine Steilheit von 63mS berechnet werden.

Die im Diagramm abgebildete Regressionskurve mit Gleichung sollte mir nur helfen die Steilheit leichter zu berechnen – sonst hat sie keine Sinn.

Letztlich hat sich gezeigt, dass bei diesen kleinen Spannungen der große Transistortester überfordert ist.

Wo würdet ihr den Thresholdpunkt im Bereich $V_{th} = -0,43$ bis $-0,40V$ genau setzen?

Als Steilheit errechne ich 63mS.

Wenn man als $V_{th} = -0,42V$ ansetzt: Bei einem $I_{ds}=10mA$ pro FET $\rightarrow U_g=-0,048V$

Ist dann ein $R_5=2,4\ \Omega$ nicht viel zu niedrig?

Wenn man als $V_{th} = -0,42V$ ansetzt: Bei einem $I_{ds}=9mA$ pro FET $\rightarrow U_g=-0,057V \rightarrow R_5 = 3,17\ \Omega$

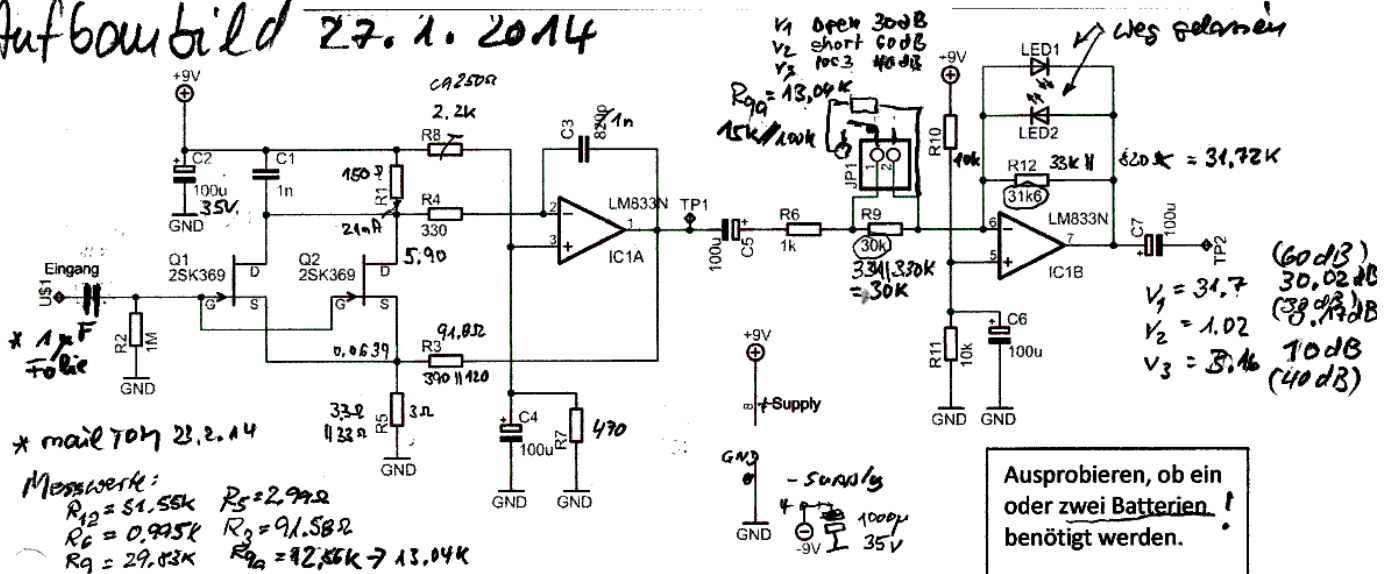
Wenn man als $V_{th} = -0,42V$ ansetzt: Bei einem $I_{ds}=8mA$ pro FET $\rightarrow U_g=-0,072V \rightarrow R_5 = 4,5\ \Omega$

Standartwerte sind 3,3 Ω und 3,9 Ω und 4,7 Ω .

2.1 Berechnungen des Wenzelverstärker für $G=+40\text{dB}$

Diese Berechnungen hat Eric durchgeführt

Aufbau bild 27.1.2014



* mail 707 23.2.14

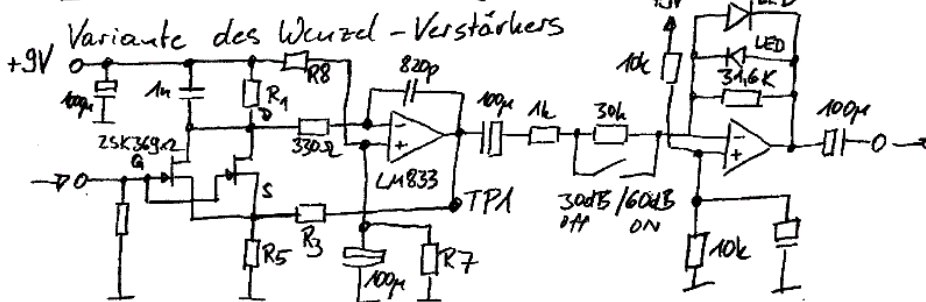
Messwerk:

$$R_{12} = 51,55k \quad R_5 = 2,99k$$

$$R_6 = 0,975k \quad R_3 = 91,58k$$

$$R_9 = 29,83k \quad R_{90} = 92,55k \rightarrow 13,04k$$

LNA für Rauschmessung:



$$I_D = 2 \times 10\mu A \quad ; \quad U_D = 6V \rightarrow R_D = \frac{9V - U_D}{I_D} = \frac{3V}{20\mu A} = 150\Omega \checkmark$$

$$\Rightarrow R_1 = 150\Omega$$

$$\text{Pro FET: } I_D = 10\mu A \Rightarrow U_G = -0,083V \quad (* -0,06 \text{ (Kennlinie)})!$$

$$\Rightarrow R_5 = \frac{0,083V}{20\mu A} = 4,15\Omega \quad \pm 3,0\Omega$$

$$\Rightarrow R_5 = 4,42\Omega \quad R_5 = 3\Omega$$

$$\text{Verstärkung: } 30\text{dB} \Rightarrow R_3 = (V-1) \cdot R_5 = 30,6 \cdot 4,42\Omega = 135\Omega$$

$$\Rightarrow R_3 = 120\Omega + 15\Omega \quad R_3 = 91,8\Omega$$

$$U_D = 6V \quad ; \quad U_B = 9V \Rightarrow \frac{R_7}{R_8} = \frac{6V}{9V - 6V} = 2$$

$$\Rightarrow R_7 = 2 \cdot R_8$$

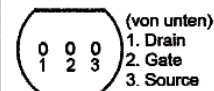
$$\text{z.B. } R_8 = 1k\Omega \rightarrow R_7 = 470\Omega \checkmark$$

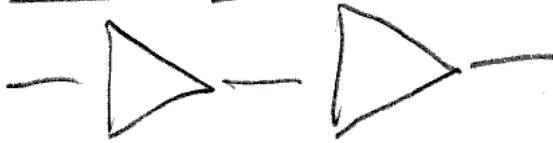
R_8 so justieren, dass an TP1 $\geq 0,1V$ DC \approx

16.1.14 / Tom Baier DG8SAQ

Ausprobieren, ob ein oder zwei Batterien! benötigt werden.

2SK369



Berechnung 2. te Verstärkung 26.2.14

$$|V_1| = \left(1 + \frac{91.5}{3}\right)$$

$$|V_1| = 31.6$$

$$V_{1dB} = 29.9$$

$$\approx 30dB$$

$$|V_2| = R_{12} / R_9$$

$$\textcircled{1} |V_2| = 31.6$$

$$V_{2dB} = 30dB$$

$$\rightarrow |V_g| = 60dB \quad 1000$$

$$\textcircled{2} |V_2| = 1.02$$

$$\rightarrow |V_g| = 30dB \quad 31.6 \times 1$$

$$\textcircled{3} |V_2| = 3.16$$

$$V_{2dB} = 10dB$$

$$|V_g| = 40dB \quad 31.6 \times 3.16$$

$$30+10dB \quad \approx 100$$

$$V_g = \frac{V_1}{V_2} \cdot V_2$$

$$V_g = 31.6 \cdot 3.16$$

$$V_2 = \frac{R_{12}}{R_6 + R_9 \parallel R_x} ; R_5 = \frac{R_9 \cdot R_x}{R_9 + R_x} ;$$

$$R_g (R_g + R_x) = R_9 \cdot R_x$$

$$R_g \cdot R_g + R_x \cdot R_g = R_9 \cdot R_x$$

$$R_g \cdot R_g = R_x (R_9 - R_g)$$

$$R_x = \frac{R_g \cdot R_9}{R_9 - R_g}$$

$$V_2 = \frac{R_{12}}{R_6 + \frac{R_9 \cdot R_x}{R_9 + R_x}} = \frac{R_{12} (R_9 + R_x)}{R_6 (R_9 + R_x) + R_9 \cdot R_x}$$

$$V_2 [R_6 (R_9 + R_x) + R_9 \cdot R_x] = R_{12} (R_9 + R_x)$$

$$V_2 R_6 R_9 + V_2 R_6 R_x + V_2 R_9 R_x = R_{12} R_9 + R_{12} R_x$$

$$R_x (V_2 R_6 + V_2 R_9 - R_{12}) = R_{12} R_9 - V_2 R_6 R_9$$

$$R_x = \frac{R_{12} R_9 - V_2 R_6 R_9}{V_2 (R_6 + R_9) - R_{12}}$$

$$= \frac{31.6k \cdot 30k - 3.16 \cdot 1k \cdot 30k}{3.16 (31k) - 31.6k}$$

$$66.36k$$

$$R_x = 12.86k$$

$$13.04k \quad 100k \quad 15k$$

$$V_g = 31.6 + V_2$$

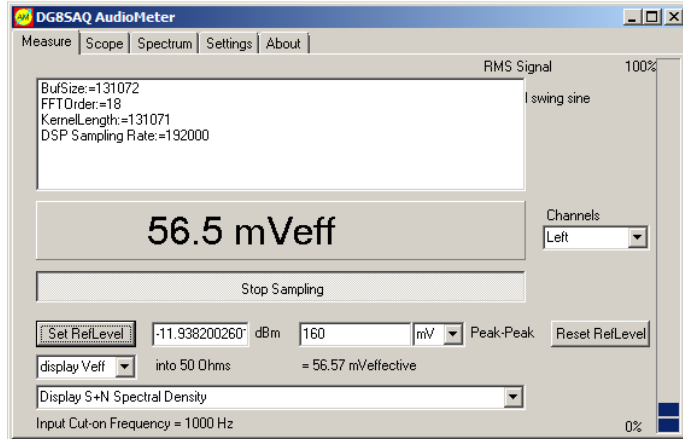
$$R_g = \frac{30k \cdot 13.04k}{30k + 13.04k} = 9.09k$$

$$V_g = 3.13 \quad \text{statt } 3.16 \quad \Delta = 1\%$$

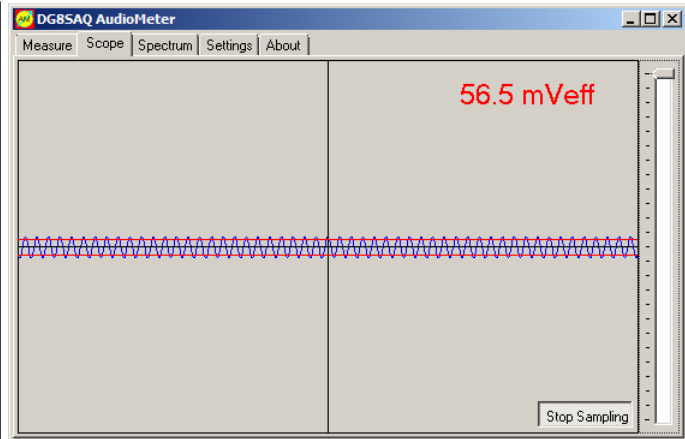
$$V_2 = 99$$

2.2 Messungen am eigenen Wenzelverstärker

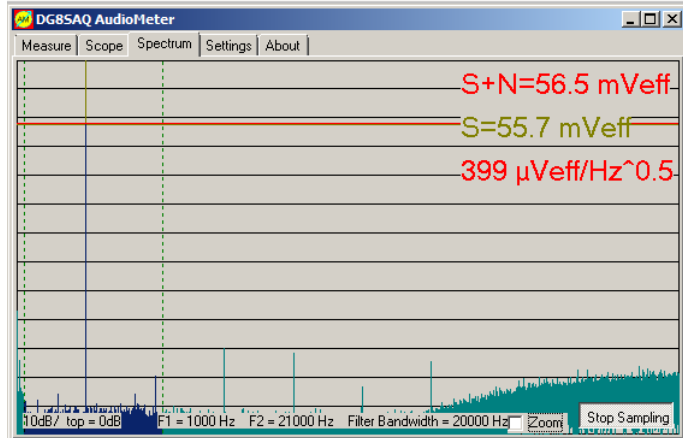
Soundkarte mit 160mVss kalibriert



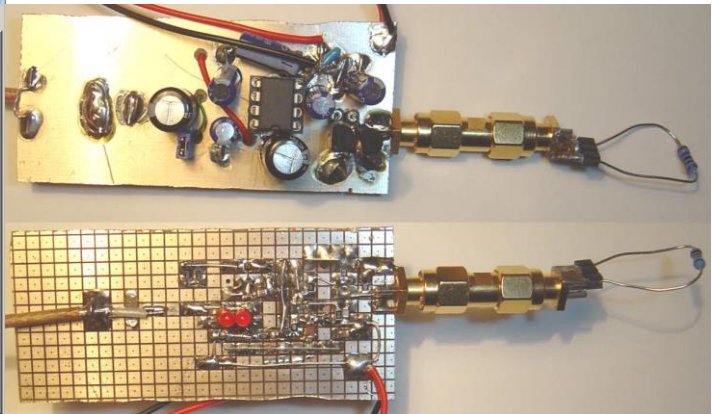
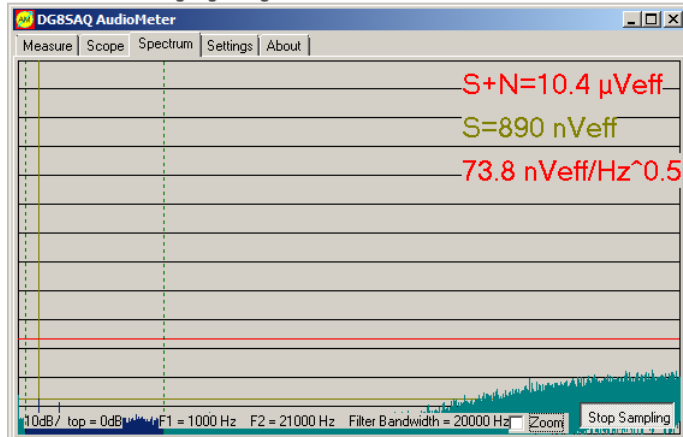
Soundkarte mit 160mVss kalibriert



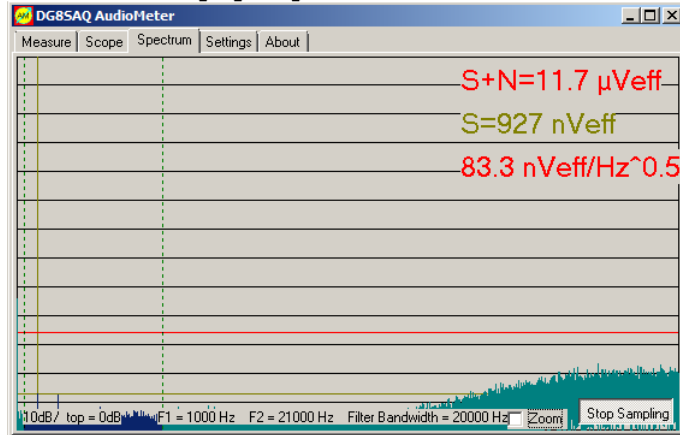
Soundkarte mit 160mVss kalibriert



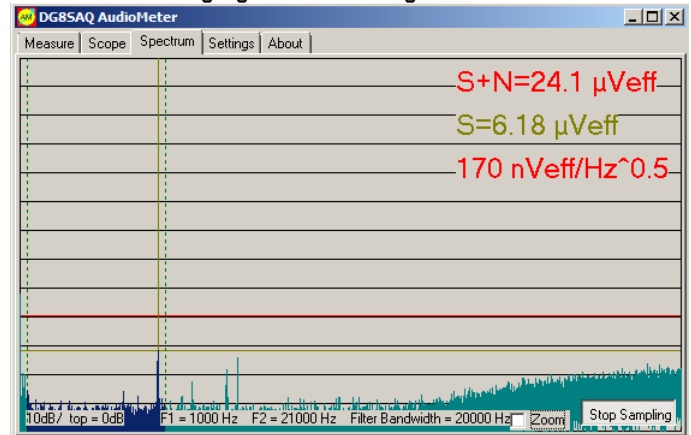
Soundkarte am Eingang kurzgeschlossen



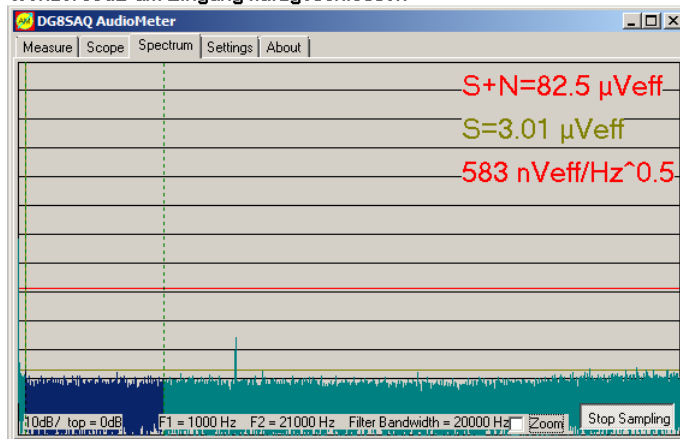
Wenzel 30dB am Eingang kurzgeschlossen



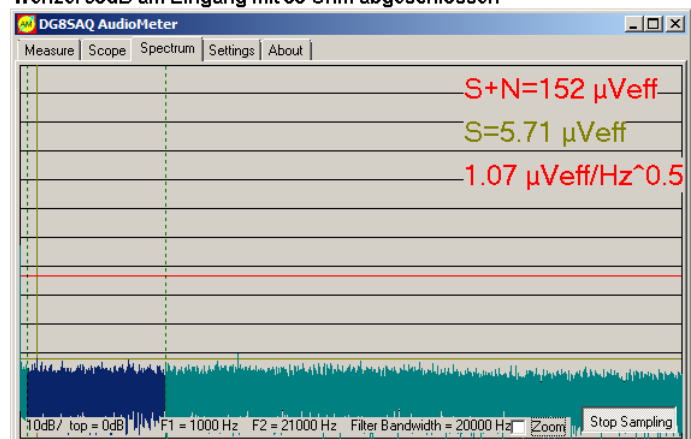
Wenzel 30dB am Eingang mit 1000 Ohm abgeschlossen



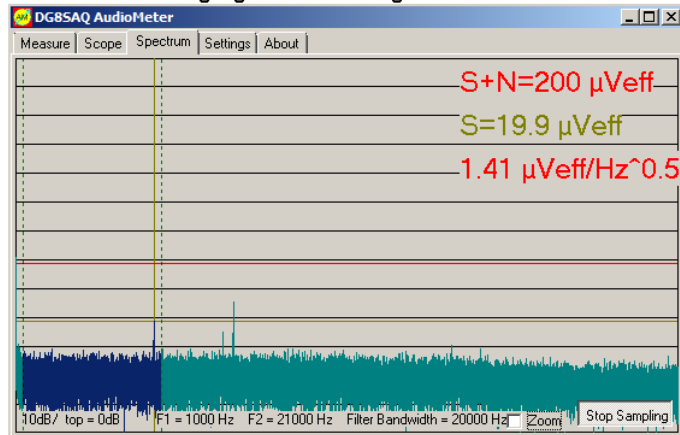
Wenzel 60dB am Eingang kurzgeschlossen



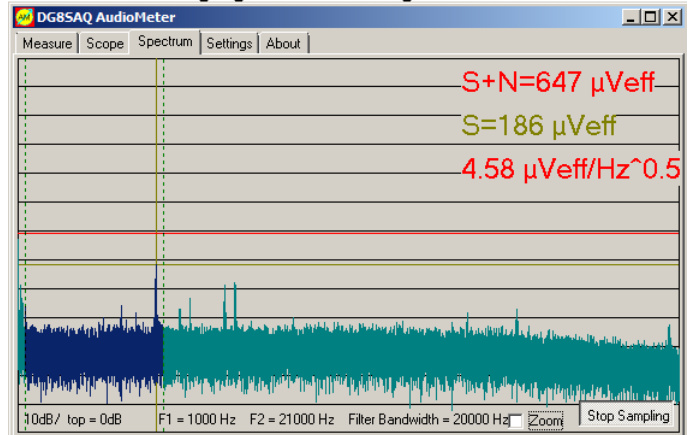
Wenzel 60dB am Eingang mit 50 Ohm abgeschlossen



Wenzel 60dB am Eingang mit 100 Ohm abgeschlossen



Wenzel 60dB am Eingang mit 1000 Ohm abgeschlossen



Nun habe ich genau wie Thomas versucht das Eingangsrauschen des Wenzel-Verstärkers zu berechnen. Ich messe aber durch beide Stufen (d.h. $60\text{dB} \triangleq \text{Faktor } 1000$)

Spannungsregler: Historie - Messanordnung – Betaversuche

Jörn DK7JB mail@dk7jb.de

Thomas:

Abschätzung des Eingangsrauschens des Wenzelverstärkers:

Jörn: Bei mir
Wenzel 60dB

Tatsächliches Rauschen am Ausgang:

$$U_{Aus,eff} = \sqrt{44,3^2 - 40^2} \frac{nV}{\sqrt{Hz}} = 19 \frac{nV}{\sqrt{Hz}}$$

Umgerechnet auf den Eingang:

$$U_{Ein,eff} = 19 \frac{nV}{\sqrt{Hz}} / 31,5 = 0,6 \frac{nV}{\sqrt{Hz}}$$

Angaben von Wenzel:

0.6 nV/ Hz Floor**1.5 nV at 10 Hz**

$$\sqrt{583^2 - 738^2} \frac{nV}{\sqrt{Hz}}$$

$$= 578,3 \frac{nV}{\sqrt{Hz}}$$

Umgerechnet auf Eingang
60dB $\hat{=}$ Fehler 1000 \Rightarrow Wenzels Angaben scheinen bis auf die falschen Einheiten zu stimmen!

$$U_{Ein,eff} = 578,3 \frac{nV}{\sqrt{Hz}} / 1000$$

$$= \underline{\underline{0,58 \frac{nV}{\sqrt{Hz}}}}$$

Rauschen von Widerständen

$$50 \text{ Ohm} \triangleq 0,9 \frac{nV}{\sqrt{Hz}}$$

$$100 \text{ Ohm} \triangleq 1,3 \frac{nV}{\sqrt{Hz}}$$

$$1000 \text{ Ohm} \triangleq 4 \frac{nV}{\sqrt{Hz}}$$

Damit das Rauschen der Widerstände bestimmt werden kann, muss vom Gesamtrauschen das Rauschen des Verstärkers abgezogen werden. Leider fange ich mir noch einige Störspitzen ein, die die Messung etwas verfälschen

Verwendet wird der Wenzelverstärker mit 60dB Verstärkung.

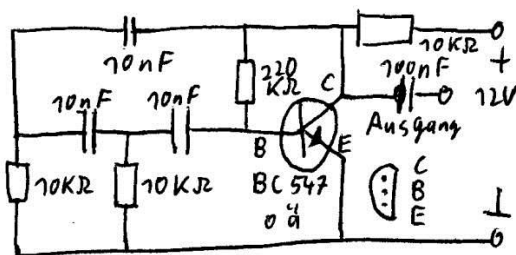
0dB Rauschen hinter Verstärker mit korrigiertem Eingang

$$U_{50\Omega} = \frac{\sqrt{1070^2 - 583^2}}{1000} = 0,90 \frac{nV}{\sqrt{Hz}} \approx 0,90 \frac{nV}{\sqrt{Hz}} \text{ (Theorie)}$$

$$U_{100\Omega} = \frac{\sqrt{1410^2 - 583^2}}{1000} = 1,28 \frac{nV}{\sqrt{Hz}} \approx 1,3 \frac{nV}{\sqrt{Hz}} \text{ (Theorie)}$$

$$U_{1k\Omega} = \frac{\sqrt{4580^2 - 583^2}}{1000} \frac{nV}{\sqrt{Hz}} = 4,54 \frac{nV}{\sqrt{Hz}} \approx 4 \frac{nV}{\sqrt{Hz}} \text{ (Theorie)}$$

Hier der geplante Kalibriergenerator: (rund 1kHz) (Schaltungsdimensionierung stammt aus dem Netz)

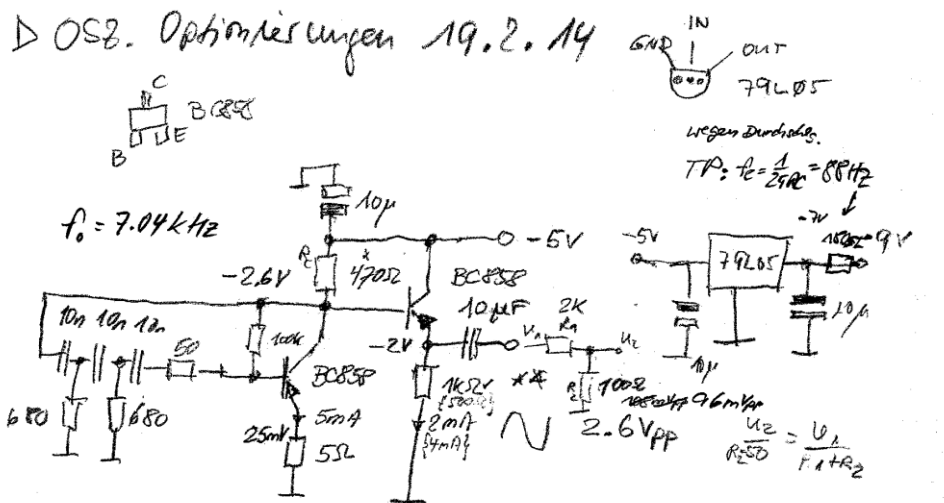


Er soll einen kleinen Spannungsregler bekommen und dann mit 5 oder 6 Volt betrieben werden. Ein Spannungsteiler am Ausgang fehlt auch noch. Ich plane ein Ausgangssignal von 0,1 bis 0,2 Vss an. Die Spannungsversorgung soll dann einfach mit einem Jumper zugeschaltet werden können. Eine SMA-Buchse soll das Signal dann aus dem Weißblechgehäuse herausführen.

QUELLENANGABE FEHLT <<<<<-----

2.3 NF-Referenzoszillator

Eric hat einen NF-Referenzoszillator nach dem Phasenschieber-Prinzip dimensioniert. Das folgende Bild zeigt seinen Aufbau.



$$I_B = \frac{39 \cdot I_C}{\beta} = \frac{195 \text{ mA}}{\beta}$$

$$f_0 \approx 7 \text{ kHz} \quad 100 \text{ nF} \quad X_C = 227 \Omega$$

$$10 \text{ nF} \quad X_C \approx 2.3 \text{ k}\Omega$$

$$10 \text{ pF} \quad X_C = 2.2 \Omega$$

* 600ms Wärm. 424 Ω

! $R_C = 470 \parallel 4.7 \text{ k}\Omega$

AC ist auf Ampl. optimiert bei

Wird R_C 470 Ω des Fall ist

Min Oberwellen $\approx 424 \Omega$

** bei $\approx 1.5 \text{ k}\Omega$ Last tritt "clipping" ein!

bei des oberen HAU

$$\frac{U_2}{R_2} = \frac{U_1}{R_1 + R_2} \quad U_2(R_1 + R_2) = U_1 \cdot R_2$$

$$U_2 \cdot R_1 = U_1 \cdot R_2 - U_2 \cdot R_2 = R_2(U_1 - U_2) = 1033 \Omega$$

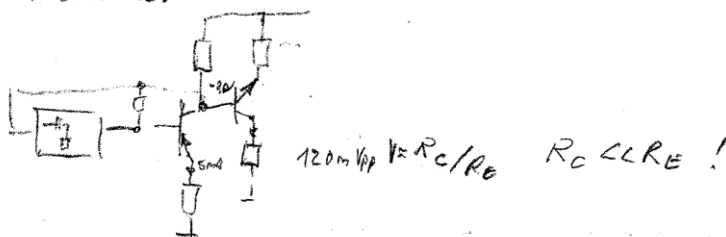
$$\approx 1 \text{ k}\Omega \rightarrow \{2 \text{ k}\}$$

$$P_{\text{Q10}} = -35.17 \text{ dBm} \quad \Delta = 20 \text{ dB} \cdot \frac{1}{4}$$

$$P_{\text{dB}} = 20 \cdot \lg \frac{U_2}{U_1} \quad U_{\text{mW}} = \frac{U^2}{R_{\text{L}}} \Rightarrow U = \sqrt{\frac{1 \text{ mW} \cdot 50}{50 \text{ m}\Omega}} = 0.224 \text{ V} \rightarrow 2 \cdot \sqrt{2} = 0.632$$

$$\approx 20 \cdot \lg \frac{108}{632} = -15.34 \text{ dBm}$$

Alternative:



$$R_2 = 99.8 \Omega \quad R_1 = 2.200 \text{ k}\Omega \quad \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 43.4284 \cdot 10^{-3}$$

$$R_{\text{sig}} \approx 2.38 \text{ Vpp} \dots 2.40 \text{ Vpp}$$

$$\ast \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 0.10336 \dots 0.10425 \dots 0.10510 \quad \} @ 100 \Omega$$

$$H_{\text{max}} = 2.39 \rightarrow 0.10379$$

Spannungsregler: Historie - Messanordnung – Betaversuche

Jörn DK7JB mail@dk7jb.de

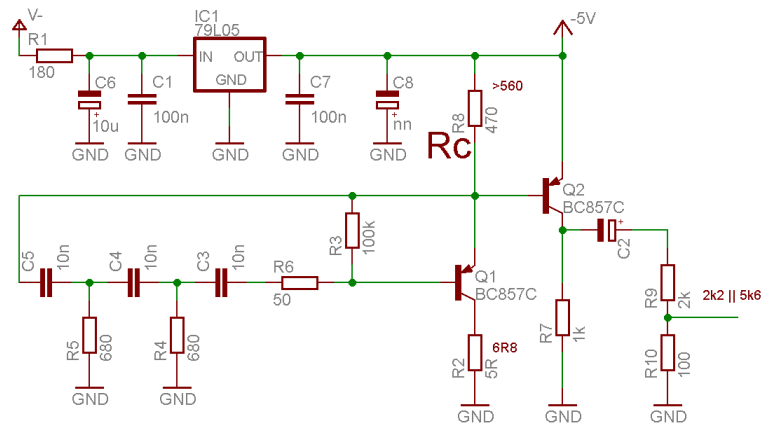
Bei mir hat anfangs die obere Halbwelle geclippt. Der Emitterwiderstand des ersten Widerstandes wurde auf 6,8 Ohm vergrößert und mit Rc gespielt. Die erste Oberwelle tritt erst mit 40dB Abschwächung auf. Der Spannungsteiler wurde so angepasst, dass ich einen Pegel von 95mVss erhalte.

Eric und ich verwenden Widerstände um die Genauigkeit der gesamten Messordnung zu überprüfen. Mit Widerständen von 4,7 Ohm bis 22k Ohm erhalte ich einen Fehler von besser als 1%. Erst bei 100k Ohm steigt der Fehler auf fast 10 % an. Bei kleinen Widerständen muss die "Spectrum Time Constant" auf 10s gestellt werden. Was will man mehr

Nun geht es weiter mit der Vermessung des Spannungsregler-Rauschens (s. nächstes Kapitel).

---- >>> Diese Aussage gilt nur für die Programmversion 3.1. Die Version 3.5.1 hat leider einen Bug, der noch gefunden werden muss. Bei der fehlerhaften Version beträgt der Fehler immer rund 10%!

Hier noch die eigene Zeichnung der Schaltung. Vielleicht brauche ist sie noch.



Hier noch ein Screenshot von meinem Excel-Sheet zur Berechnung:

Hilfsprogramm zum Audiometer 3 von DG8SAQ

Hier geht es um NF-Rauschmessungen an Spannungsreglern und Widerständen

Jörn DK7JB Feb. 2014

Nur die gelben Felder dürfen verändert werden

Widerstandsrauschen

Widerstand: 4,6 Ohm
 Temperatur in °C: 20 °C
 Boltzmannkonstante: 1,38065E-23 J/K

thoretischer Wert:

Widerstandsrauschen
 0,273 uVeff/Hz^{0,5}

$$\frac{U_{eff}}{\sqrt{\Delta f}} = \sqrt{4kTR}$$

Beispiele:

$$T = 300K \quad R = 50\Omega \Rightarrow \frac{U_{eff}}{\sqrt{\Delta f}} = 0,9nV / \sqrt{Hz}$$

$$T = 300K \quad R = 1k\Omega \Rightarrow \frac{U_{eff}}{\sqrt{\Delta f}} = 4nV / \sqrt{Hz}$$

$$T = 300K \quad R = 1M\Omega \Rightarrow \frac{U_{eff}}{\sqrt{\Delta f}} = 130nV / \sqrt{Hz}$$

Rauschen mit dem Wenzelverstärkers gemessen

kurzgeschlossener Eingang: 0,593 uVeff/Hz^{0,5}
 Mit Widerstand am Eingang: 0,654 uVeff/Hz^{0,5}

gemessener Wert:

0,276 uVeff/Hz^{0,5}

Fehler:

1,04 %

berechneter Widerstand

4,7 Ohm

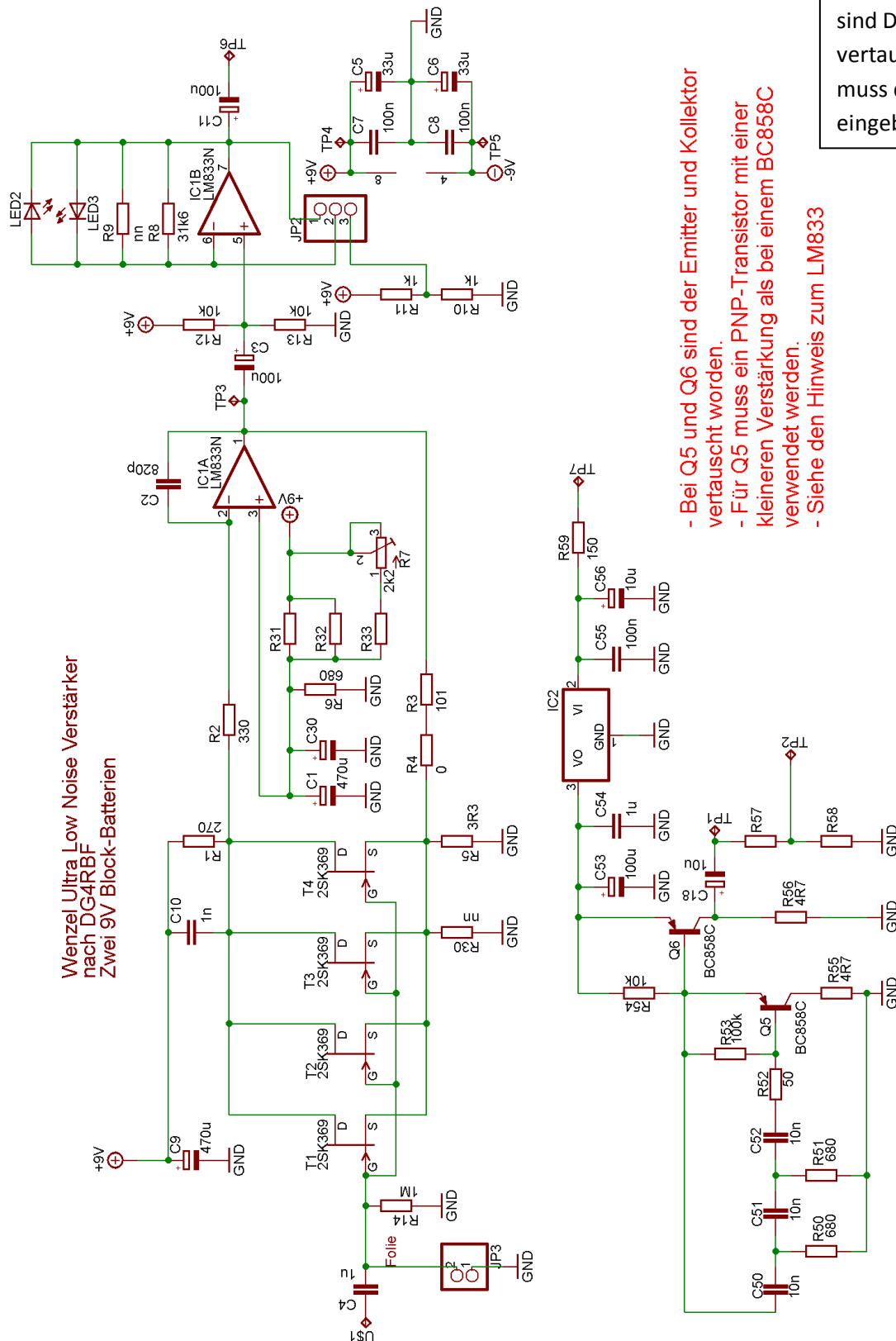
Meine Messwiderstände:

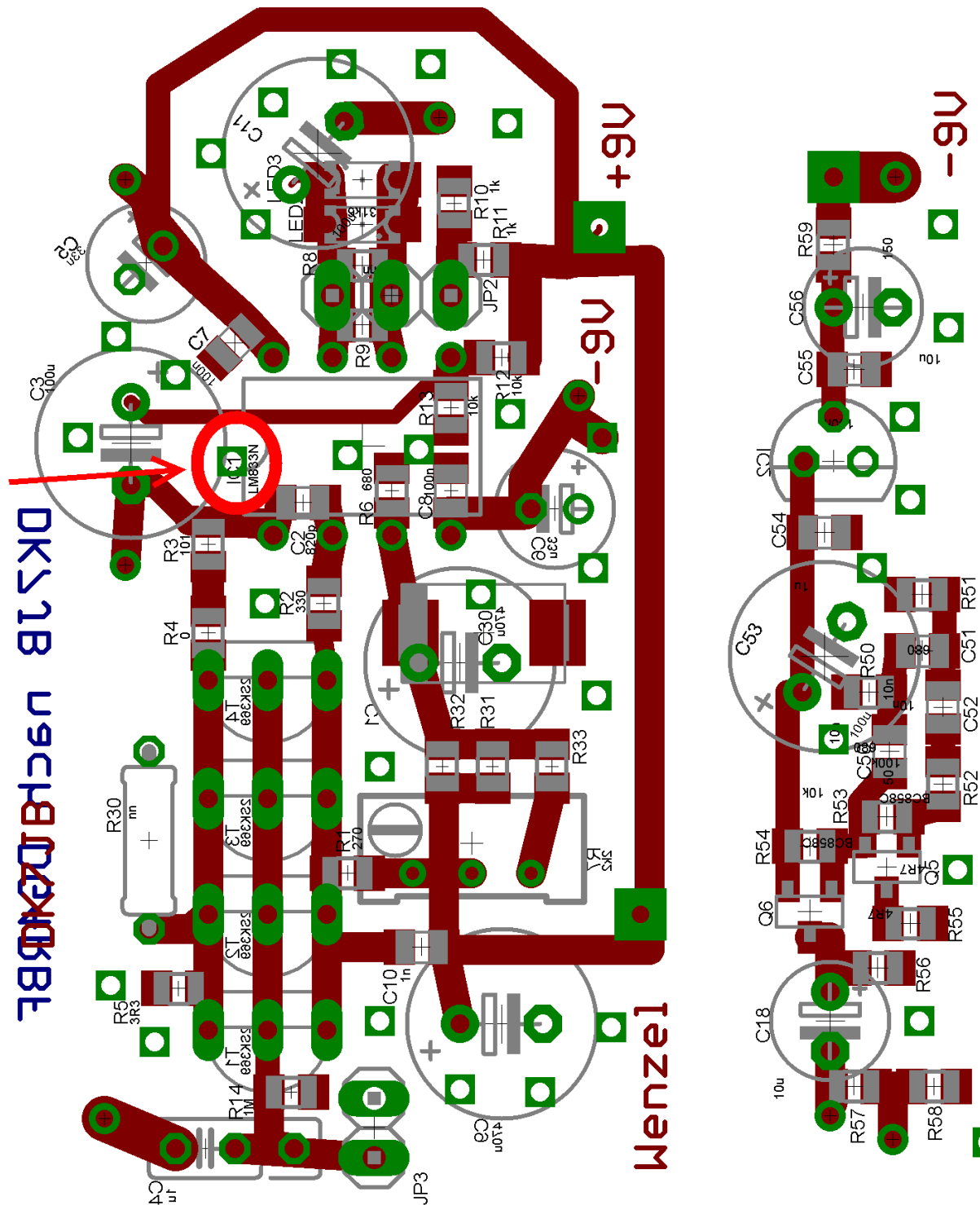
- 4,6 Ohm
- 9,9 Ohm
- 98,4 Ohm
- 467,7 Ohm
- 994 Ohm
- 21880 Ohm
- 99820 Ohm

Hinweis: Bei der EMU-Soundkarte muss der Schieberschalter für den Grund-Lift nach außen zeigen, um das geringste Rauschniveau zu erzielen.

2.4 Neuaufbau 2 des Wenzelverstärkers

Ich habe den Wenzelverstärker neu aufgebaut. Leider haben sich hier einige Fehler eingeschlichen. Letztlich konnten aber alle Fehler ausgeglichen werden.





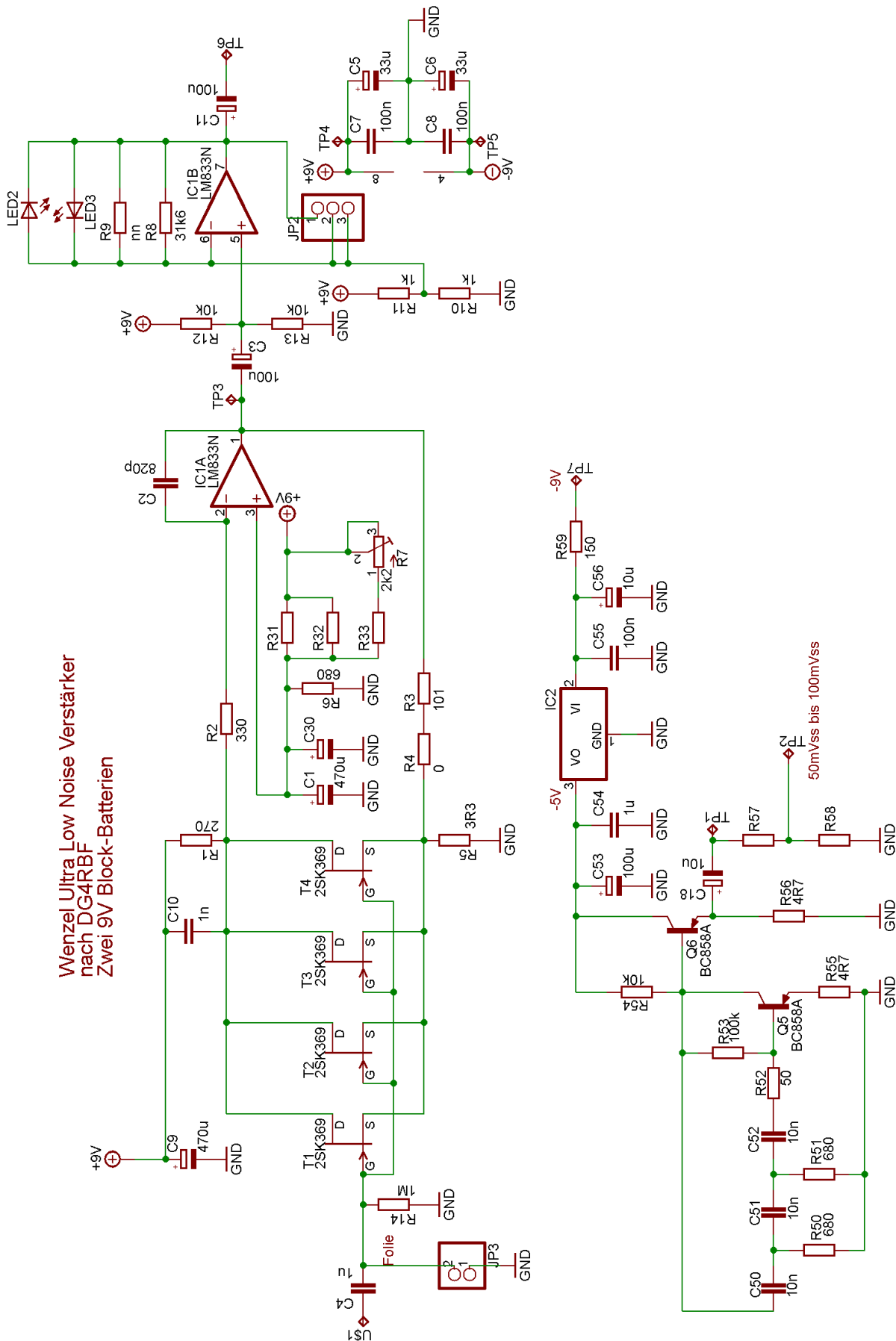
Es hat sich noch ein Fehler eingeschlichen. Eigentlich müsste der LM833 auf der SMD-Seite aufgelötet werden. Das macht natürlich keinen Sinn –arrrrrg. Alle bedrahteten Bauteile werden auf der Nicht-SMD Seite aufgelötet – auch die Fassung für den LM833. Wenn man bei dem IC die Beine auf die andere Seite biegt und dann das SMD in die Fassung steckt, passt es wieder. Das IC zeigt dann mit der beschrifteten Seite zur Platine – Beine um 180° „umklappen“.

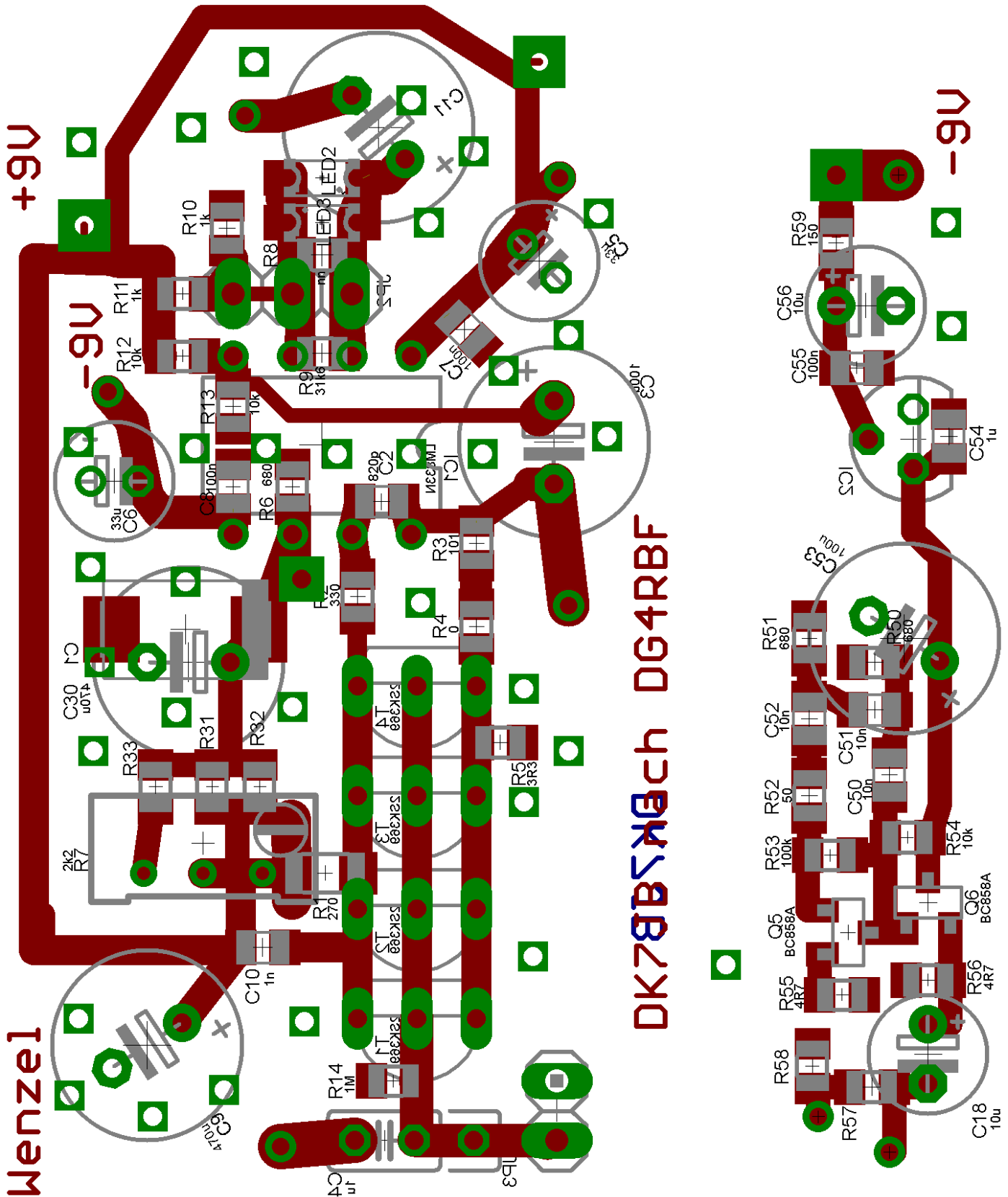
Außerdem steckt in der Library des 2SK369 ein weiterer Fehler. Source und Drain wurden verdreht. Durch drehen der FETs kann auch dieses Problem beseitigt werden – also genau anders herum, als im obigen Layout.

2.5 Neuaufbau 3 des Wenzelverstärkers

Da ich mit dem eben beschriebenen fehlerhaften Layout so viel experimentiert habe, dass es beginnt sich aufzulösen, habe ich ein neues Layout erstellt. In Kapitel 2.1 auf Seite 10 findet ihr die Berechnung.

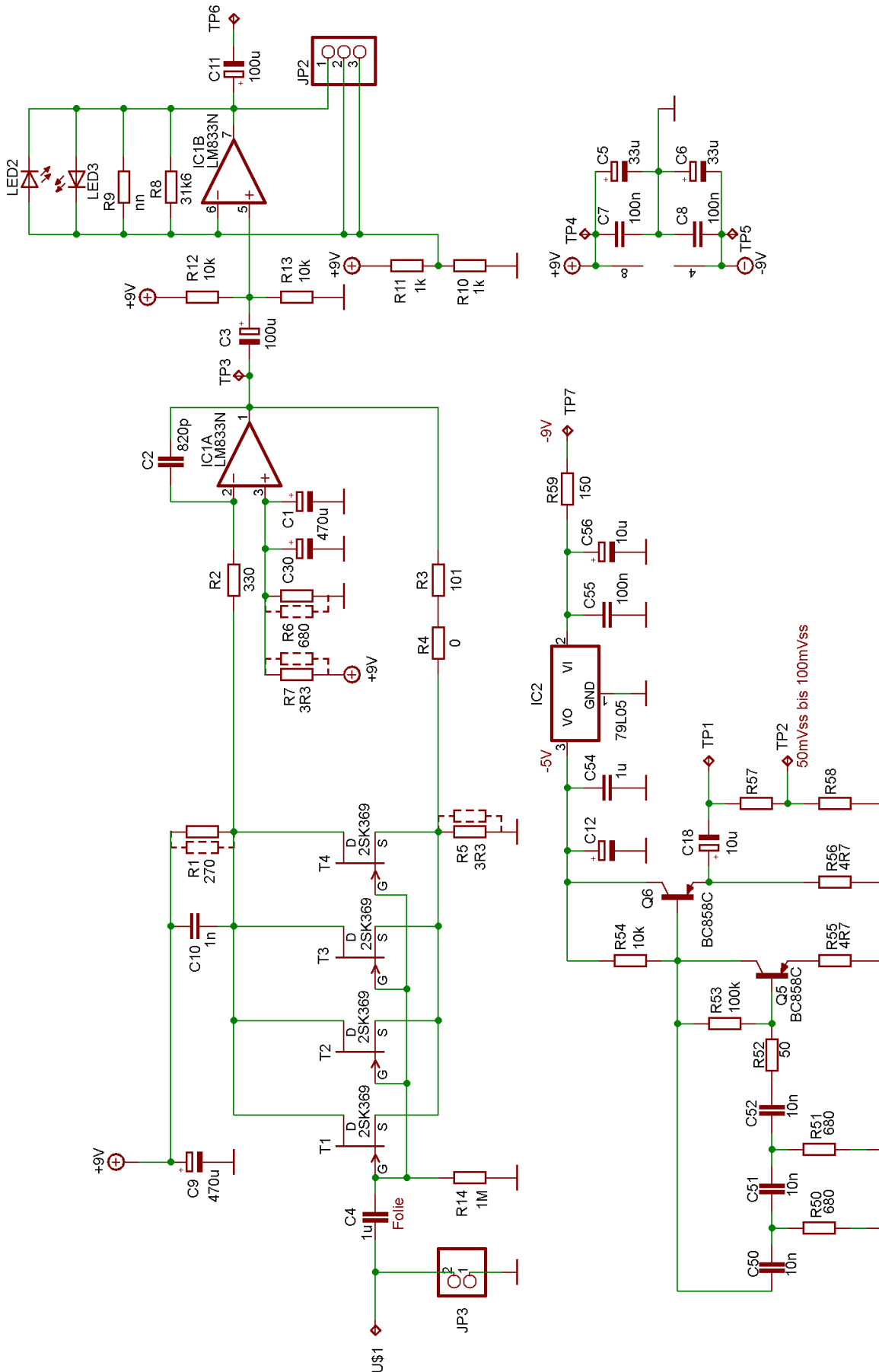
R5 und R3/R4 bestimmen die Verstärkung. Ich empfehle die Bauteilwerte von Bernd aus seinem Ultra-Wenzel.

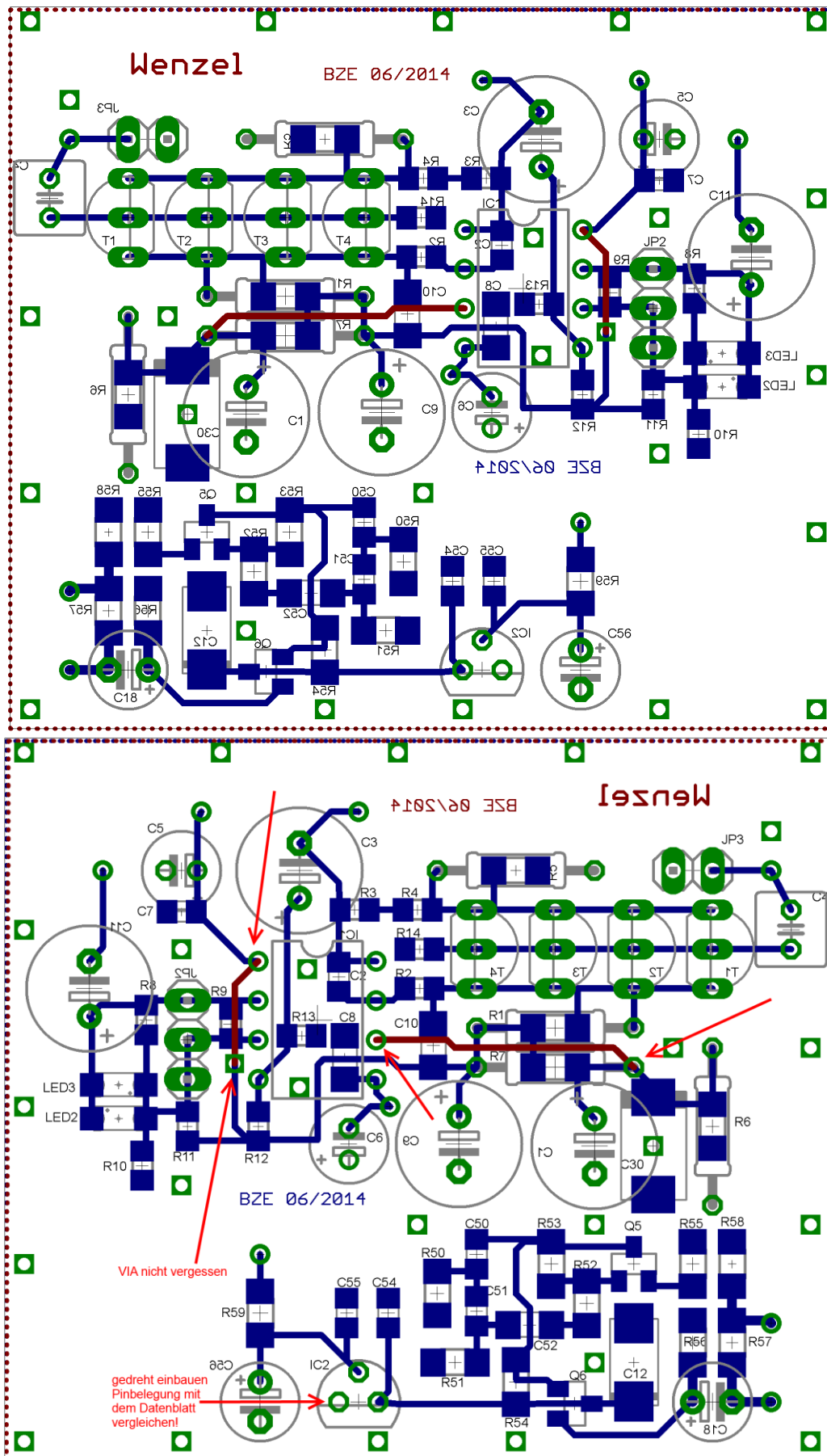




2.6 Neuaufbau 4 des Wenzelverstärkers – Entwurf von Dietmar

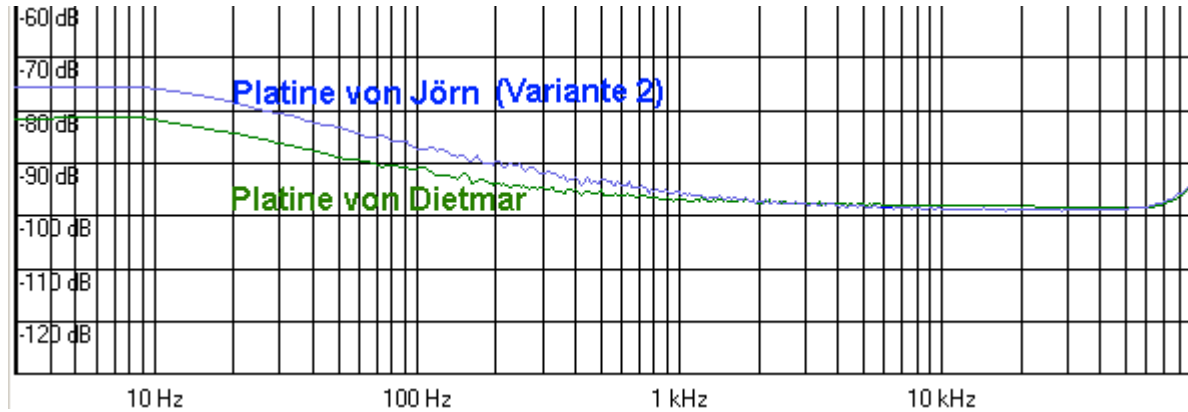
Hier der Entwurf von Dietmar.



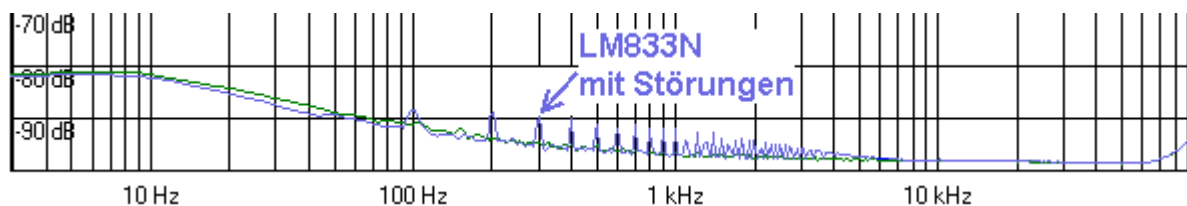


2.6.1 Erfahrungen mit den Aufbauten

Hier ein Vergleich von dem Aufbau von meiner 2. Variante mit dem Entwurf von Dietmar. Leider sind die Ergebnisse nicht so gut die von Bernd.



Einer meiner LM833 hat komische Störungen produziert. Andere ICs erzeugen diese Störungen nicht. Vielleicht sollte man mal unterschiedliche Hersteller ausprobieren.



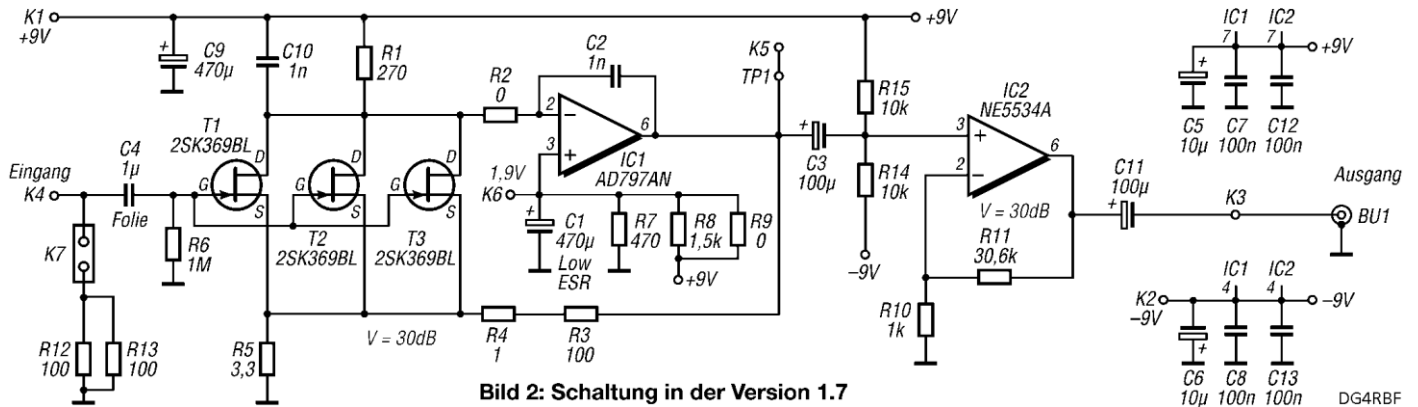
2.6.2 Hinweise zum Aufbau

Die Angaben beziehen sich auf den Schaltplan von Dietmar:

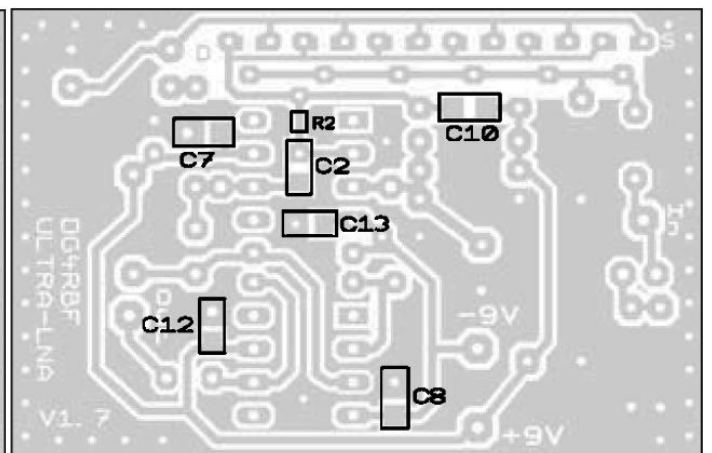
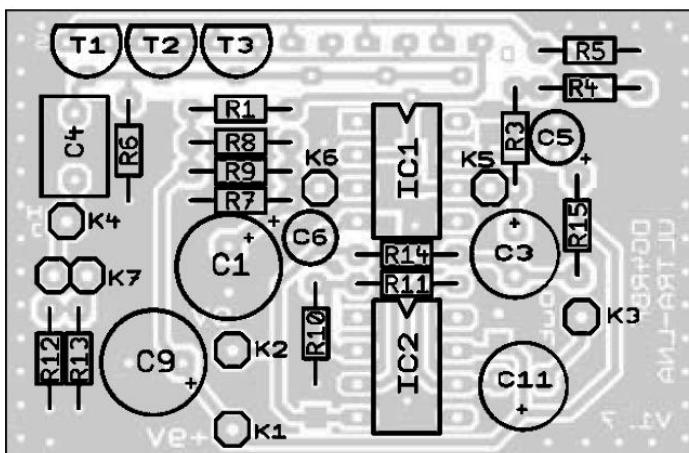
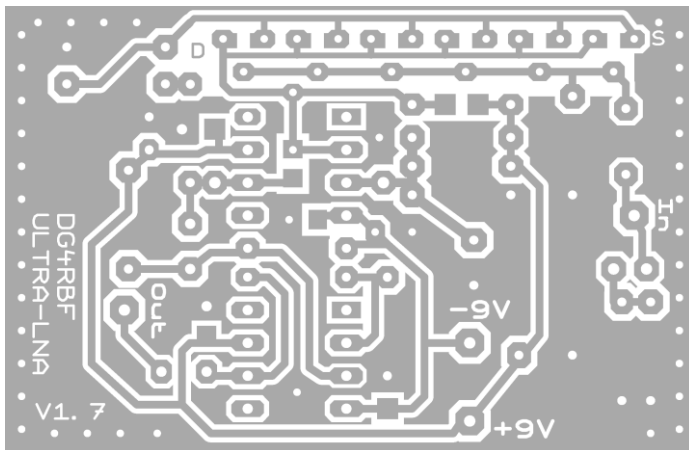
- R54 von 10 k auf 750 Ohm, Arbeitspunkt, Kurvenform und Amplitude, recht einflußreich!
 - R56 von 4R7 auf 4k7 (Drag&Drop-Fehler, Guttengergeffekt ;-)
 - R58 von 1k0 auf 240 Ohm, Pegelanpassung etwa 100 mV eff. Sinus
 - Als Transistoren hat Dietmar BCW61A (Marking BA) verwendet, weil sie gerade zur Hand waren. Der Type der Transistoren ist ziemlich egal, nur halt PNP
 - **Der Kurzschlussjumper JP3 muss auf der anderen Seite des Kondensators C4 angelötet werden.** Mit dem Teppichmesser und einem kurzen Draht aber kein Problem.
- Ich (Jörn) halte diesen Kurzschlussjumpers beim Anschließen eins Messobjektes manchmal für notwendig, damit keine Spannungsspitzen den Verstärker stören.

3 Die aktuelle Messanordnung – die beste Version

Das folgende Bild zeigt den sehr rauscharmen und linearen 60 dB Wenzel-Verstärker von 10Hz bis 100kHz. Wir verwenden ihn um das Rauschen von Spannungsreglern und in einer leichten Abwandlung auch in unserem Phasenrauschmessplatz. Bernd DG4RBF beschreibt diesen Verstärker sehr vollständig in der Zeitschrift [FUNKAMATEUR 10/2015 S.1076](#). Alle Schaltbilder und Messungen in diesem Kapitel sind diesem Artikel entnommen. Für einen Nachbau empfehle ich die Lektüre.



Für vier selektierte FETs ist für R1 220 Ohm zu wählen. Mit R8 wird an TP1 eine Spannung von -0,4 bis 0V eingestellt. Die unterschiedlichen Steilheiten der FETs werden so berücksichtigt.



Spannungsregler: Die aktuelle Messanordnung – die beste Version

Jörn DK7JB mail@dk7jb.de

Die Software Audiometer von Thomas DG8SAQ findet ihr hier: <http://www.dg8saq.darc.de/AudioMeter/index.shtml>

Als Soundkarte verwende ich die EMU 0204 USB. Eingestellt wird sie auf 22bit, 192 kHz,...

Nach der Installation muss kalibriert mit einem Sinus-Signal werden.

Die Funktion lässt sich sehr einfach mit Widerständen kontrollieren. Wird der Eingang kurzgeschlossen erhält man das Grundrauschen des Verstärkers. Werden Widerstände vermessen, wird das thermische Rauschen gemessen.

Vermessener Widerstand	Rauschleistungsdichte
1000 Ohm	4070 nV/Hz ^{0,5}
50 Ohm	980 nV/Hz ^{0,5}
0 Ohm	410 nV/Hz ^{0,5}

Kontrolle der richtigen Funktion: Messen des thermischen Rauschen von Widerständen

1000Ω Widerstand = 4070 nV_{eff}/√Hz

50Ω Widerstand = 980 nV_{eff}/√Hz

0Ω Widerstand = 410 nV_{eff}/√Hz (Eigenrauschen des Verstärkers)

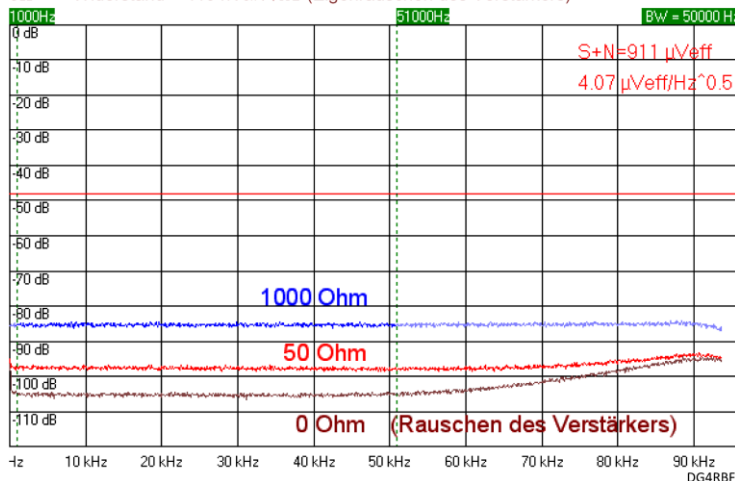


Abbildung 3-1: Kontrollmessung mit Widerständen. Siehe FA 10/2015 S.1078



Abbildung 3-2: Frequenzgang mit einem FET-Tastkopf von Bernd gemessen. Siehe FA 10/2015 S.1078

Eigene Messungen an einer frühen Beta-Version von mir befinden sich in Kapitel 2.2 auf Seite 12.

Rechnung: Von der gemessenen Rauschspannungsdichte des Widerstandes muss das Grundrauschen abgezogen werden $\sqrt{4070^2 - 410^2} = 4049 \text{ nV}_{\text{eff}}/\sqrt{\text{Hz}}$. Wegen der 60dB Verstärkung muss das Ergebnis durch 100 geteilt werden, was dann $4,05 \text{ nV}_{\text{eff}}/\sqrt{\text{Hz}}$ ergibt. Das stimmt sehr genau mit der Theorie überein

(Online Rechner:

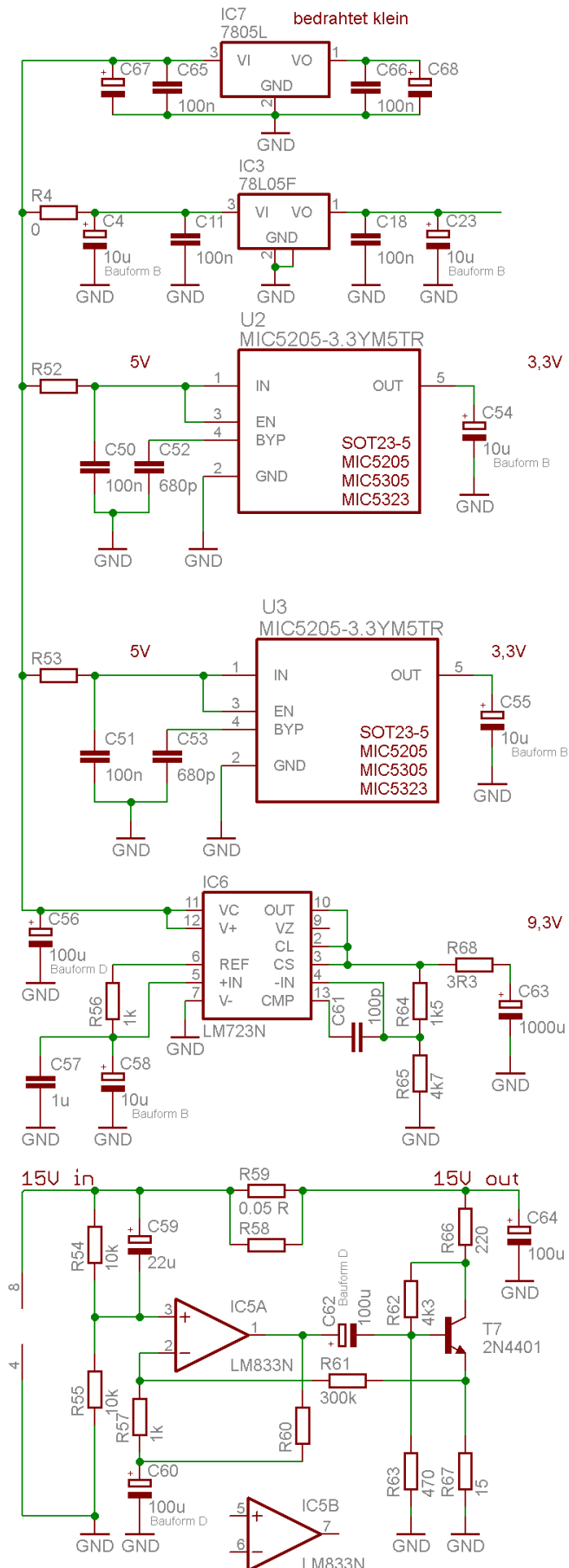
<http://www.sengpielaudio.com/Rechner-rauschen.htm>)

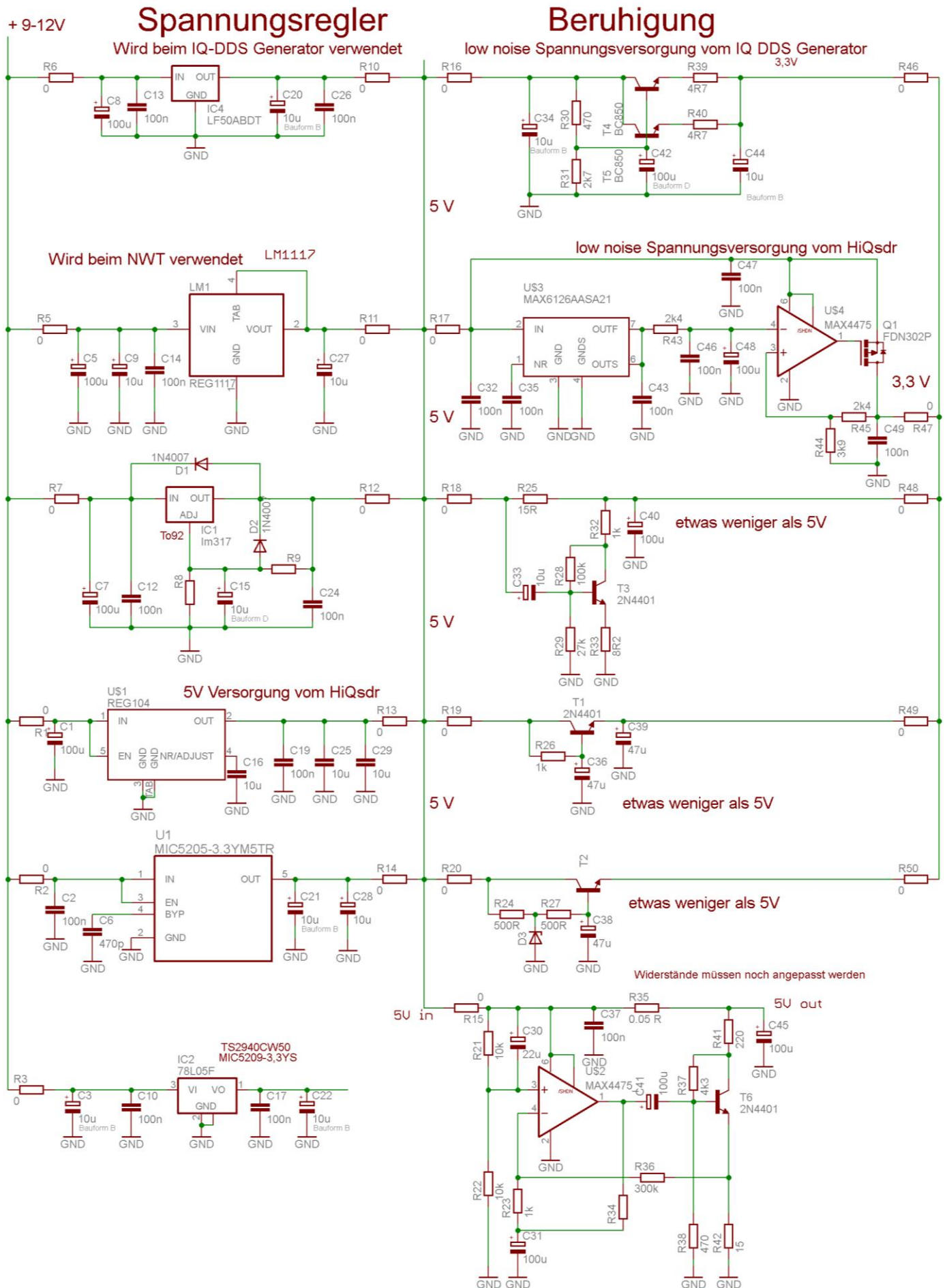
3.1 Einstellung am Gerät und der Software

4 Rauschen von Spannungsreglern

Nachdem wir nun das NF-Rauschen von Widerständen und aktiven Bauteilen vermessen können, möchte ich hier eine Experimentierplatine vorstellen, die uns ermöglichen soll das Rauschen von Spannungsreglern vermessen zu können. Einige Schaltungen zur Verminderung des Rauschens sollen auch untersucht werden. Die Werte der einzelnen Bauteile müssen beim Nachbau immer im Datenblatt überprüft werden.

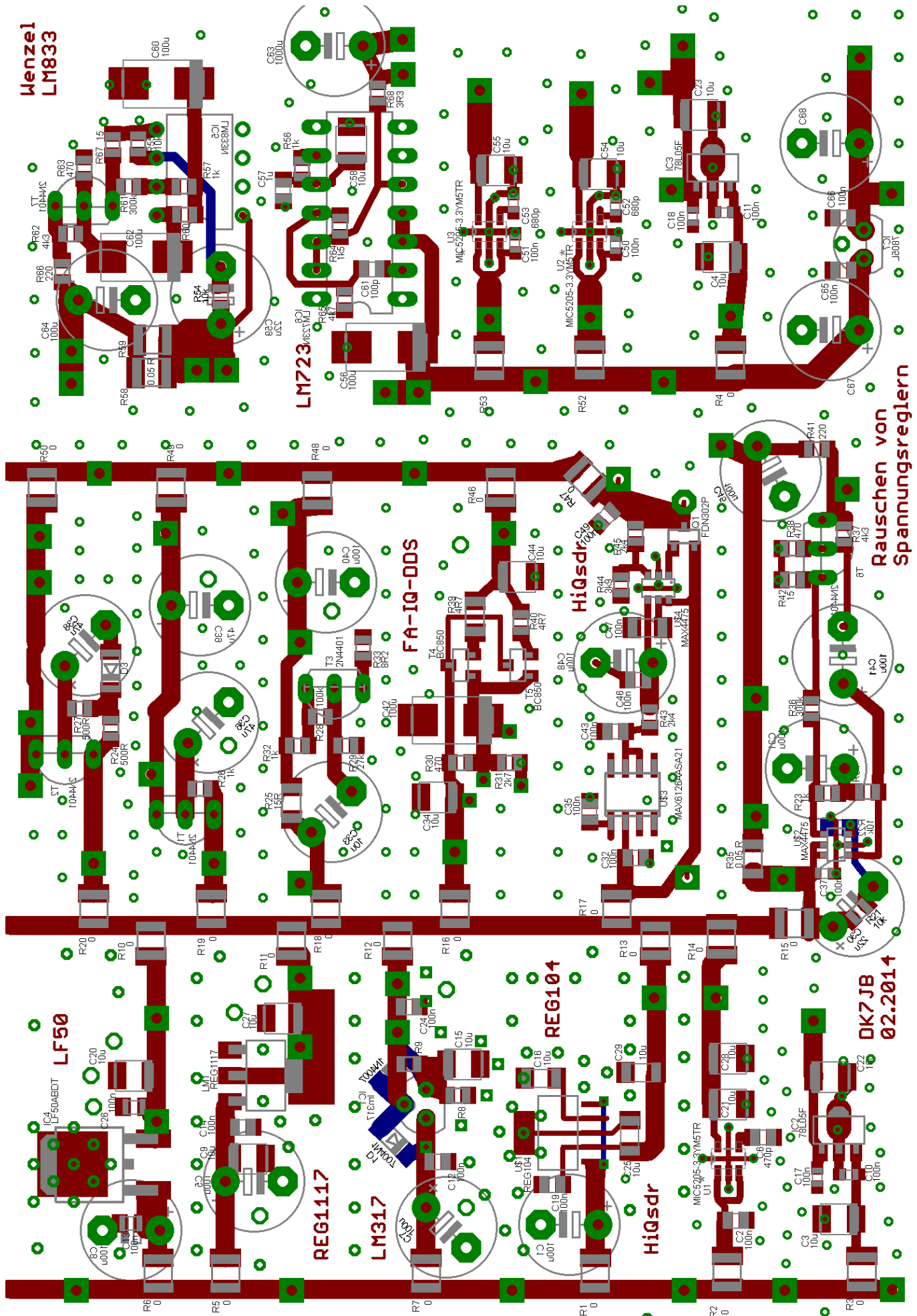
Der Spannungsregler TPS786xx wurde vergessen. Diesen Regler verwende ich bei meinem AD9951-Modul.

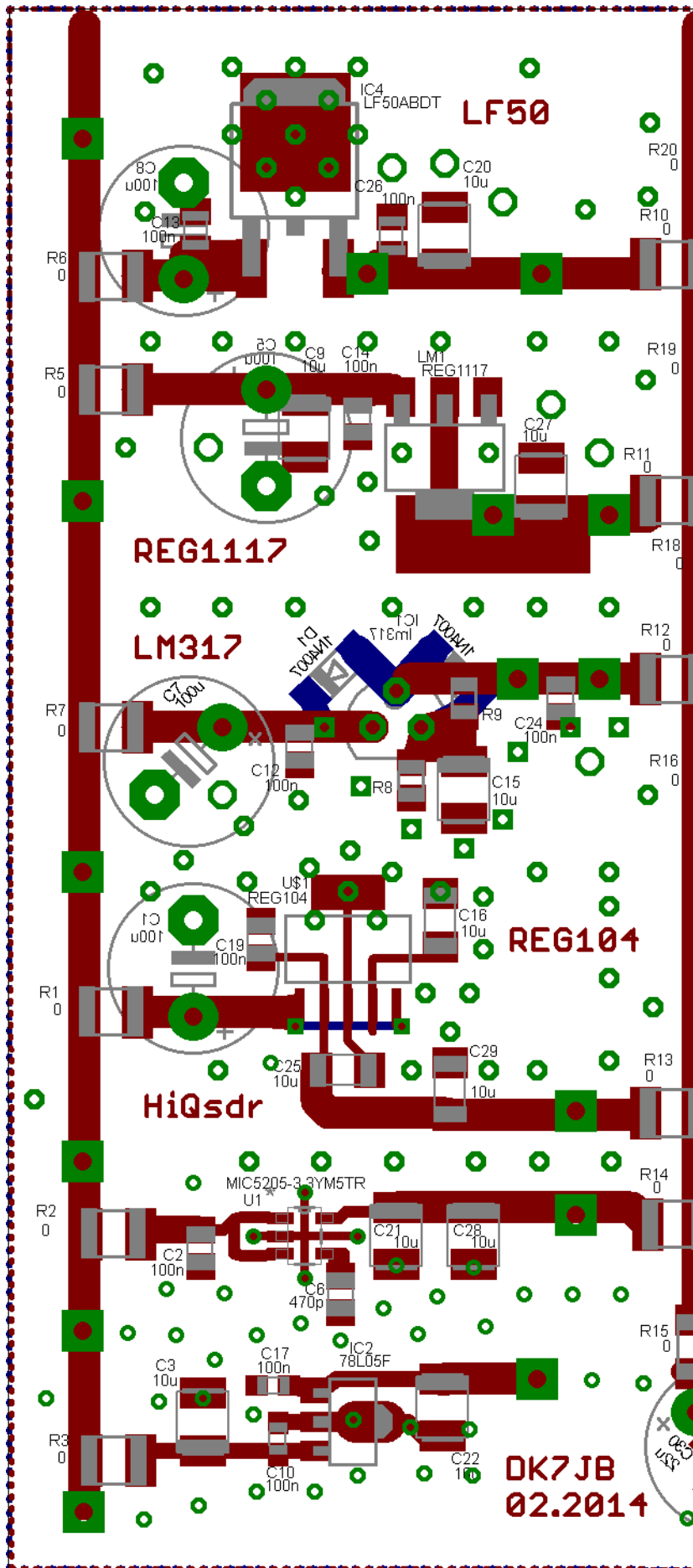




Spannungsregler: Rauschen von Spannungsreglern

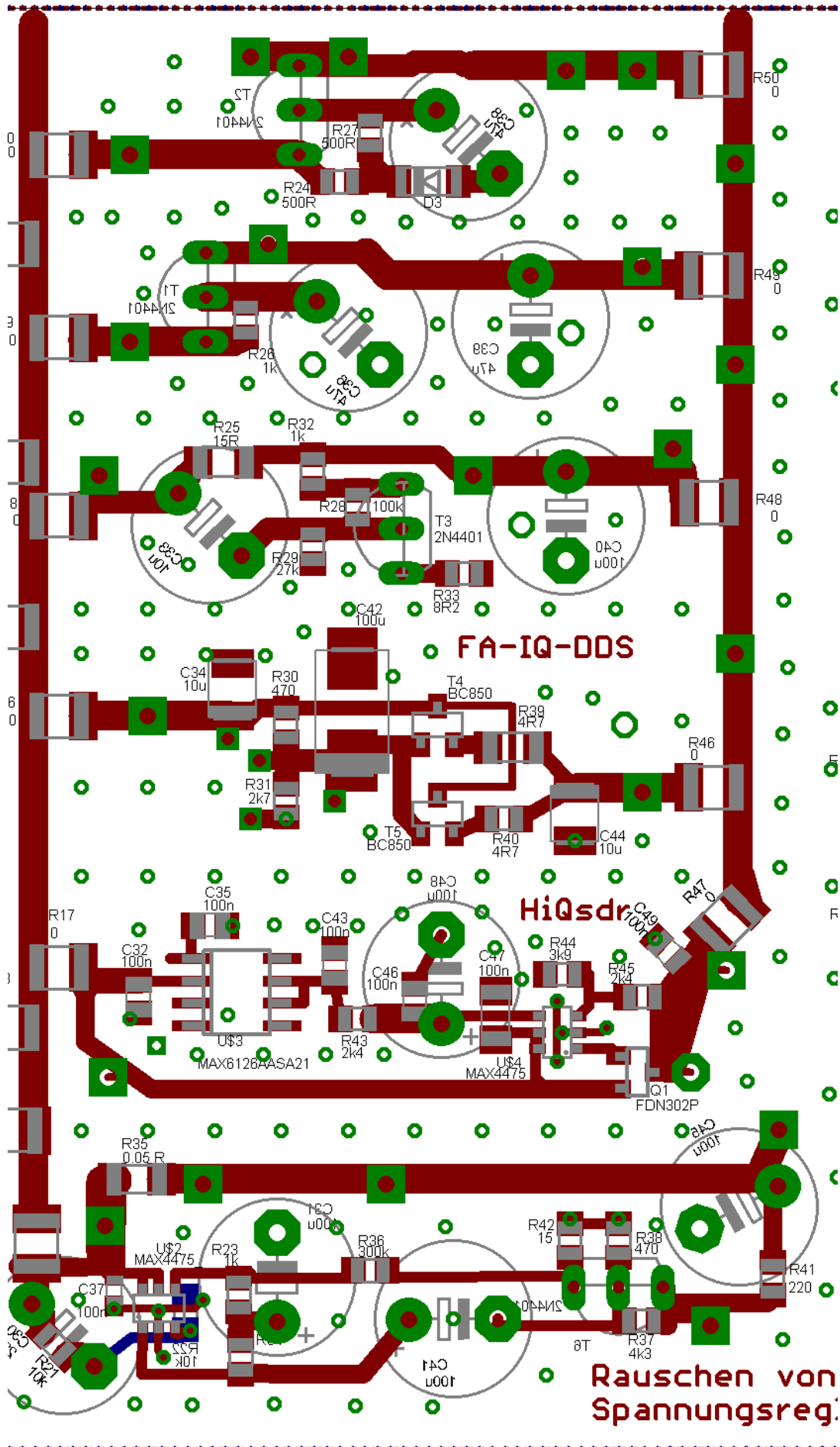
Jörn DK7JB mail@dk7jb.de

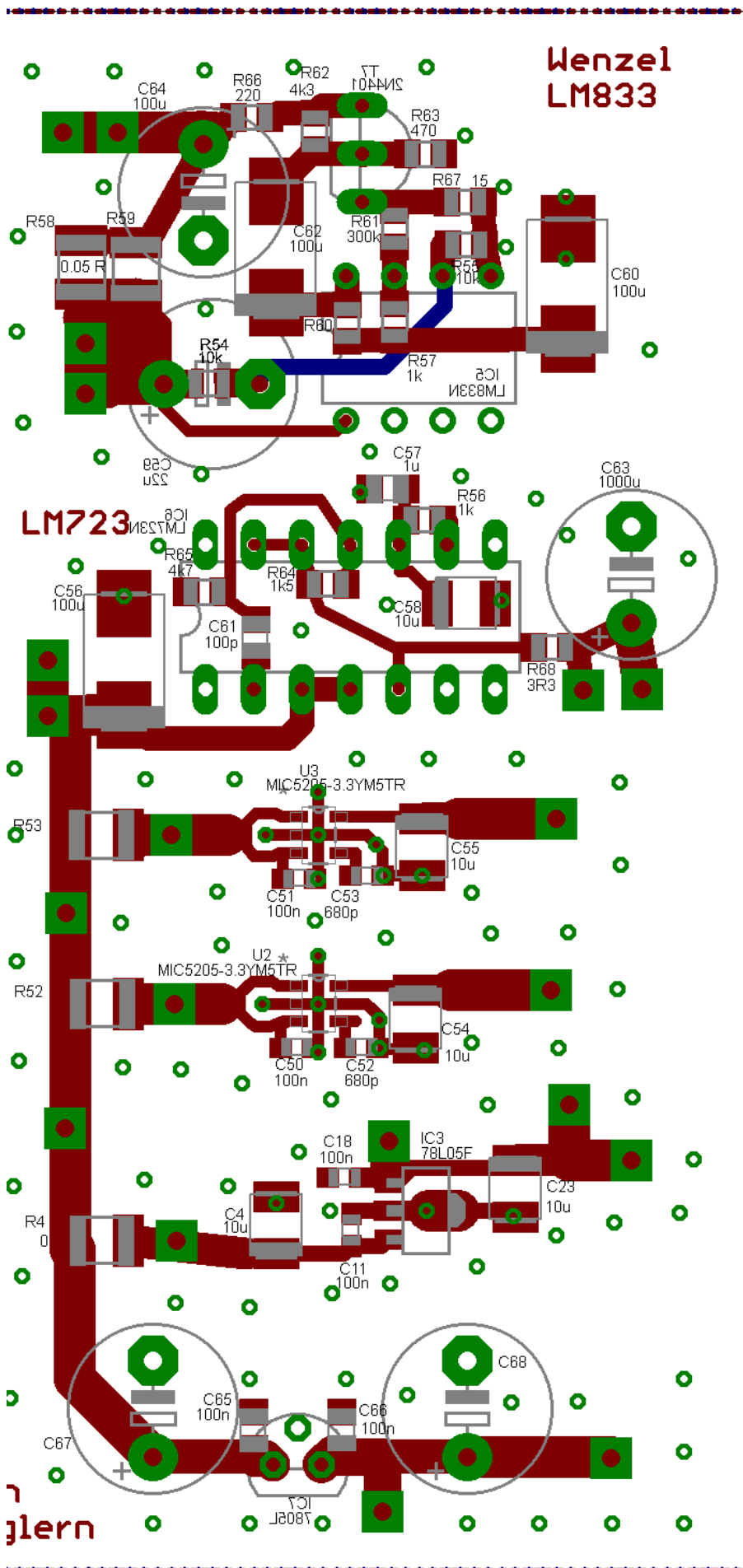




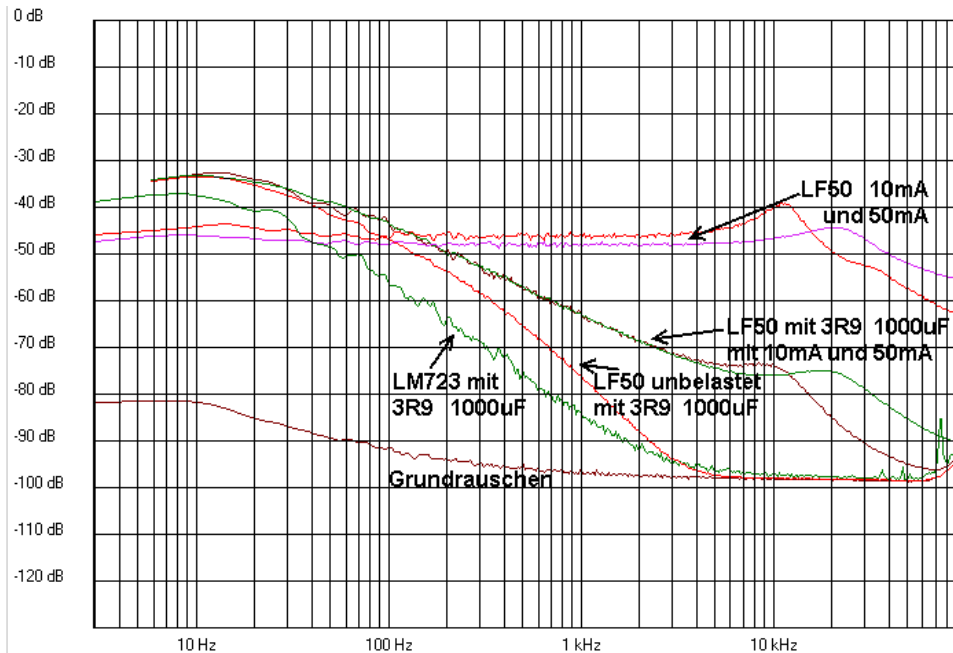
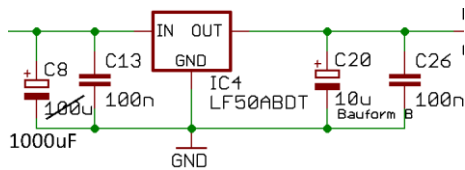
Spannungsregler: Rauschen von Spannungsreglern

Jörn DK7JB mail@dk7jb.de



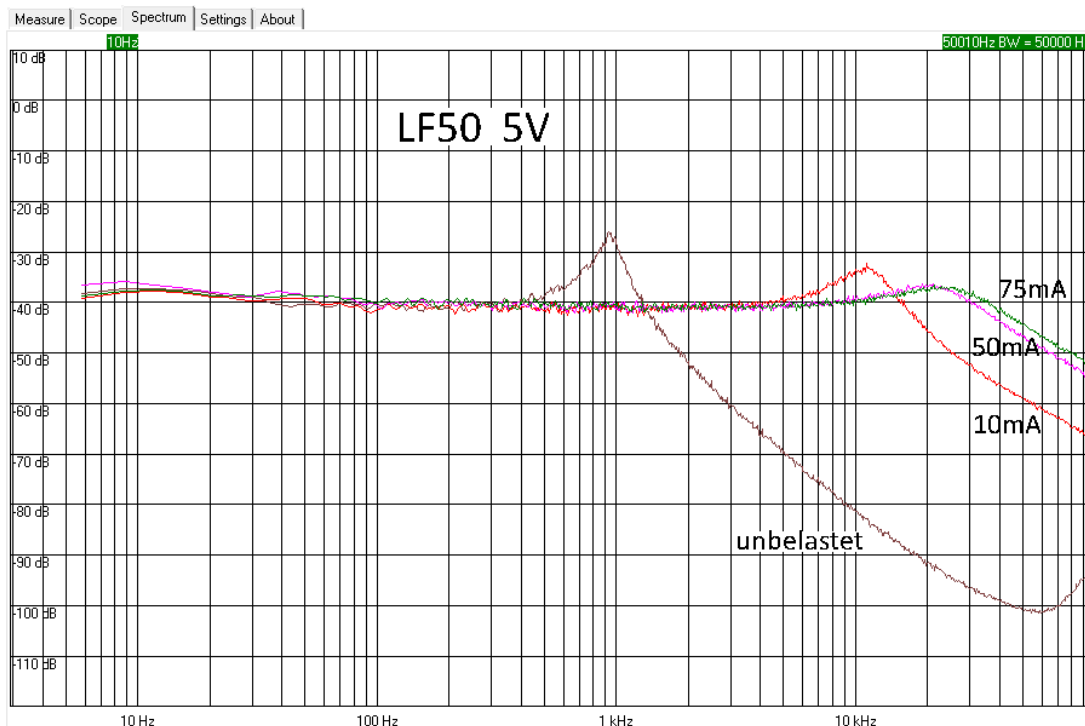


4.1 Messung an einem LF50

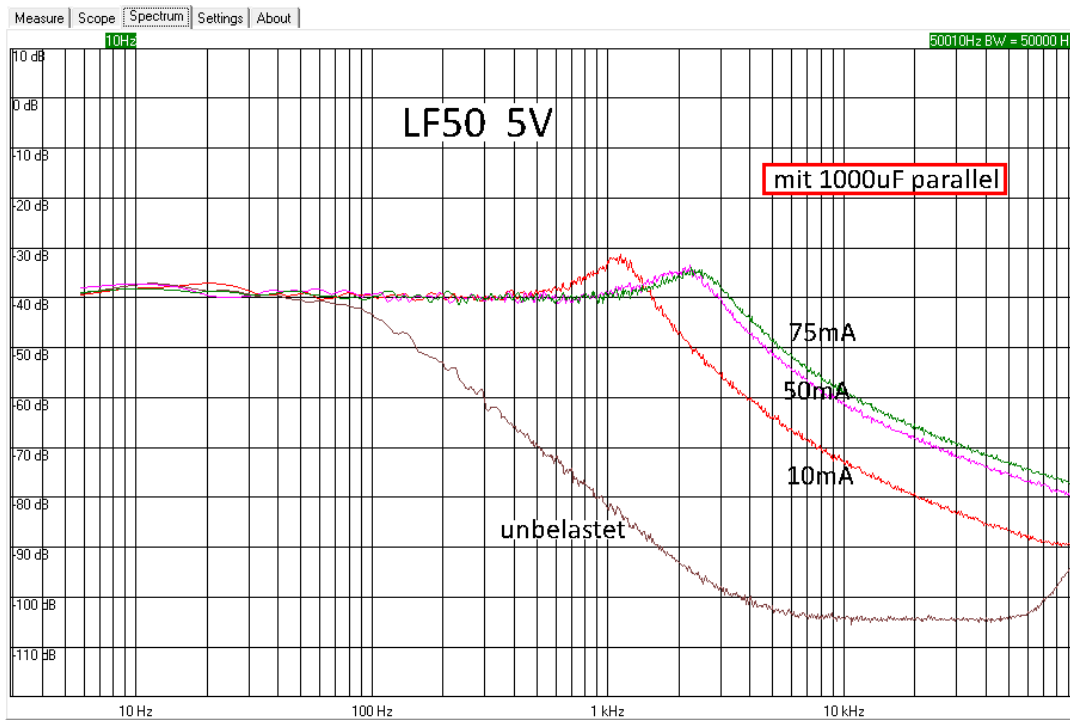


Alte Messung: (Hier hatte der Verstärker eine falsche Verstärkung. Aus diesem Grund dienen diese Messwerte nur der Orientierung)

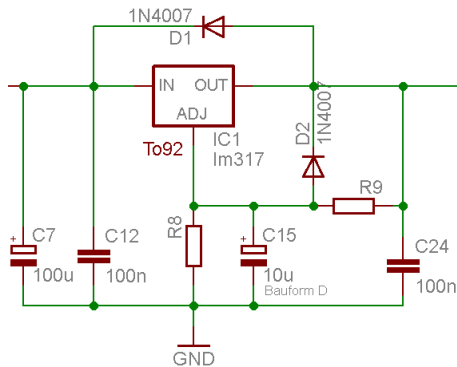
Neue Messung vom 30.10.2014:



Hier wird noch zusätzlich am Ausgang ein 1000uF Kondensator nach Masse geschaltet:



4.2 Messung an einem LM317



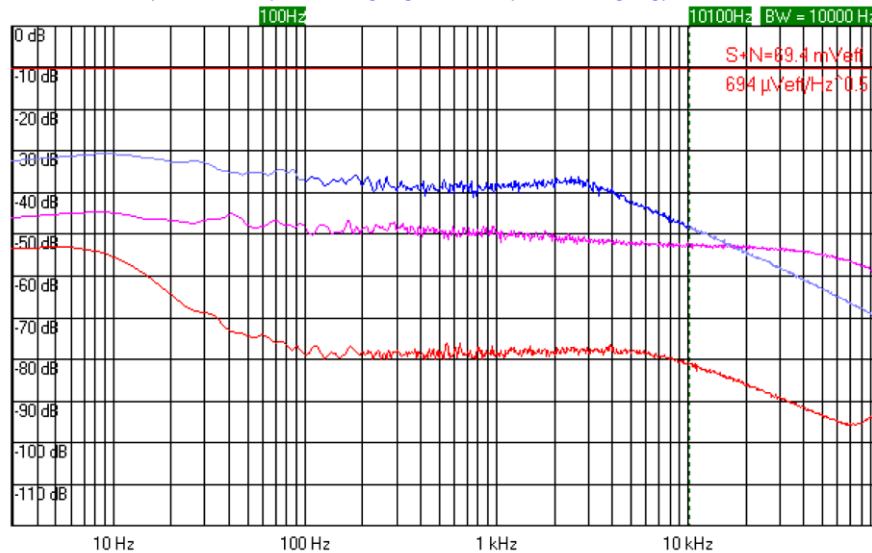
Hier fehlen leider die Messungen - arrrrrg. Grund nicht mehr bekannt.

In der Zeitschrift FUNKAMATEUR 12/2014 S. 1296 hat Bernd DG4RBF seine Messungen am LM317 vorgestellt, die ich hier mit aufnehme

Zum Vergleich zwei übliche "Dreibein- Regler":

78S75 (7,5V Stabi mit 10µF am Eingang und 1000µF am Ausgang)

LM317 (9,0V mit 10µF am Eingang und 1000µF am Ausgang)



Messbandbreite: 10kHz (100Hz - 10.1kHz)

Messungen ohne RC-Filter

Nr.	Farbe	Regler	Laststrom	Spectral Density	RMS Noise
2	Rot	LM723 + T1 (9.2V)	360 mA	8,73 nV _{eff} /√Hz	0,87 µV _{eff}
3	Pink	78S75 (7,5V)	157 mA	201 nV _{eff} /√Hz	20,1 µV _{eff}
4	Blau	LM317 (9V)	185 mA	694 nV _{eff} /√Hz	69,4 µV _{eff}

Abbildung 4-1: Bernd hat in seinem FA-Artikel den LM317 unter Last mit dem LM317 verglichen. Der LM317 hat am Ausgang schon einen ungewöhnlich großen Kondensator von 1000µF.

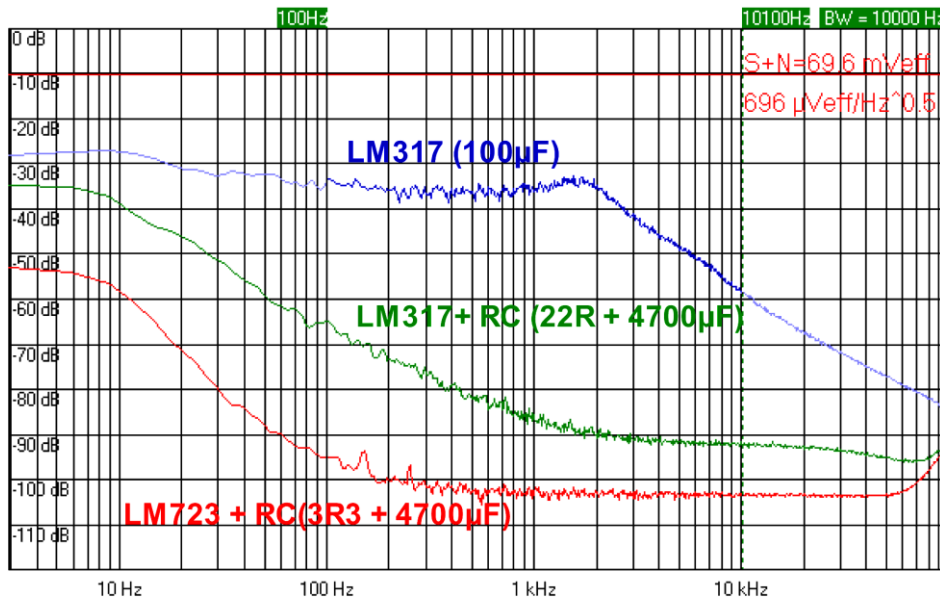


Abbildung 4-2: Hier noch eine weitere Messung von Bernd an dem LM317. Diesmal aber mit einem nachgeschaltetem RC Glied mit einem hohen R von 22 Ohm (Also nur für kleine Ströme geeignet)

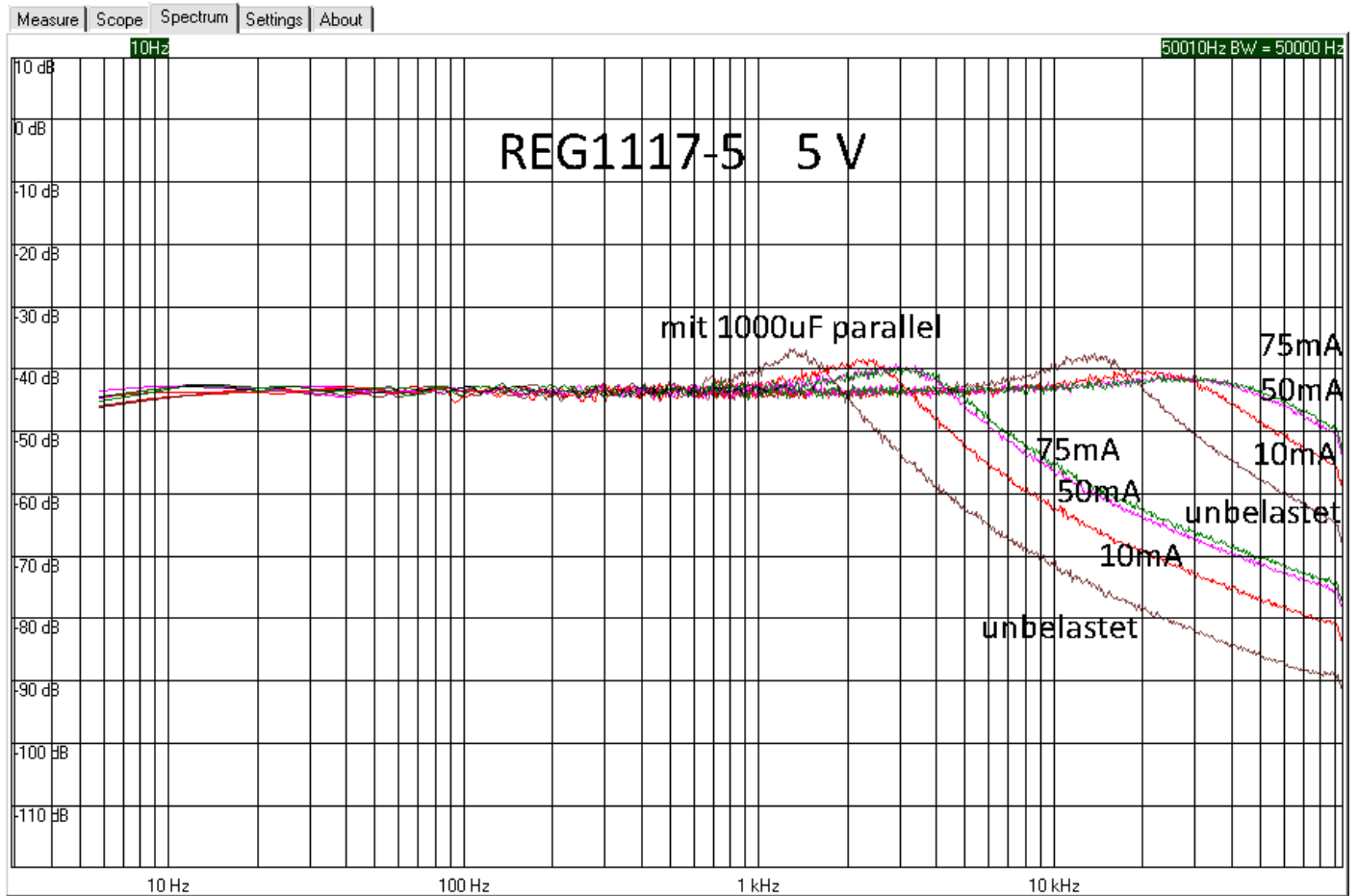
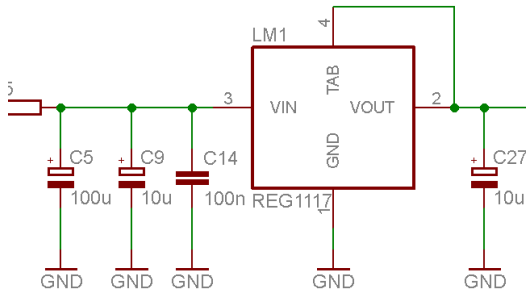
Hinweise zum LM317 findet man auch bei Steve Hageman:

<http://www.analoghome.com/articles.html>

<http://www.edn.com/Pdf/ViewPdf?contentItemId=4422750>

4.3 Messung an einem LM1117 bzw. REF1117-5

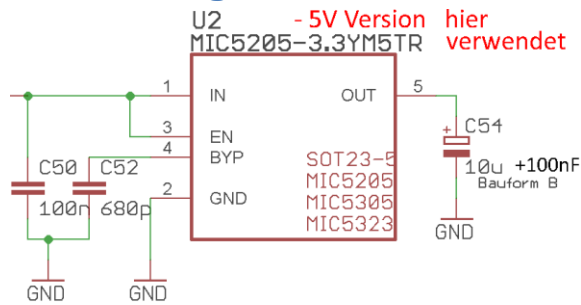
Wird beim NWT verwendet LM1117



Spannungsregler: Rauschen von Spannungsreglern

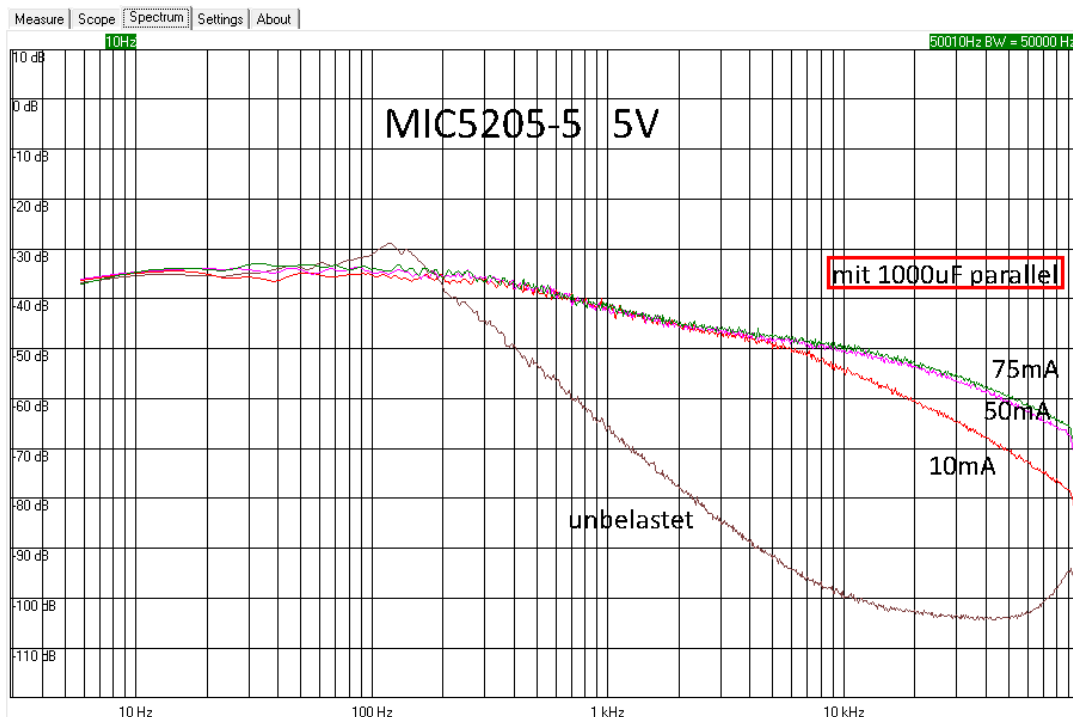
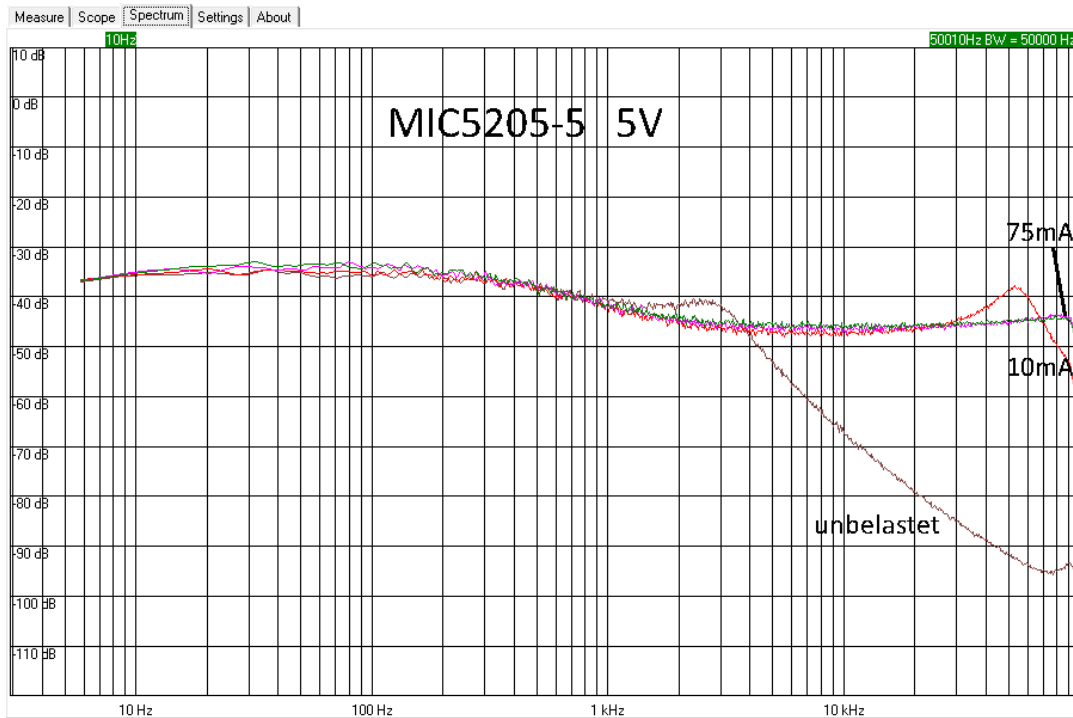
Jörn DK7JB mail@dk7jb.de

4.4 Messung an einem MIC5205-5

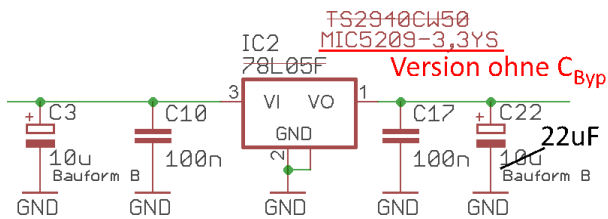


Verwendet wird die 5V Ausführung!

Am Ausgang sind noch zusätzlich 100nF nach Masse geschaltet.

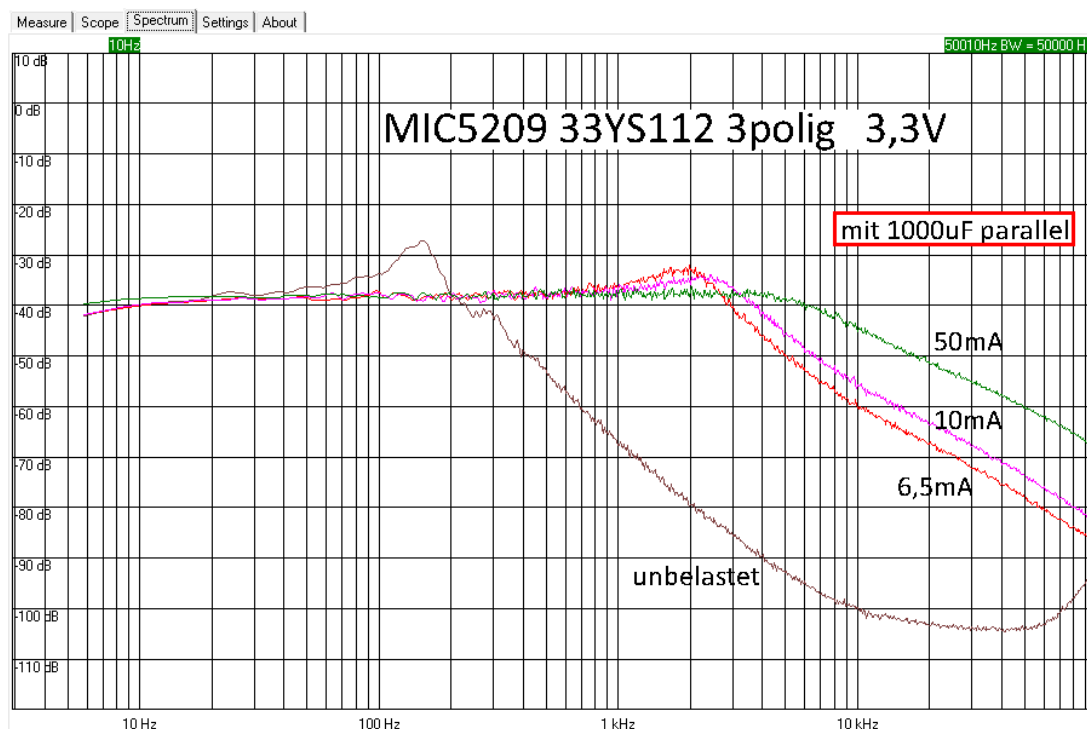
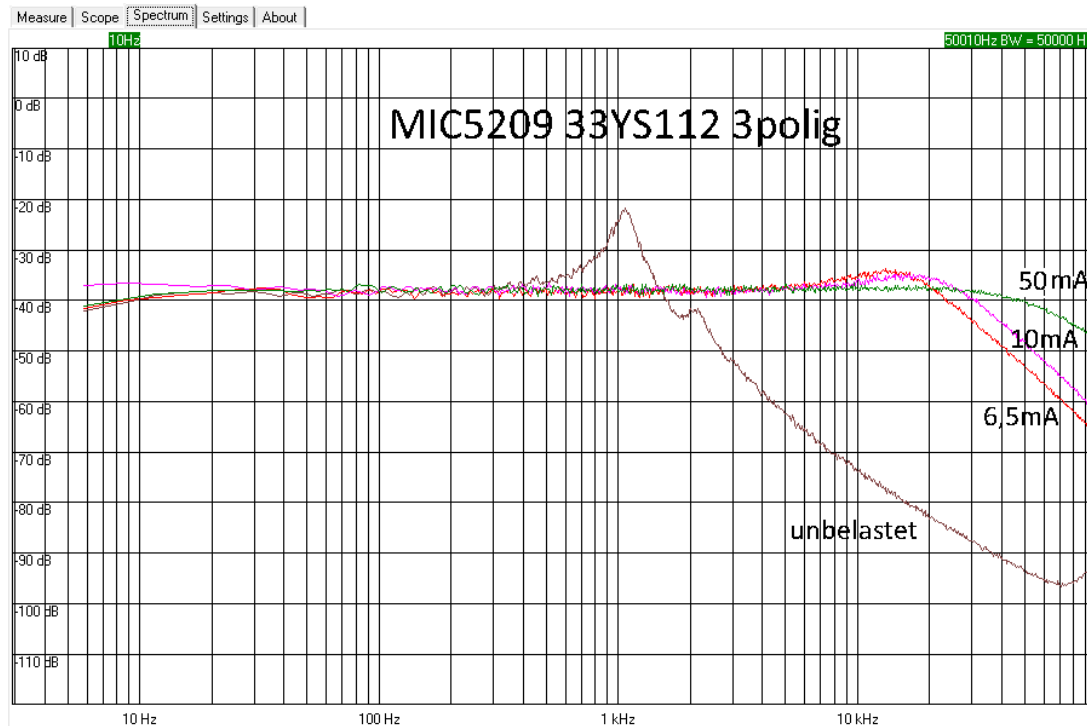


4.5 Messung an einem MIC5209-3.3

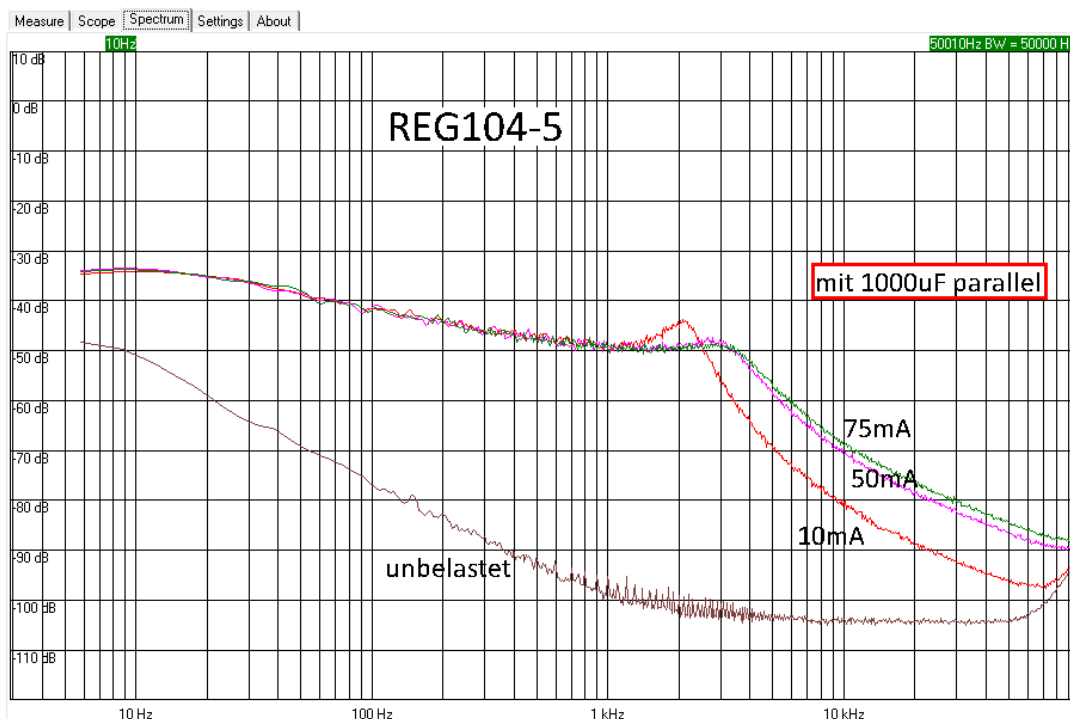
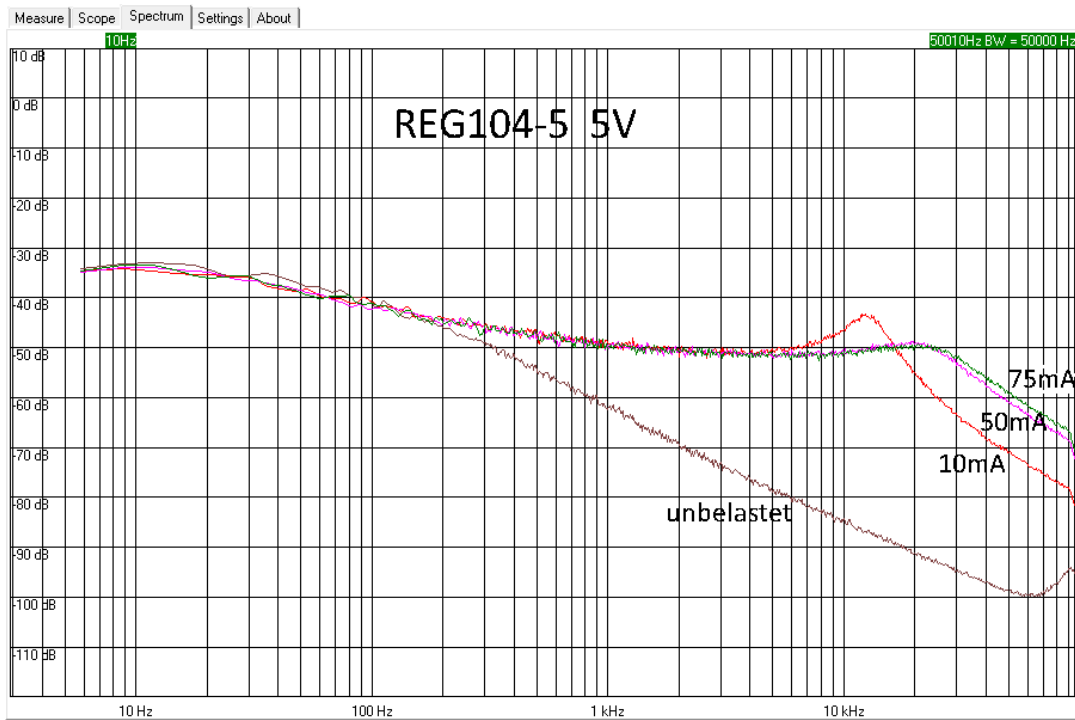
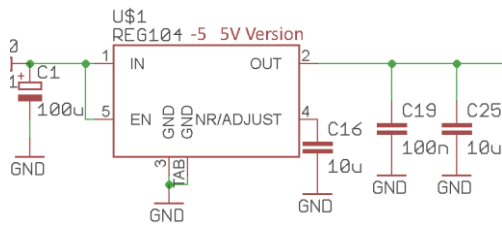


MIC5209-3,3YS im SOT223-Gehäuse; Angaben lt. Datenblatt:
Eingangs-Kondensator: 1µF Ausgangs-Kondensator:
≥2,2µF mit einem ESR von 1 Ohm und einer Resonanzfrequenz
größer 1MHz werden empfohlen. Größere Werte beim
Ausgangs-Kondensator verbessern die transient response. Bei
kleinen Ausgangsspannungen sind mehr als 4,7µF notwendig.

Leider kann bei diesem Gehäuse kein Bypass-Kondensator zur Verbesserung des Rauschens verwendet werden.

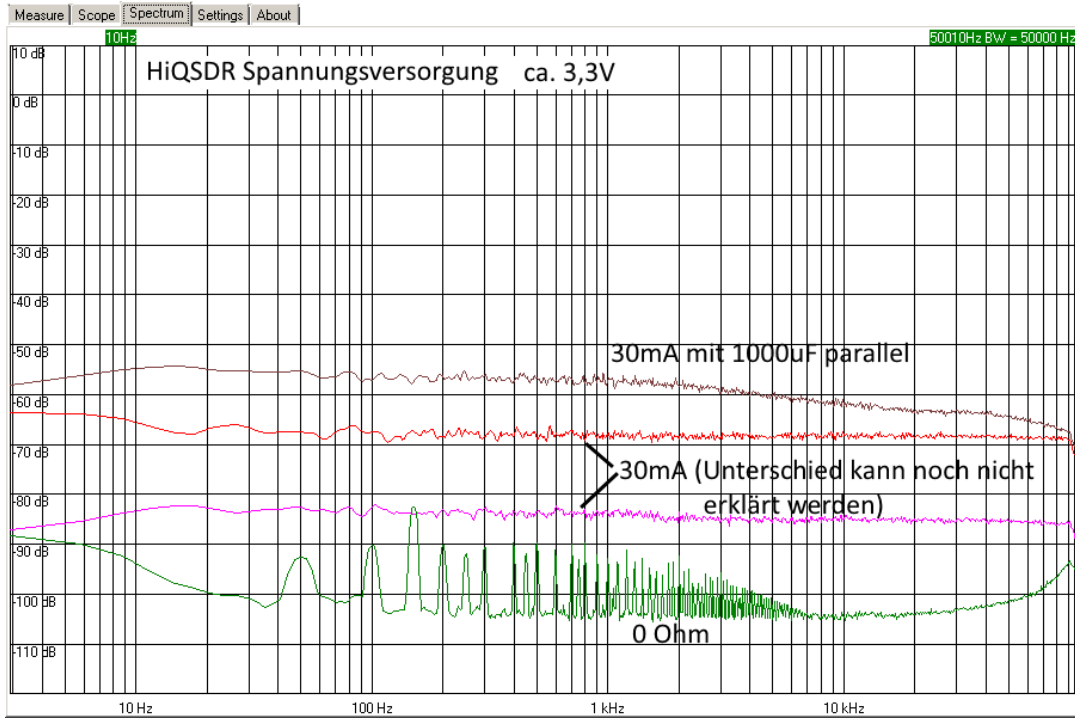


4.6 Reg104-5



Spannungsregler: Rauschen von Spannungsreglern

Jörn DK7JB mail@dk7jb.de

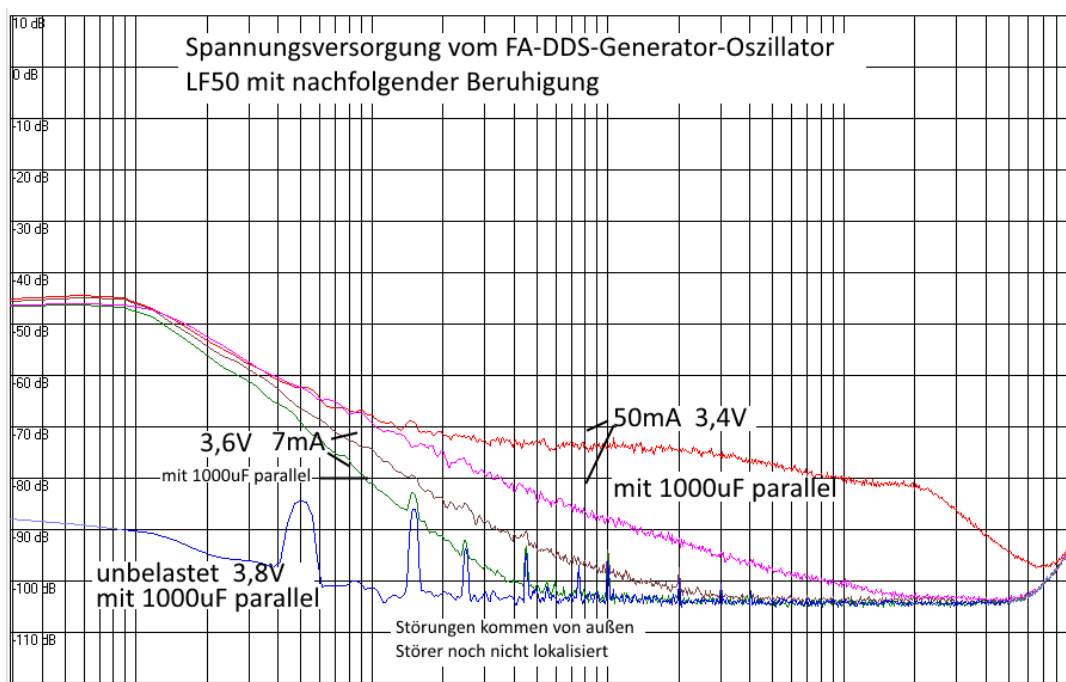
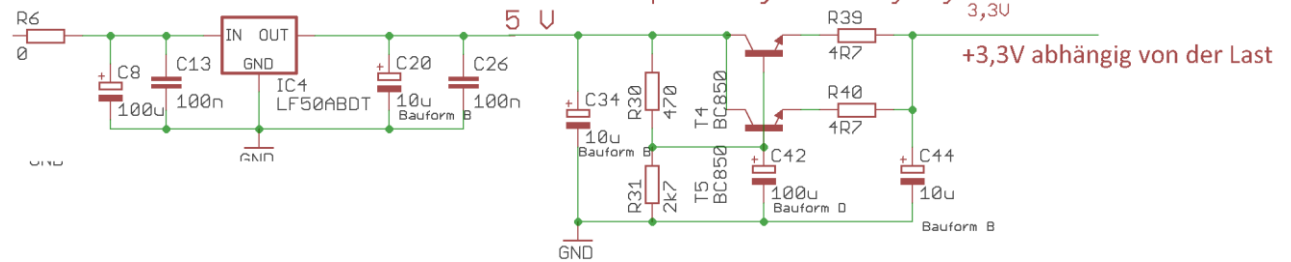


Diese Messwerte müssen noch überprüft werden, da ich ihnen noch nicht vertraue

4.8 Spannungsversorgung vom IQ-DDS-Generator mit nachfolgender Beruhigung

Spannungsregler Beruhigung

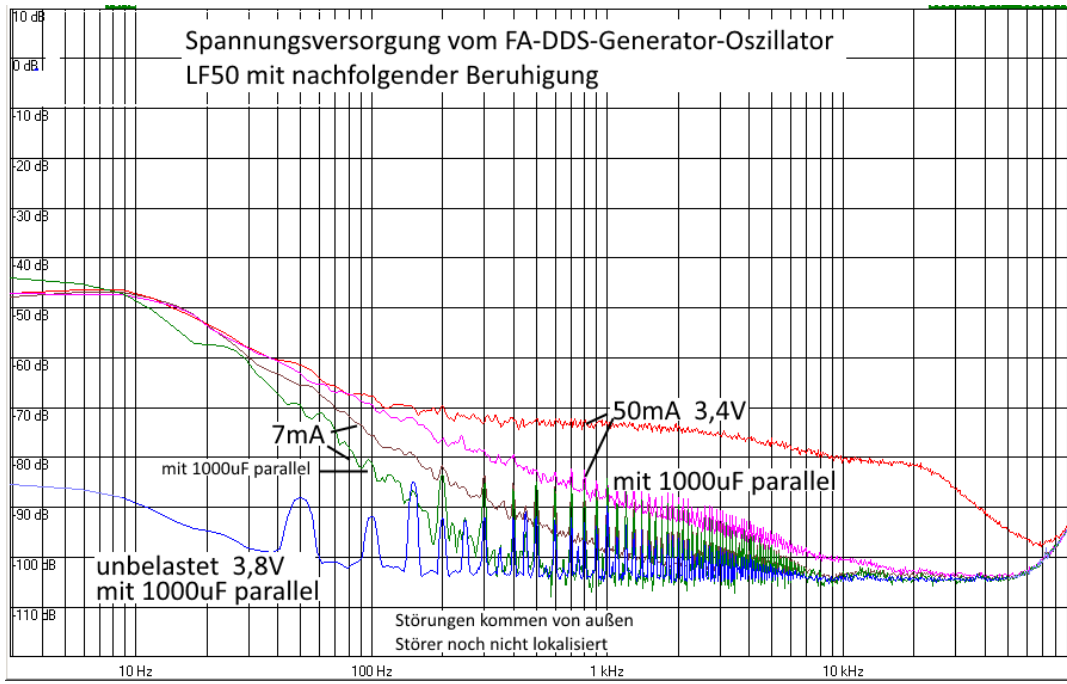
Wird beim IQ-DDS Generator verwendet, um noise Spannungsversorgung vom IQ DDS Generator



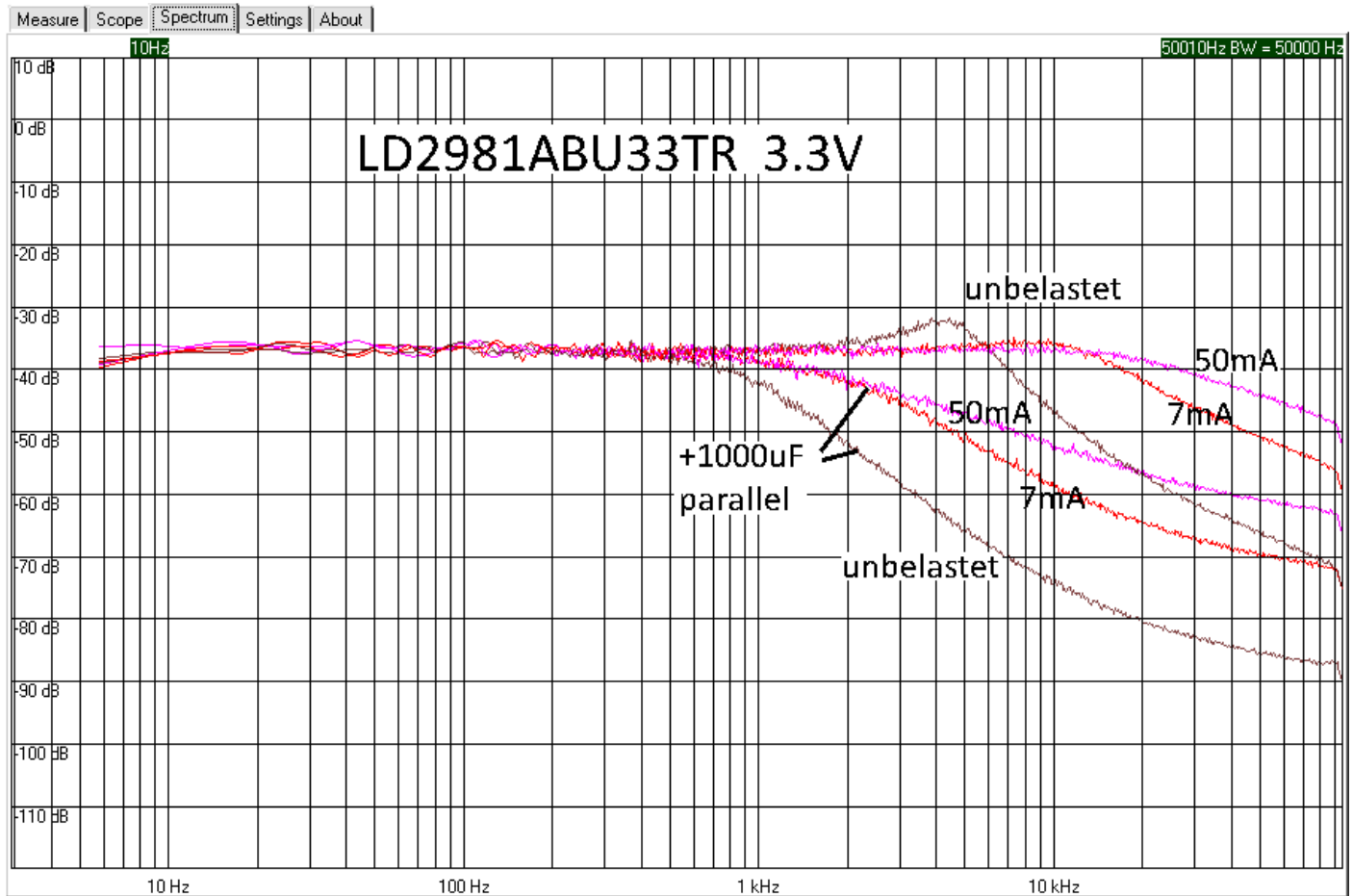
Hier eine Messung, die 30 Minuten vorher durchgeführt worden ist. Hier waren die Störungen deutlich stärker. Der Störer konnte noch nicht gefunden werden.

Spannungsregler: Rauschen von Spannungsreglern

Jörn DK7JB mail@dk7jb.de



4.9 LD2981ABU33TR 3.3V



4.10 LM723 mit PNP 9V

Den Schaltplan habe ich dem Artikel im [Funkamateur 12/2014 S.1297](#) von Bernd entnommen.

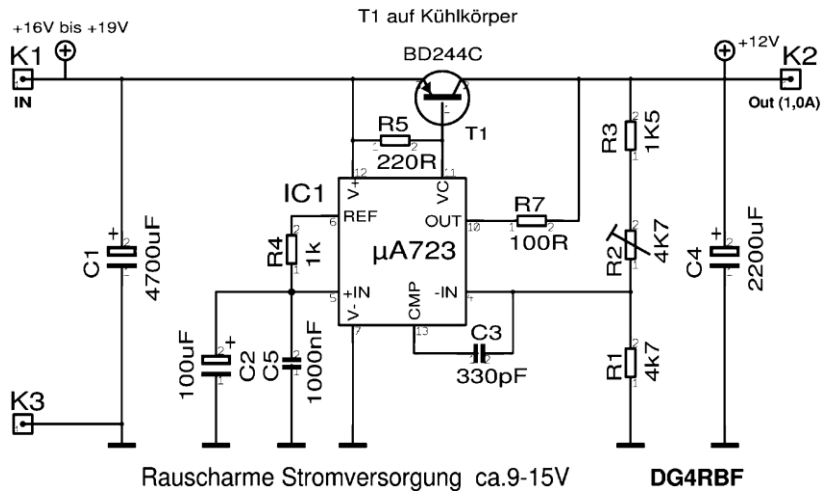
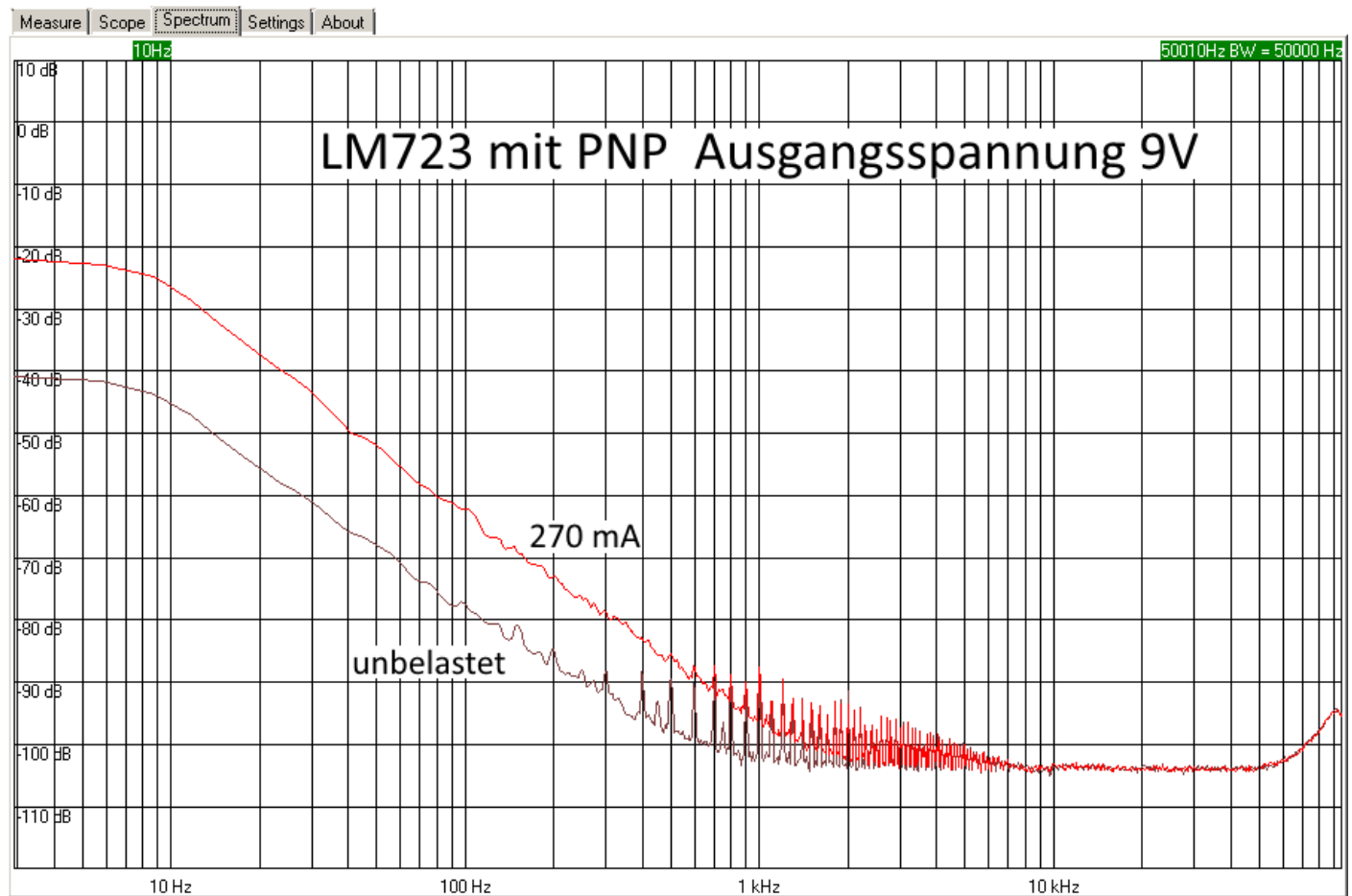
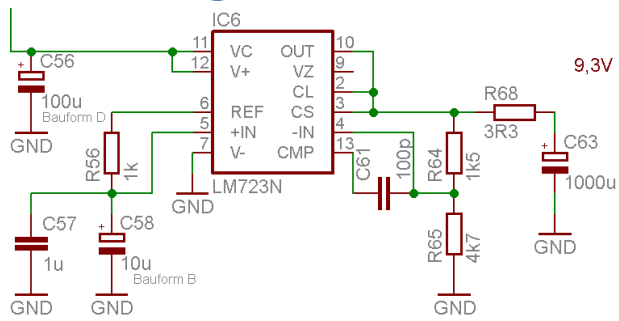
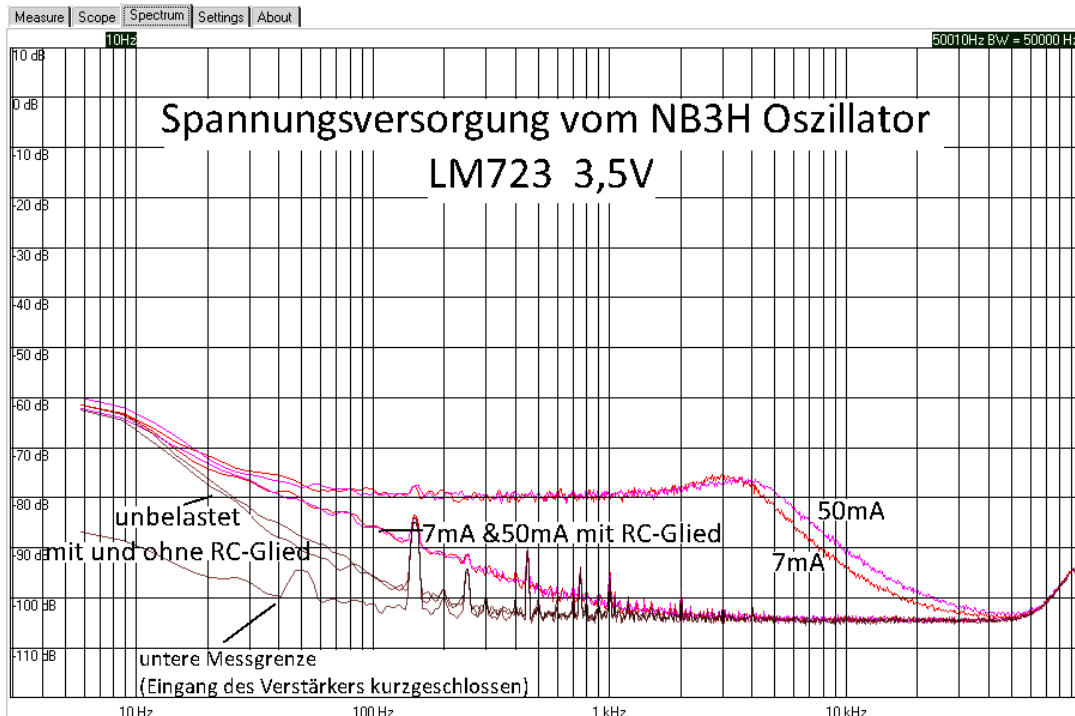


Abbildung 4-3

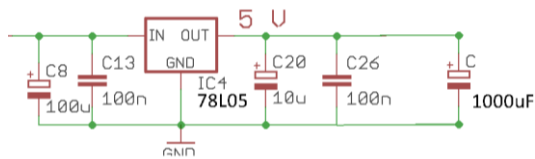


4.11 Messung an einem LM723

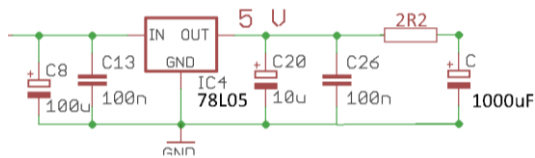




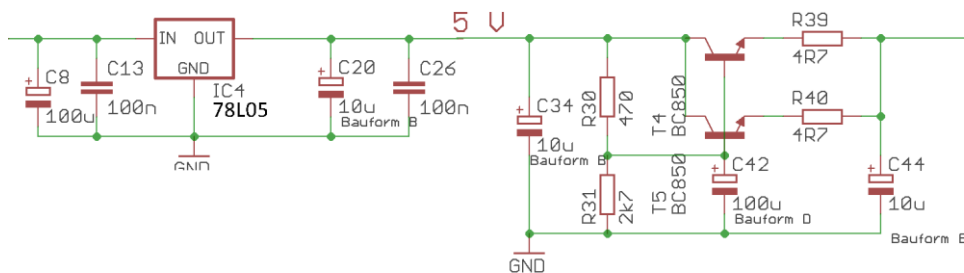
4.13 78L05



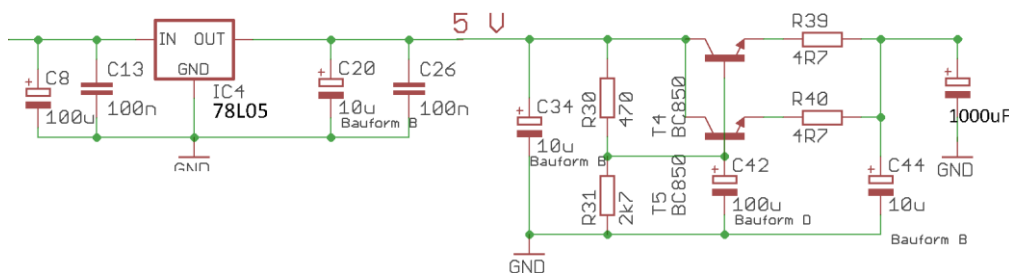
Variante I: Am Ausgang befindet sich ein 1000µF Kondensator.



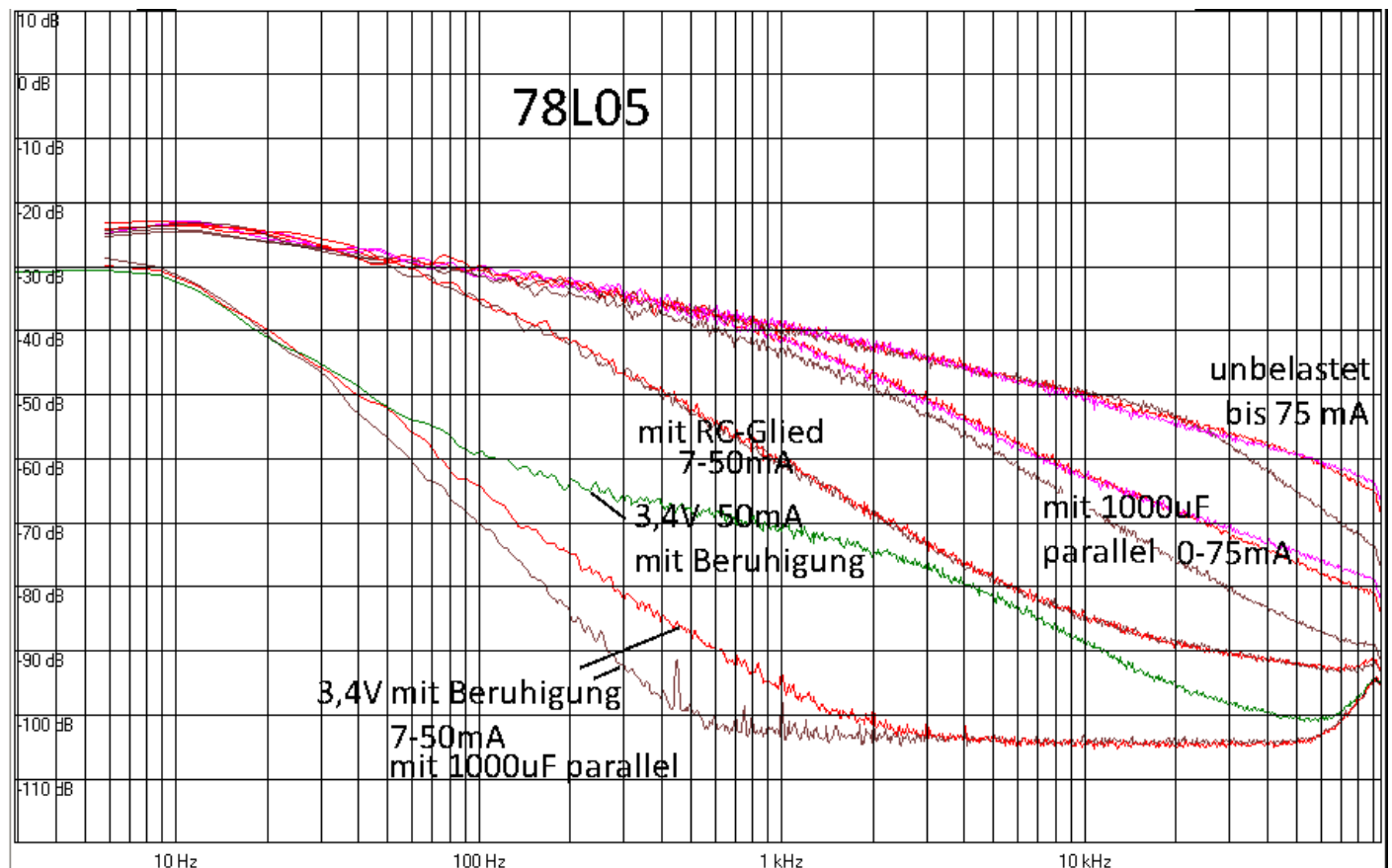
Variante II: Am Ausgang befindet sich ein RC-Glied aus einem 2R2 Widerstand und einem 1000µF Kondensator.



Variante III mit Beruhigung:
Diese Art der Beseitigung von Störungen ist sehr effektiv und wirkt wie ein Kapazitätsvervielfacher.

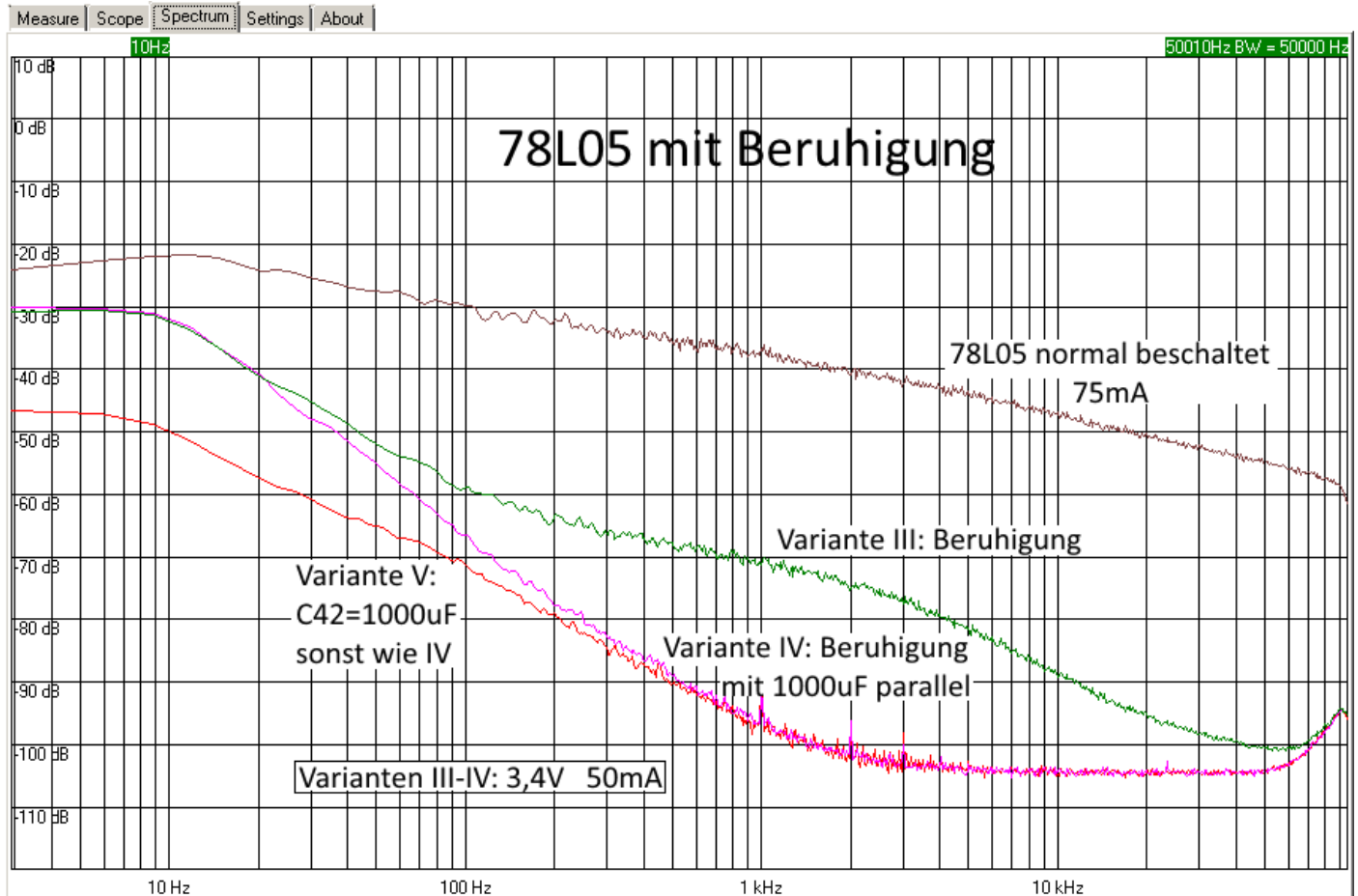


Variante IV: Wie die vorhergehende Variante. Es wurde nur zusätzlich ein 1000µF Kondensator nach Masse geschaltet.



Hier wurde die Schaltung zur Filterung der Störungen genauer untersucht:

Der Nachteil dieser Schaltung ist, dass die Ausgangsspannung nicht konstant sondern lastabhängig ist! Das muss beim Einsatz berücksichtigt werden.



Nun wird untersucht, wie die Ausgangsspannung nach der Beruhigung von der Belastung abhängt:

====>>> Kommt noch

5 Spannungsregler aus anderen Projekten von mir

Hier werden die Spannungsregler vermessen, die ich für mein Empfängerprojekt TRX2012 für den DDS AD9912 vorgesehen hatte. Der Entwurf stammt aus einer Zeit, als ich den Datenblättern (was die Angabe „ultra low noise“ betrifft) noch geglaubt hatte. Diese Messungen zeigen nun erschreckend schlechte Messwerte für das Rauschen – arrrrg. Erst sehr viel später werden Messungen des Phasenrauschens zeigen, ob das Modul neu entworfen werden muss. Eigentlich wollte ich dies vermeiden...

5.1 Spannungsregler – LO-Erzeugung des TRX2012

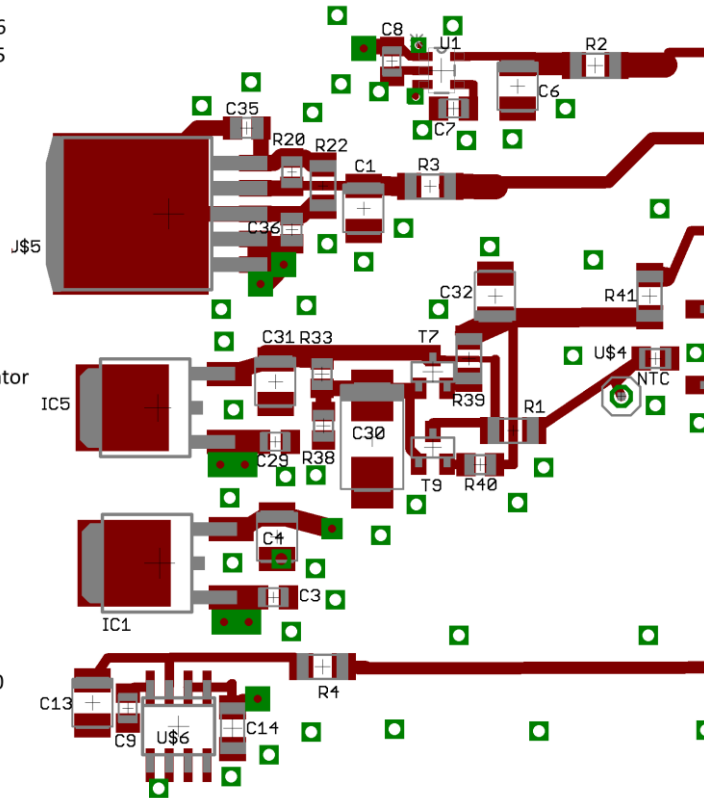
AVDD 3,3 V für den Pin 26
und mit Ferrit auch Pin 25

AVDD 1,8 V für die
Pins 10-12-27

3,3V für den 1 GHz Oszillator

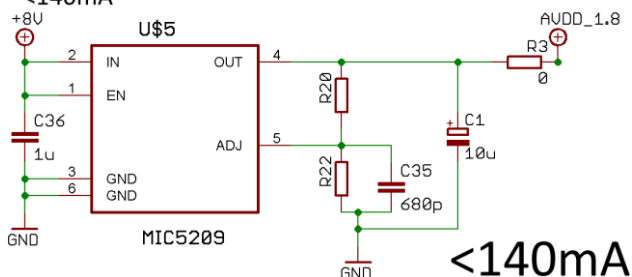
DVDD 1,8V für Pin 11

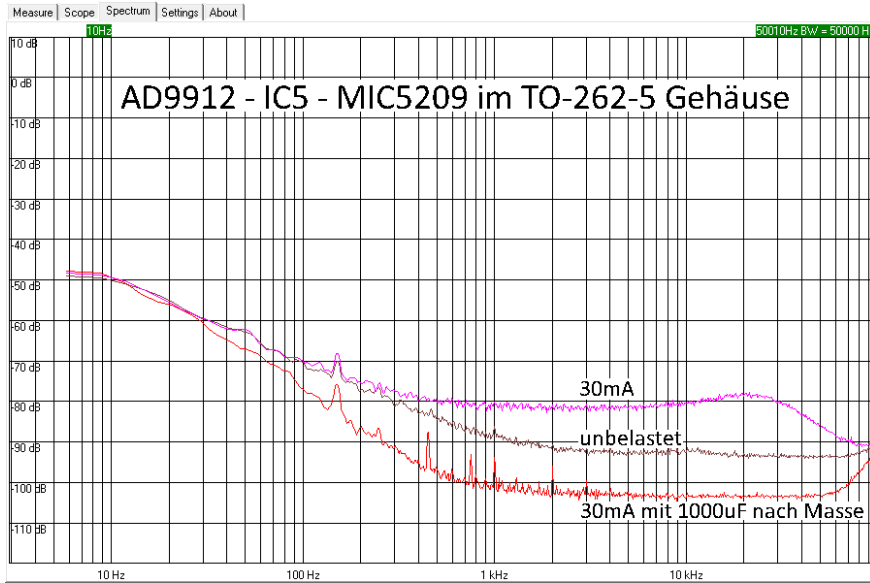
AVDD 1,8 V für den Pin 20



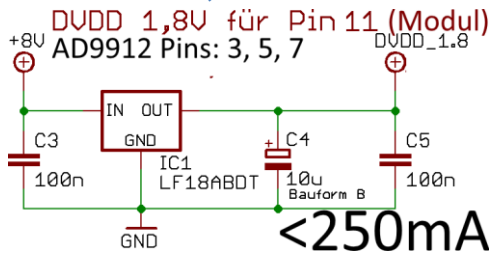
5.1.1 AVDD 1,8 V für die Pins 10-12-27

AVDD 1,8 V für die Pins 10-12-27 (Modul)
AD9912 Pins: 11,19,23,24,25,26,29,30,36,42,44,45
<140mA



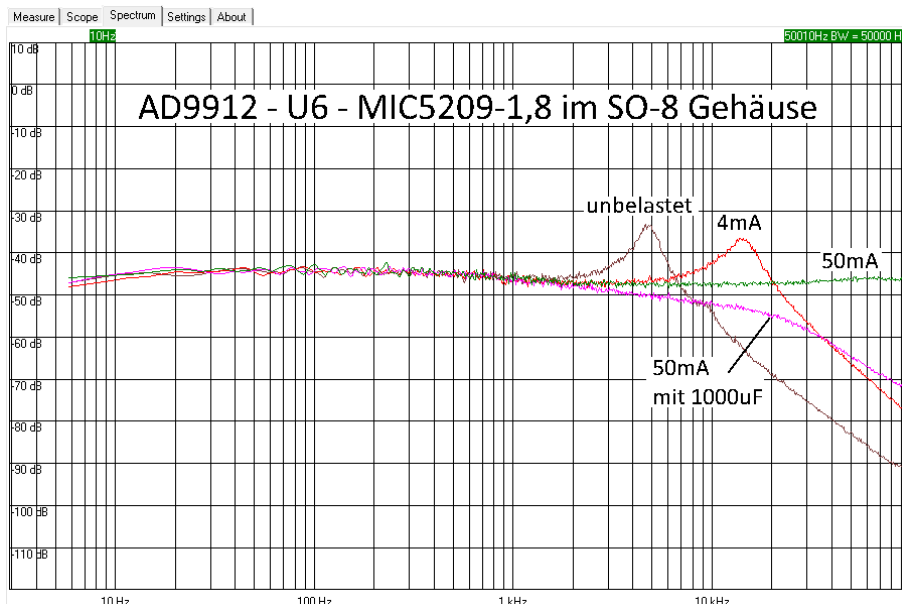
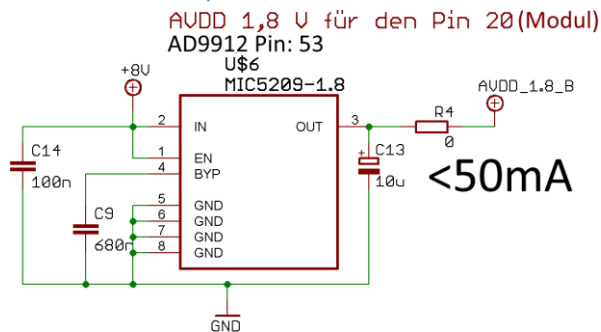


5.1.2 DVDD 1,8V für Pin 11

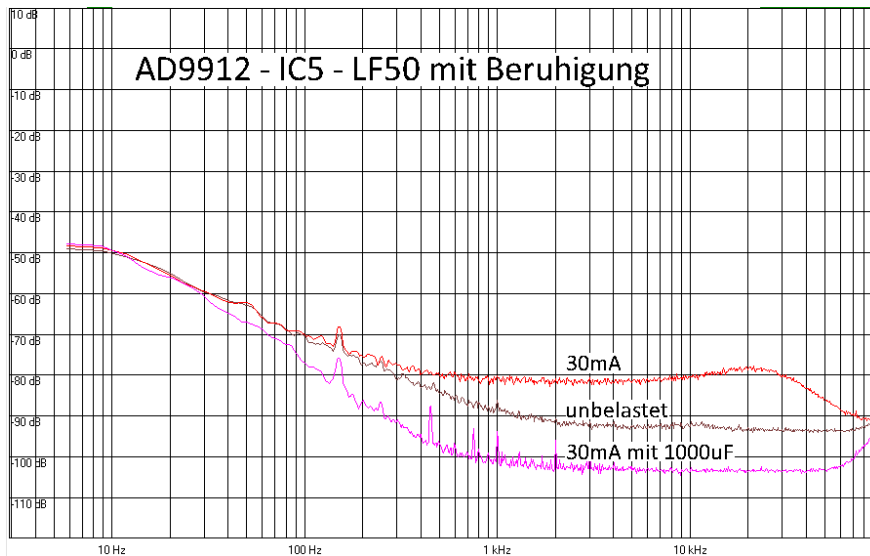
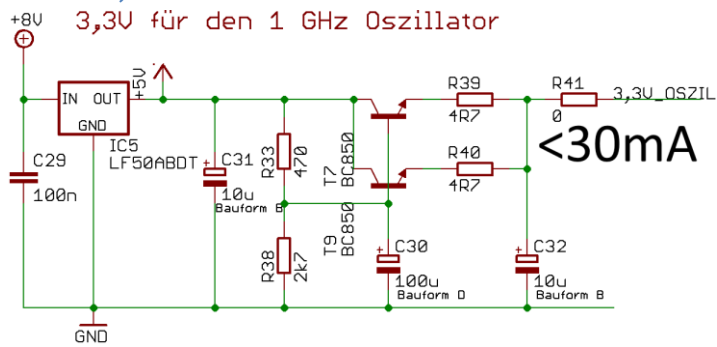


noch nicht vermessen

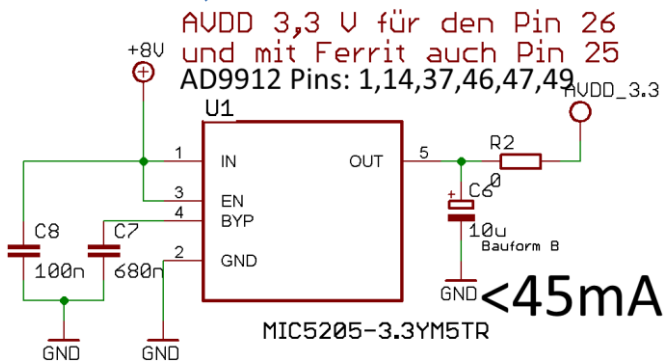
5.1.3 AVDD 1,8 V für den Pin 20

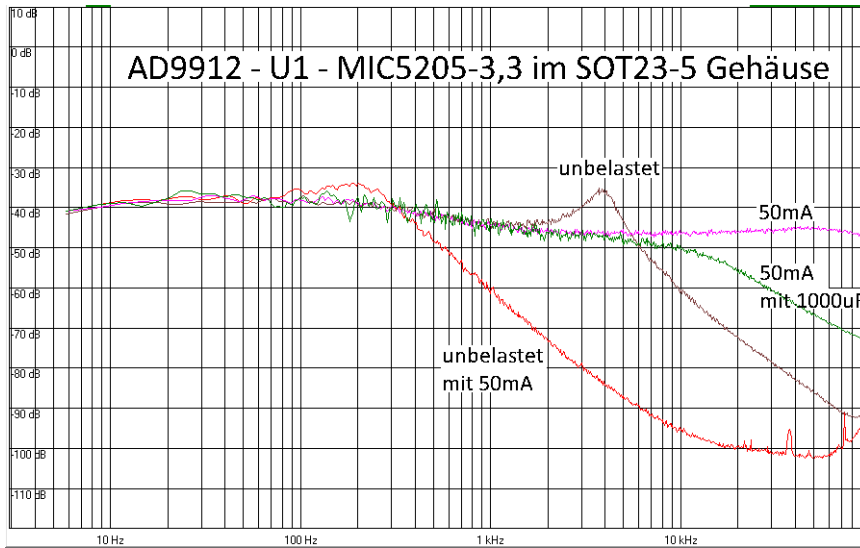


5.1.4 3,3V für den 1 GHz Oszillator



5.1.5 AVDD 3,3 V für den Pin 26 und mit Ferrit auch Pin 25

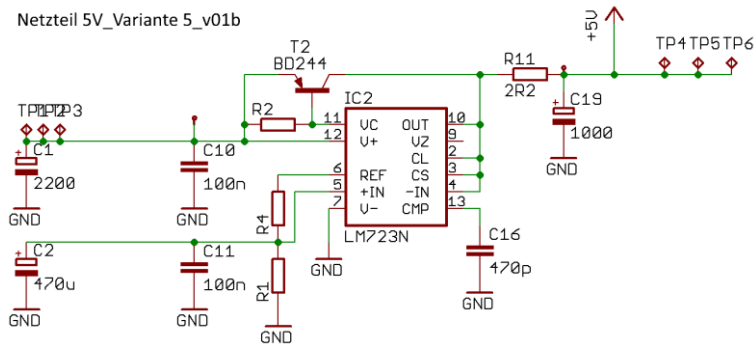




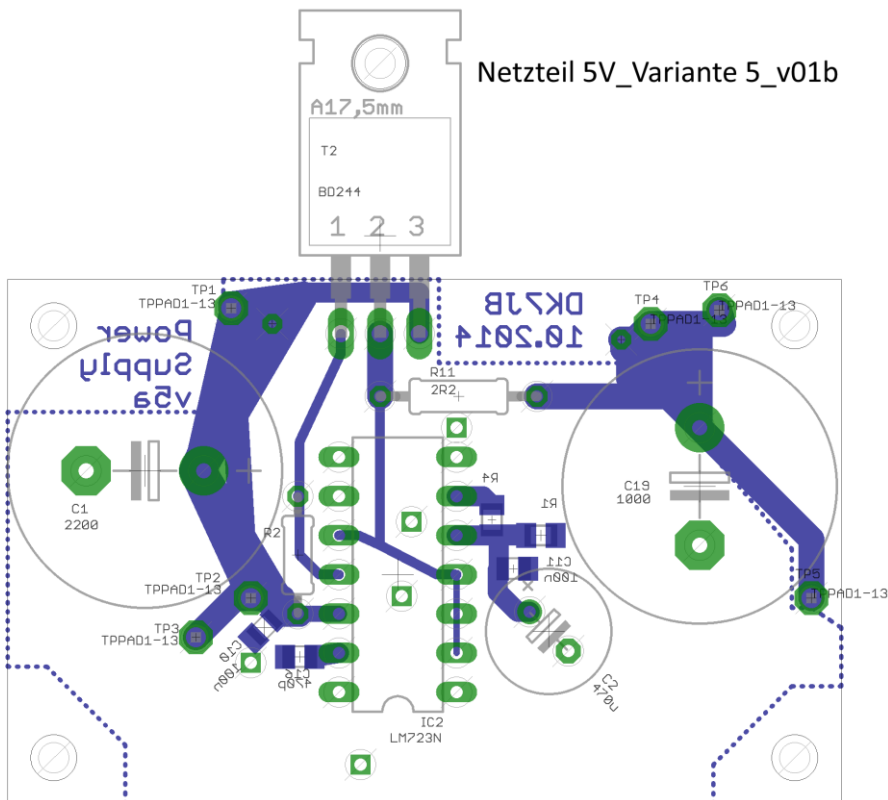
5.2 Spannungsregler - Frequenznormal

5.2.1 Netzteil 5V_Variante 5_v01

Netzteil 5V_Variante 5_v01b

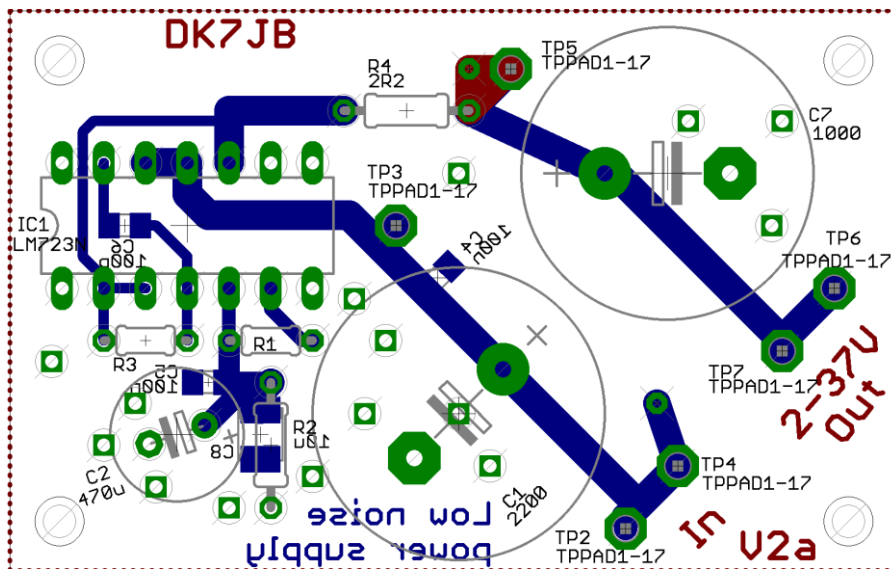
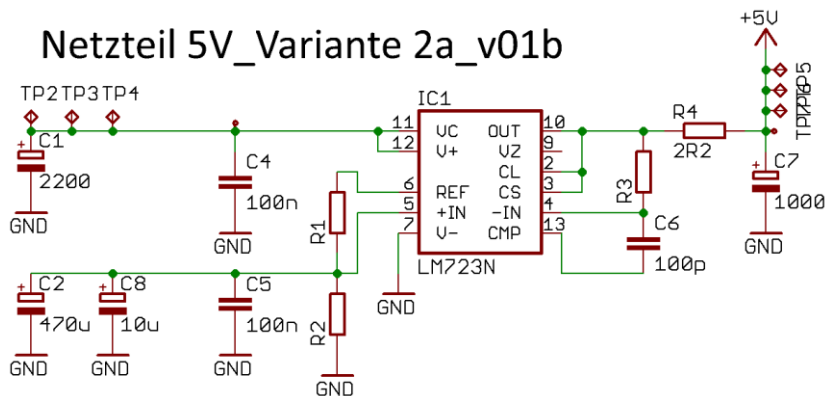


Netzteil 5V_Variante 5_v01b



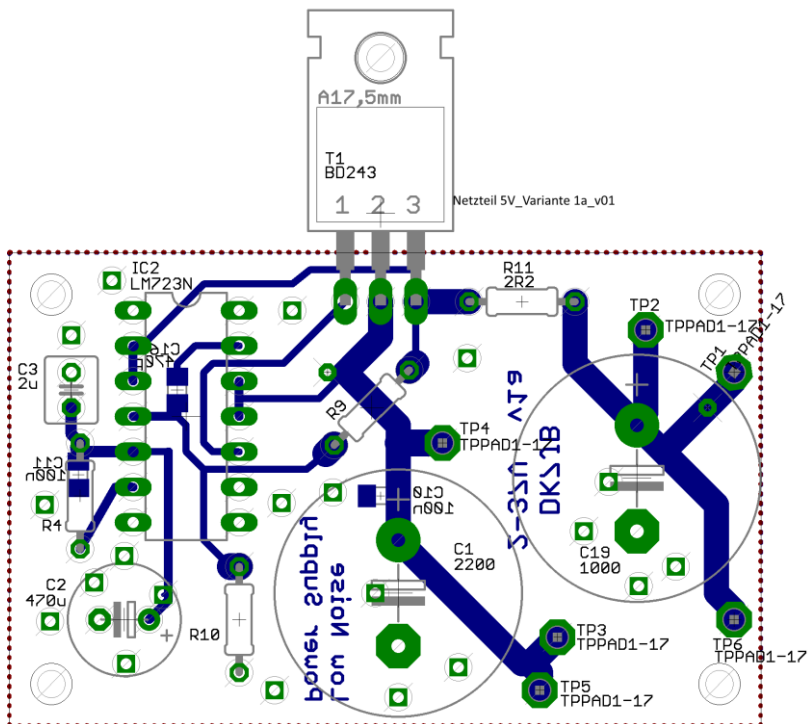
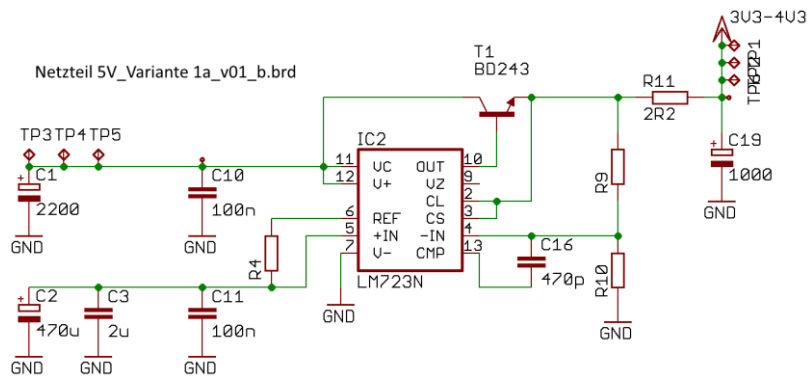
5.2.2 Netzteil 5V_Variante 2a_v01

Netzteil 5V_Variante 2a_v01b



Netzteil 5V_Variante 2a_v01b

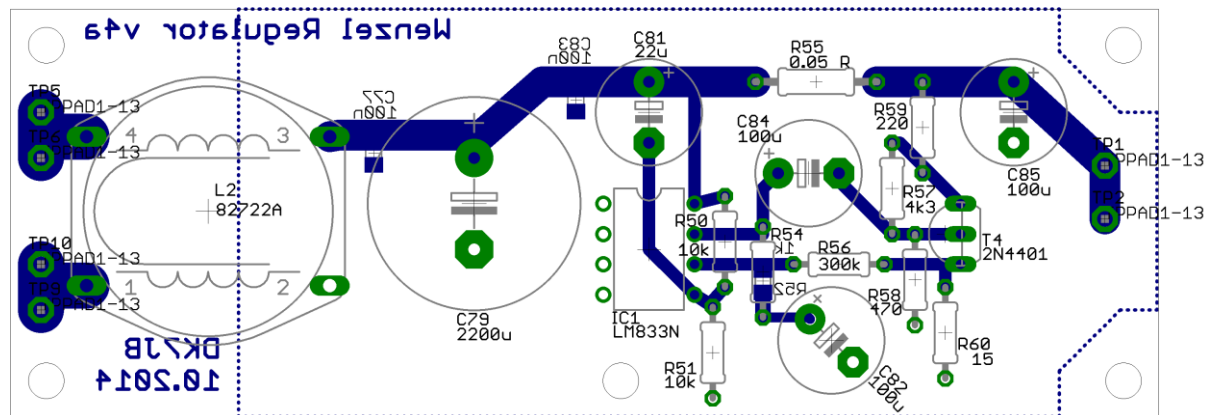
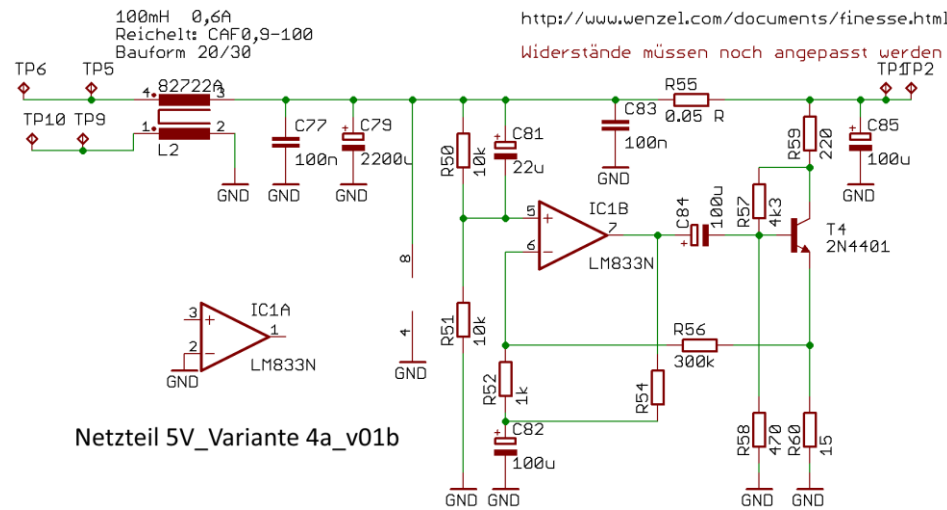
5.2.3 Netzteil 5V_Variante 1a_v01



Spannungsregler: Spannungsregler aus anderen Projekten von mir

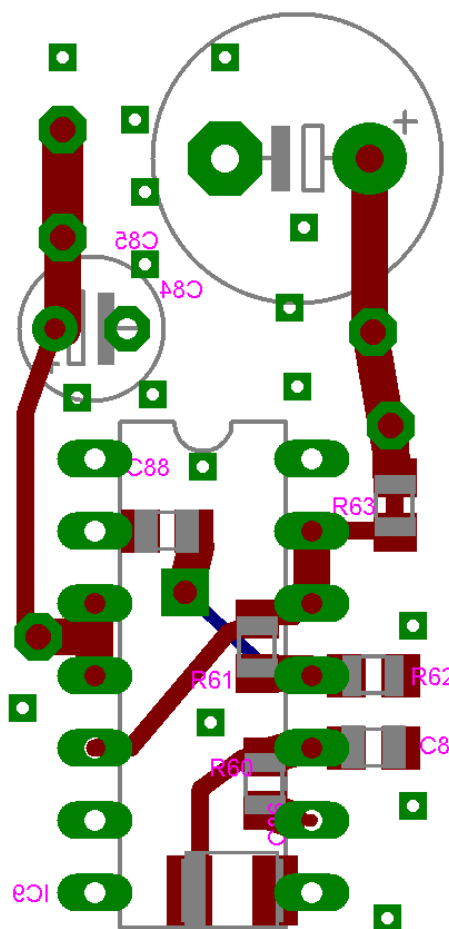
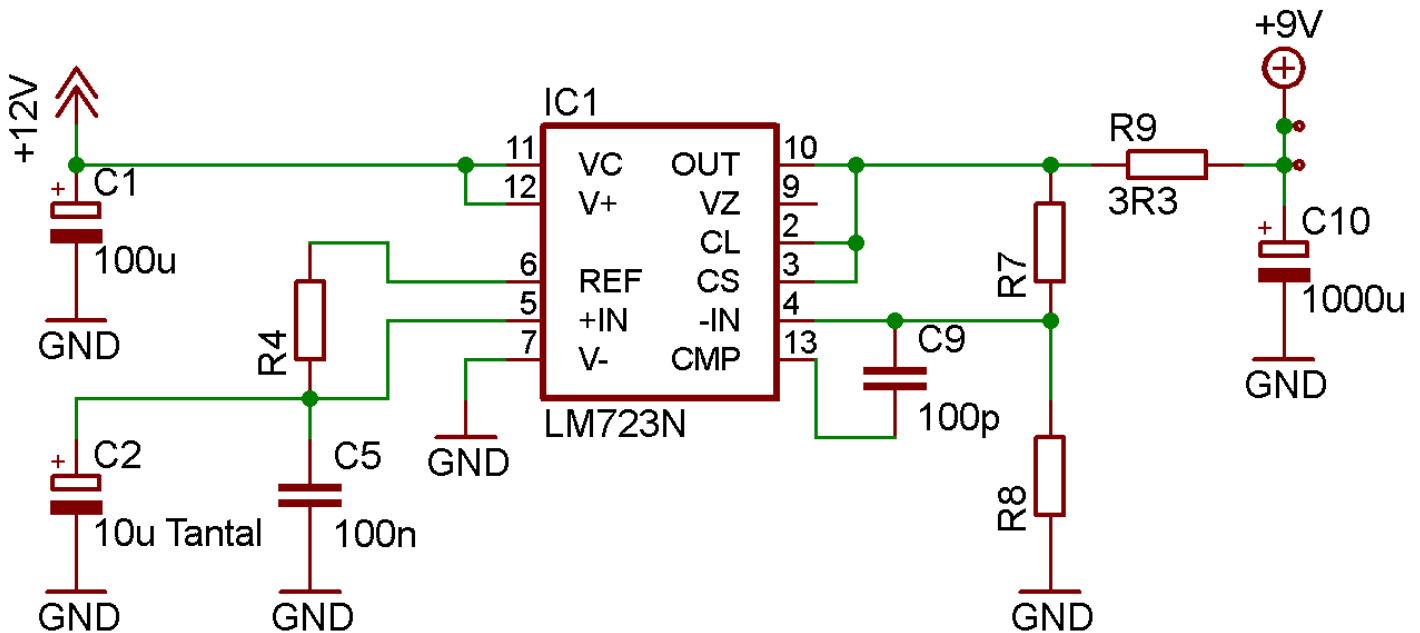
Jörn DK7JB mail@dk7jb.de

5.2.4 Netzteil 5V_Variante 4a_v01

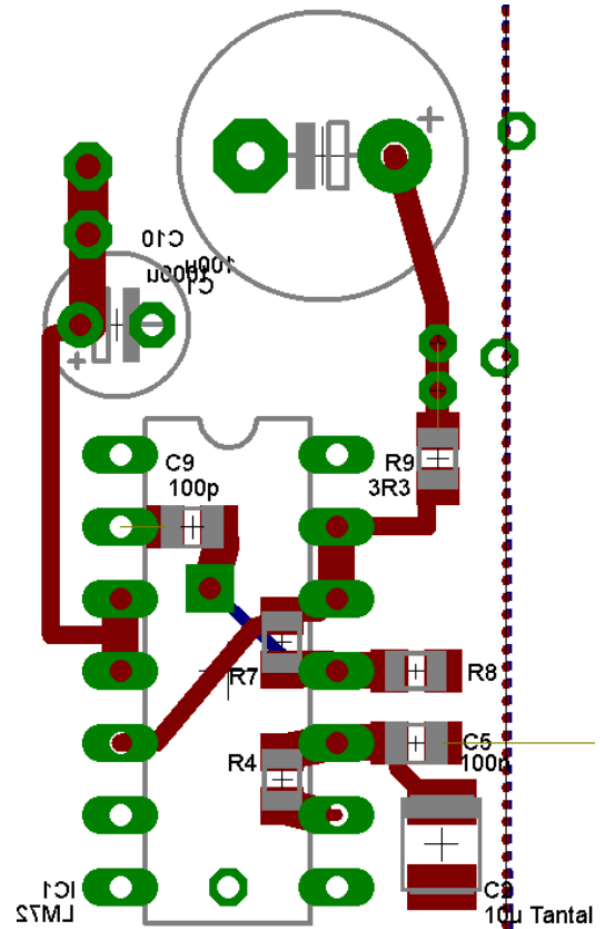


5.3 Spannungsregler-Platine

Hier findet ihr eine kleine sehr rauscharme Spannungsreglerplatine mit dem Lm723



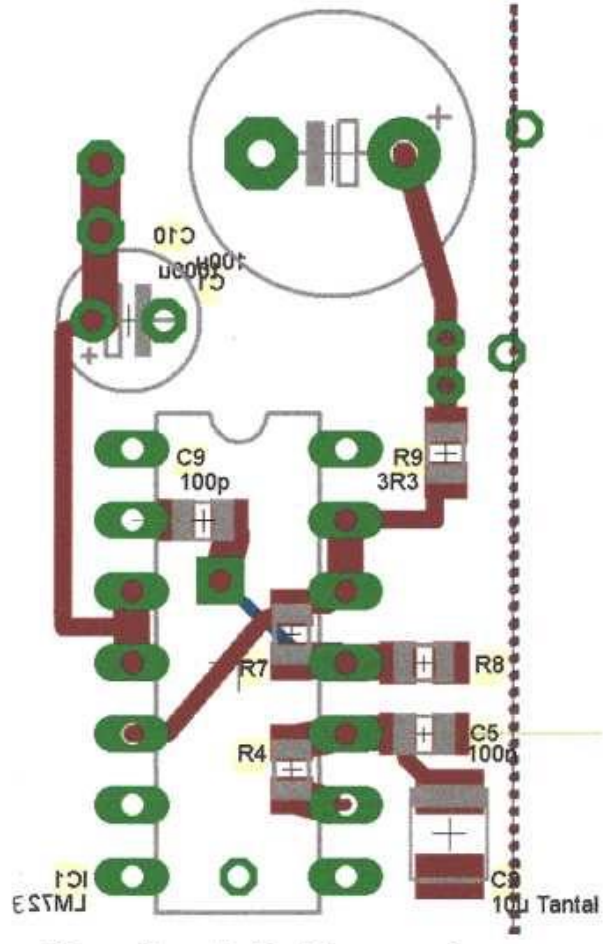
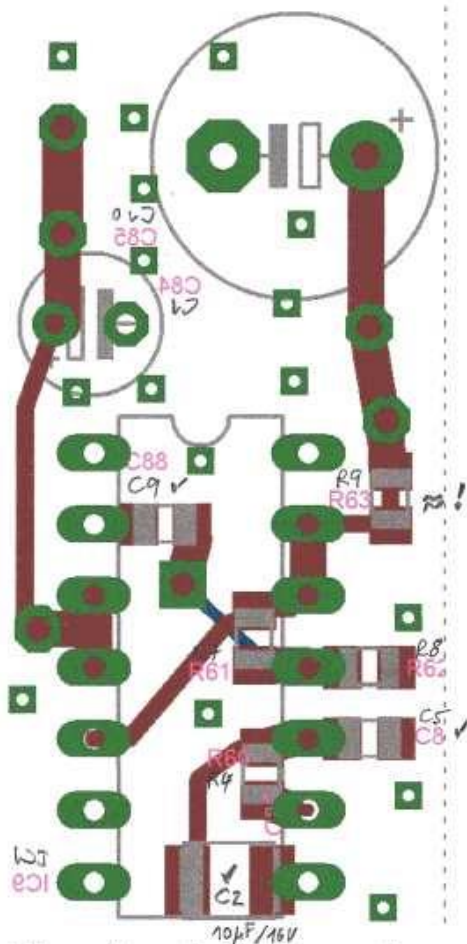
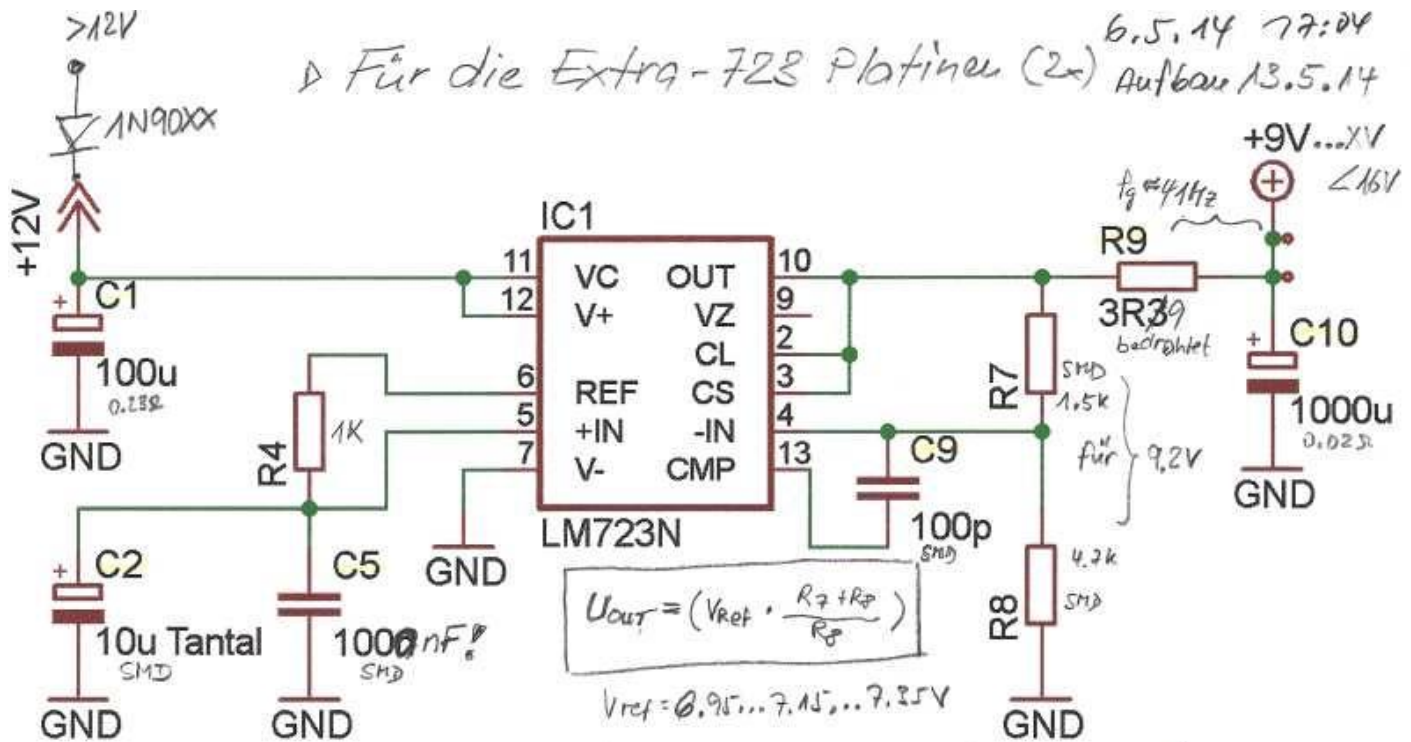
Hier stimmt das Layout



Hier stimmt die Nummerierung

Spannungsregler: Spannungsregler aus anderen Projekten von mir

Jörn DK7JB mail@dk7jb.de



TS2940CWxx

SOT223 (gleiche Pinbelegung wie beim 78L05)

Lt. Datenblatt werde am Eingang 10uF und am Ausgang 10uF als Tantal empfohlen - Low ESR Tantal oder Elkos mit einem ESR < 2 Ohm. Ultra Low ESR oder Keramik Kondensatoren sollen Unstabilitäten hervorrufen können. Größere Werte verbessern die transient response, ripple rejection und können das Ausgangsrauschen verbessern.

LM1117 oder REF1117

SOT223

Cin = 10uF

Cout = 10uF ESR 0,3-22 Ohm (besser 22uF oder größer)

5.4 Weitere Spannungsregler, die angeblich rauscharm sein sollen

ADM7150 <http://www.analog.com/en/power-management/linear-regulators/adm7150/products/product.html>

ISL9003A <http://www.elektronikpraxis.vogel.de/leistungselektronik/articles/59327/>

[LP2985](#)/3985, [MAX8877](#)/8878, TPS7A49xx/TPS79301, [LT1761](#)/LT1762/LT1763/LT1964

6 Messung weiterer Parameter

www.all-electronics.de/download/textmedia/4656/ei10-10-062.pdf

<http://www.elektronikpraxis.vogel.de/hardwareentwicklung/articles/121742/>

<http://www.analog.com/library/analogDialogue/archives/41-05/ldo.pdf>

http://www.amplifier.cd/Technische_Berichte/Spannungsreferenzen/Spannungsreferenz.html

www.ti.com/lit/an/slaa414/slaa414.pdf

<http://www.sinus-electronic.de/datenblaetter/aic/an01-003.pdf>

<http://www.powerguru.org/wide-bandwidth-psrr-of-ldos/>

<http://www.omicron-lab.com/bode-100/application-notes-know-how/application-notes/psrr-measurement.html>

<http://www.accelinstruments.com/Applications/TS200/LDO-PSRR-AppNote.pdf>

<http://www.tij.co.jp/jp/lit/an/slyt202/slyt202.pdf>

www.farnell.com/datasheets/1760785.pdf