

Eigenbau Präzisions- Labornetzteil

2 x 0..30V 0..3A



Inhaltsverzeichnis

1. Gesamtkonzept Labornetzteil.....	3
1.1. Technische Daten / Funktionen (Änderungen im Abschnitt 6 sind bereits berücksichtigt!).....	4
1.2. Geräteverdrahtung.....	6
1.3. Elektrische Sicherheit beim Gerätebau.....	7
1.4. Sicherheitshinweise zur Bedienung und Nutzung des fertigen Gerätes.....	8
2. Stromversorgung.....	9
2.1. Stromversorgung der beiden Regelnetzteile.....	9
2.2. Schaltnetzteil 12V/5V.....	12
2.3. Bauteilliste Stromversorgung (Preise Okt. 2011).....	13
3. Regelnetzteile und Gerätesteuerung.....	14
3.1. Gerätesteuerung.....	14
3.2. Regelnetzteil.....	15
3.3. Bauteilliste für Regelnetzteile und Gerätesteuerung (Preise Okt. 2011).....	20
4. Anzeigeplatine und Gehäusegestaltung.....	21
4.1. Schaltplan Anzeigeplatine.....	21
4.2. Umbau der 7-Segment Digitalanzeigen und anderer Bauteile.....	23
4.3. Layout und Bestückungsplan.....	24
4.4. Gehäusegestaltung.....	27
4.5. Bauteilliste Frontplatte und Gehäuse (Preise Okt. 2011).....	34
4.6. Gestaltungsvorschlag Frontplatte.....	35
5. Kalibrierung.....	36
6. Letzte Änderungen an der Schaltung, Fazit.....	38

Autor: *Dipl. Ing. Uwe Behrndt* <http://www.hauscomputer.gmxhome.de/> email: ubehrndt@web.de April 2012

Quellen: - Anregung für das Regelnetzteil: „Labornetzteil 30V/3A“ von
M. Ruhwald www.mitchsoft.de/elektronik/projects/netzteile/regelbar/index.html (mit freundlicher Genehmigung, Stand:14.11.2011)
- diverse PDF Bauteildokumente

Copyright: *Diese Anleitung und die entsprechenden Schaltungsunterlagen unterliegen dem Copyright Schutz und Urheberrecht. Der Nachbau und die Vervielfältigung der Unterlagen im privaten Bereich und für den privaten Gebrauch sind gestattet. Darüber hinausgehende Vervielfältigung bzw. Veröffentlichung insbesondere die kommerzielle Nutzung, auch auszugsweise, bedarf der schriftlichen Einwilligung des Autors.*

Haftung: *Für mögliche entstehende direkte oder indirekte Personen- oder Sachschäden bei der Verwendung dieser Anleitung übernimmt der Autor keinerlei Haftung.*

1. Gesamtkonzept Labornetzteil

Zunächst ein paar Worte zur Geschichte dieses Projektes:

Ein vor längerer Zeit selbst gebautes Netzteil fing an den Geist aufzugeben. Ein Blick in die Kataloge offenbarte zwar reichlich kommerzielle Geräte als Ersatz, aber so richtig auf den Bastlerbedarf zugeschnitten war keins dabei. Insbesondere die „Sicherheitsanschlussbuchsen“ irritierten- nicht mal einen Draht kann man da anklebmen! So entstand die Idee mit aktuellen Bauteilen im Bereich um 200 € ein eigenen Bedürfnissen angepasstes Netzteil zu entwickeln und zu bauen. In kurzer Zeit fanden sich 4 Bastler, die ihre Erfahrungen aus den Bereichen Kfz, Modellbau und Schaltungsentwicklung in das nachfolgend vorgestellte Projekt einfließen ließen. Letztlich wurde zwar der Kostenrahmen überschritten (die fertigen Geräte kosten jeweils um 300 €), es waren sich aber alle einig, dass die Verwendung hochwertiger Bauelemente der richtige Weg war - schließlich sollte das Ergebnis mehrere Jahrzehnte genutzt werden. Während der Entwicklung wurde auch ein digitaler Abwärtsregler dimensioniert, letztlich aber aus verschiedenen Gründen wieder verworfen. Der Einsatz von Mikroprozessoren scheiterte an dem Wunsch mehrere potenzialgetrennte Netzteile zu erhalten, der Einsatz von Schaltnetzteilen für die Präzisionsregler an der derzeit mangelhaften Zuverlässigkeit derartiger Netzteile (u.a. wegen zu geringer BTF der Kondensatoren). Der Entwicklungs- und Bauaufwand lag bei ca. 400 Mannstunden für alle 4 Geräte. Letztlich ist aber ein äußerst vielfältig einsetzbares Netzteil herausgekommen, dass hoffentlich lange halten wird!

Zur Bauteilwahl:

- Im Netzteil wurden im Interesse einer langen Lebensdauer nur hochwertige Komponenten verwendet. Elkos also bis 105°C, Widerstände als Metallschichtwiderstände, Einstellregler als Spindeltrimmer, Spannungs- und Stromregler als 10-Gang Potentiometer.
- Als Polklemmen wurden die teuren PKI-10 Klemmen verwendet. Sie werden nicht heiß, haben ausreichend Tiefe auch für lange Büschelstecker und besitzen ein Loch im Gewinde für eine sichere Drahtbefestigung. Allerdings wird das Gerät damit um ca. 25 € teurer im Vergleich zu alternativen Klemmen. An den beiden Präzisionsnetzteilen sind für „+“ und „-“ jeweils 2 Klemmen vorhanden. Das erleichtert u.a. die Kaskadierung der Netzteile und vermeidet die sonst notwendigen „Verteiler“.
- Das Gehäuse ist eine sehr stabile, verwindungssteife pulverbeschichtete Metallausführung

Das Labornetzteil besteht aus folgenden Komponenten:

- zwei identisch aufgebaute und potenzialgetrennte Regelnetzteile 0 – 30 V, 0 – 3 A
- Standard Spannungsausgänge mit +5V, +12V, sowie ein regelbarer hochohmiger Spannungsausgang und ein Multimeter 0 – 30 V
- zwei USB Ausgänge (+5V) zum Laden von Handys/Multimediageräten
- entsprechende Anzeigen und Buchsen

1.1. Technische Daten / Funktionen (Änderungen im Abschnitt 6 sind bereits berücksichtigt!)

Eingangsspannung:	230V AC
Stromaufnahme Normalbetrieb/Standby/Aus:	max. 370 W/ 16W/ 0W
Gewicht:	7,3 Kg

2x Präzisionsnetzteile 0 – 30 V / 0 – 3 A mit je:

Ausgangsspannung, analog einstellbar:	0,0 V – 30,0 V; $R_i < 0,01 \text{ Ohm}$; kurzschlussfest; interner Verpolschutz; thermische Überwachung; Standby – Schalter
Spannungskonstanz bei Lastwechsel (0 – 3 A):	+/- 1,5 mV
Spannungsanzeige:	0,00 V – 30,00 V; Auflösung 10 mV; Genauigkeit 0,2 % erreichbar*
Ausgangsstrom, analog einstellbar:	0 – 3,0 A (0 – 27 V); 0 – 2,0 A (27 – 30 V); Begrenzungsanzeige über LED
Geschwindigkeit der Spannungsregelung bei Lastwechsel:	$> 0,13 \text{ V}/\mu\text{s}$ bzw. $> 130 \text{ V}/\text{ms}$
Totzeit der Stromregelung bei Lastwechsel:	$< 800 \mu\text{s}$ (bei Spannungssprung von 30 V)
Anzeige Ausgangsstrom:	0 mA – 3000 mA; Auflösung 1 mA; Genauigkeit 0,2 % erreichbar*

*siehe Abschnitt 5 (Kalibrierplan)

1x Festspannungsnetzteil 12 V / 5 V mit Zusatzfunktionen:

Festspannungen:	12 V/ 1,3 A; 5 V/ 1,3 A +/- 5%
regelbarer Spannungsausgang	0,0 V – 12 V / $R_i = 1,2 \text{ KOhm}$
Voltmeter, fester Messbereich	0,00 V – 30,00 V; Auflösung 10 mV; Genauigkeit 0,8 %
2x USB Buchsen	Ladebeschaltung 5 V für Handys/Multimedengeräte
2x Microfassung für LEDs, Zehnerdioden	1x 12V / 10 mA 1x regelbar / $\leq 10\text{mA}$

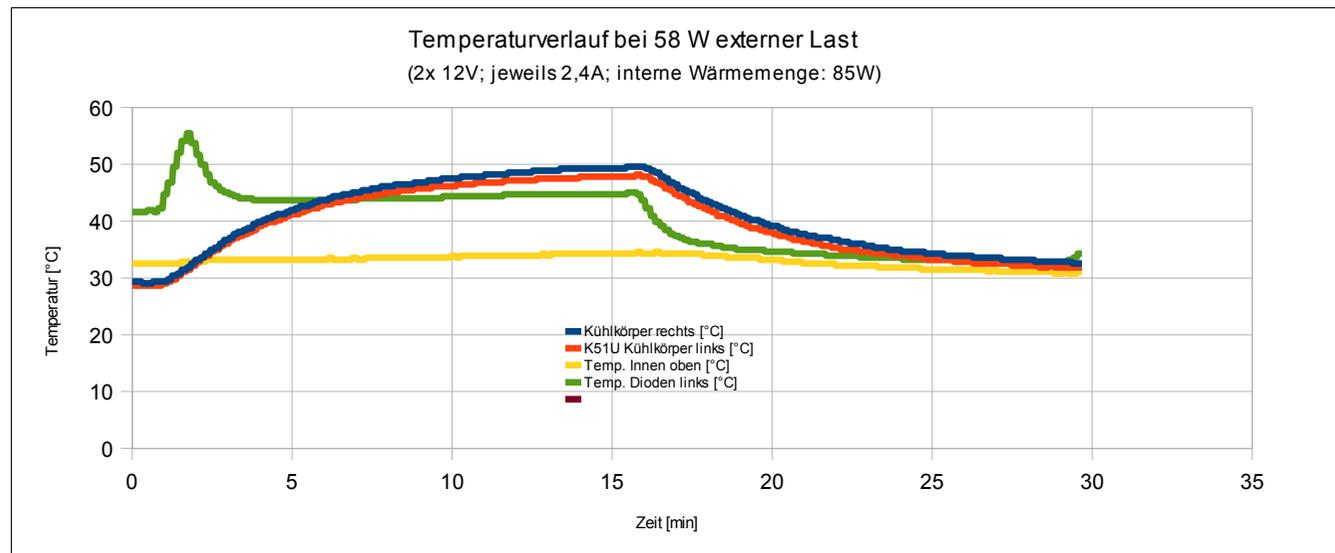
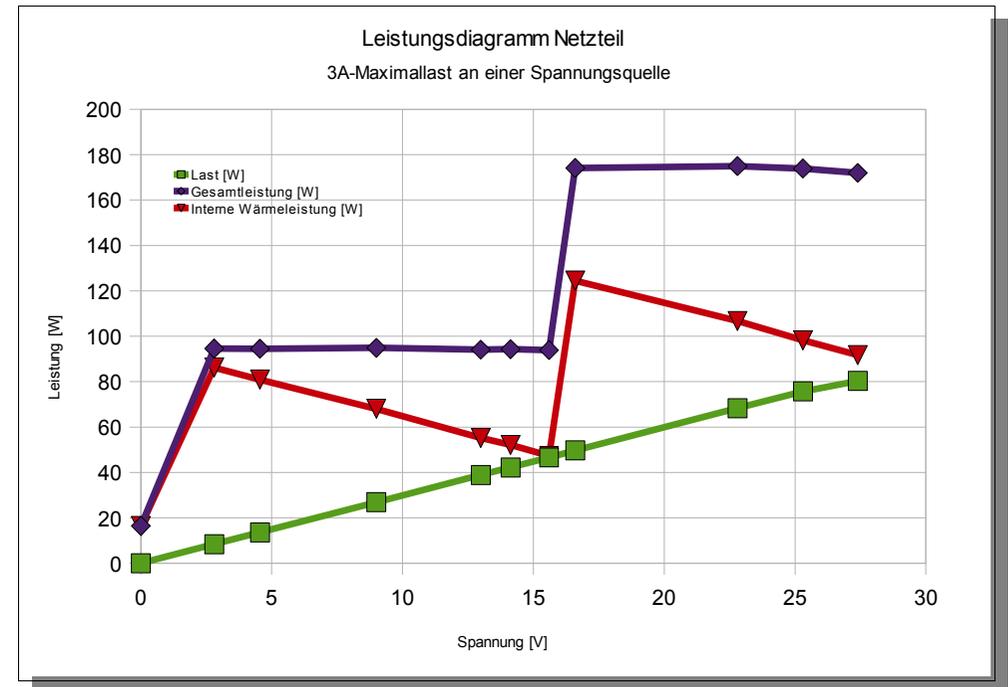
Durch entsprechende äußere Kabelbrücken können u.a. folgende Funktionen realisiert werden:

- durch Kaskadierung bzw. Parallelschaltung der Netzteile sind Spannungen bis zu 72 V, Ströme bis zu 6 A sowie symmetrische Spannungen möglich
- direkter Funktionstest von LEDs
- Anzeige der Flussspannung von LEDs, Zehnerdioden oder anderer Halbleiter bis 12V ohne zusätzliche Bauelemente
- Betrieb von OPVs mit -5 V und +7 V Spannungsversorgung und Bereitstellung einer regelbaren Spannung über diesen Bereich
- gut ablesbares, frei verwendbares Voltmeter 0..+30,00 V

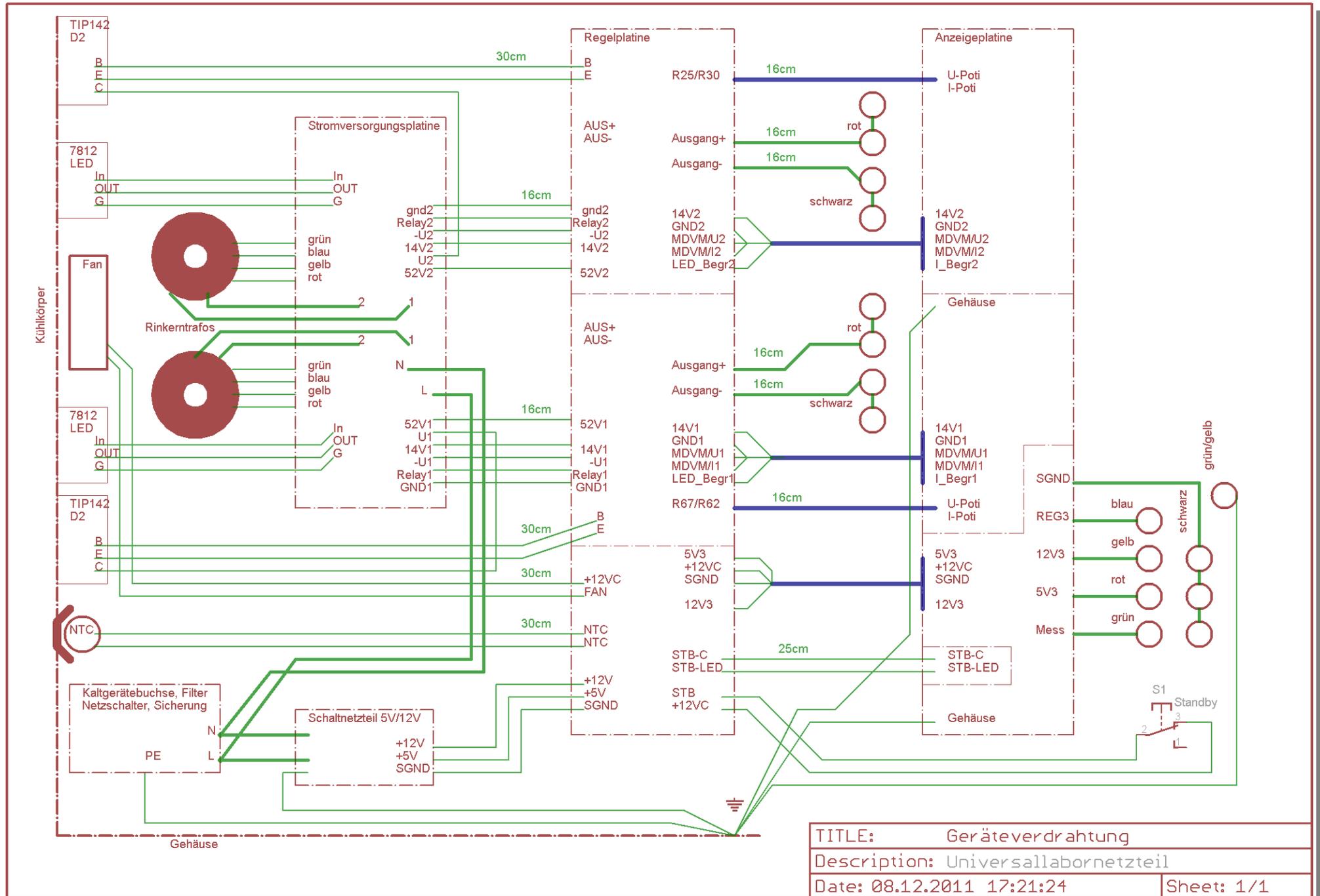
Leistungsbilanz:

Durch die Auslegung der Spannungsregelung mit Längsregeltransistoren wird bei Belastung ein nicht unerheblicher Teil der umgesetzten Energie als Wärme an den Längsregeltransistoren frei und muss abgeführt werden. Diese Wärmemenge ist direkt proportional der fließenden Ströme und abhängig davon, in welchem Modus die Trafowicklungen geschaltet sind. Das nebenstehende Diagramm zeigt die abzuführende Wärme (rote Linie), wenn nur eine Spannungsquelle mit dem Maximalstrom (3A) belastet wird. Werden beide Netzteile dagegen voll belastet, verdoppeln sich die Leistungswerte entsprechend.

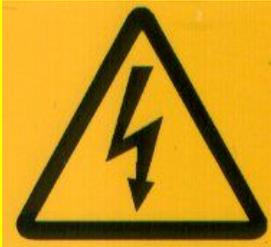
Die Auslegung des Kühlkörpers und des internen Lüfters sind entscheidend für die maximal abführbare Wärmemenge. Beim Mustergerät stellten sich nach 20 min 50°C für 85W und 73°C am Kühlkörper für 135W abgegebene Wärmeleistung ein. Der letztere Wert wurde mit einer Last von jeweils 2 A an beiden Spannungen bei 25 V ermittelt. Nachstehendes Diagramm verdeutlicht die Erwärmung im Lastfall. Interessant ist dabei auch der Temperaturverlauf an den Leistungsdioden (grüne Linie). Mit der automatischen Zuschaltung des Lüfters nach ca. 1 min kühlt der interne Luftstrom sie merklich ab. Die thermischen Untersuchungen wurden übrigens mit den Möglichkeiten des Projektes „Hauscomputer selbst gebaut“ realisiert.



1.2. Geräteverdrahtung



1.3. Elektrische Sicherheit beim Gerätebau



Achtung:

Aufgrund der in den nachfolgend beschriebenen Geräten z.T. frei geführten Netzspannung dürfen Aufbau und Inbetriebnahme ausschließlich von Fachkräften durchgeführt werden, die aufgrund ihrer Ausbildung dazu befugt sind. Die einschlägigen Sicherheits- und VDE- Bestimmungen sind unbedingt zu beachten.

Der Autor übernimmt keinerlei Haftung über Schäden jeglicher Art, die direkt oder indirekt durch die aufgebauten Geräte verursacht werden.

Beim Bau des Gerätes sind folgende Maßnahmen zur Einhaltung der entsprechenden Vorschriften umzusetzen:

- Das Metall-Gehäuse ist mit dem Schutzleiter über ein 2,5 mm² Kabel elektrisch leitend zu verbinden. Die Befestigungsschrauben der Gehäuseschalen müssen ausreichend Strom ableiten können, eventuell ist Lack zu entfernen.
- Bei der Verwendung Ausrangierter Kaltgerätebuchsen, Netzschalter ist auf das Vorhandensein des VDE-Zeichens zu kontrollieren.
- Die Verdrahtung der netzführenden Teile muss mit Kabel von mindestens 0,75 mm² Querschnitt erfolgen. Kabeltyp H05VV-F wird empfohlen.
- Der Abstand aktiver Leiter der Primärseite zu Leitern oder Bauteilen der Sekundärseite sollte > 1 cm betragen.
- Die metallenen Potentiometerachsen auf der Anzeigeplatine sind elektrisch mit dem Gehäuse zu verbinden. Dazu sind die Kupferflächen, an welchen die Potentiometer geschraubt sind, vorgesehen. Die dazu notwendigen zwei Erdungsleitung zum Gehäuse sollten 1,5 mm² Querschnitt besitzen.
- Der Kühlkörper auf der Gehäuserückseite muss elektrisch leitend mit dem Gehäuse verbunden sein.
- Alle angegebenen Sicherungen dürfen nicht überbrückt oder durch unempfindlichere ersetzt werden.
- Beim künftigen Einsatz des Gerätes dürfen die (potenzialgetrennten) Spannungen zwar kaskadiert aber letztlich nicht mit Netzspannung führende Schaltungen verbunden werden. Die maximale Differenzspannung zwischen Ausgangsspannungen und Gehäuse sollte unter 200 V liegen. Insbesondere die Leiterbahnabstände auf der Anzeigeplatine, die Isolierung der TIP142 und 7812 mit Glimmerscheiben sowie der innere Aufbau der 10 Gang Potentiometer sind nicht auf größere Spannungsdifferenzen ausgelegt (Model 533 maximal 500 V DC, Leiterzugabstände ca. 2 mm). Der geringste Abstand ist 1 mm zwischen dem Befestigungs- Anschluss des Lüftungsreglers (liegt am Kühlblech auf Masse) und der an diesem Regler angeschlossenen Masse des Schaltnetzteils (SGND). Bei normalen Anwendungen, die nicht anderweitig geerdet sind, ist ein Pol der Ausgangsspannung mit dem Schutzleiter zu verbinden (z.B. Brücke zwischen Minus und grün/gelber Gehäuse-Buchse). Eine Isolationprüfung der am Kühlkörper angeschraubten Leistungshalbleiter vor dem Anschluss der Verkabelung mit 500V wird empfohlen.
- Zur Verbesserung des Schutzes vor statischen Überspannungen (insbesondere bei Arbeiten mit empfindlichen Halbleitern) sind auf der Anzeigeplatine für jedes der drei Netzteile ein zusätzlicher Widerstand (R25-R27) 1 M Ohm/2 W (Reichert: 2W METALL 1,0M) zwischen Gehäuse und der jeweiligen 0V Leitung vorgesehen.

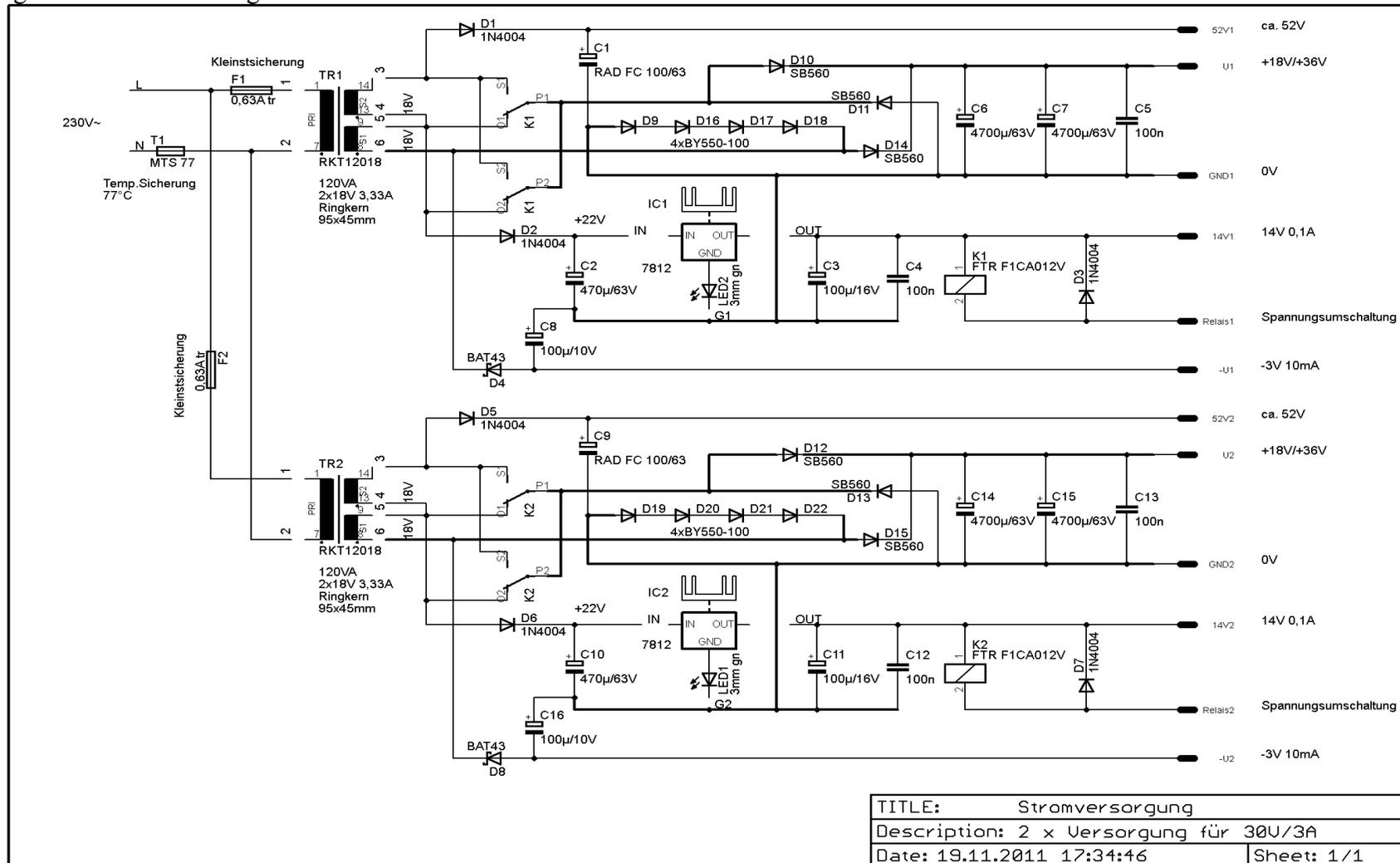
1.4. Sicherheitshinweise zur Bedienung und Nutzung des fertigen Gerätes

- Das Gerät nur an Steckdosen mit geerdetem Nullleiter anschließen.
- Das Gerät nicht auf feuchten oder nassem Untergrund betreiben.
- Verwendete Verbindungsleitungen sind vor Gebrauch auf Zustand zu überprüfen, defekte Isolierungen können zu Kurzschlüssen führen!
- Für ausreichende Belüftung des hinteren Kühlkörpers ist zu achten.
- Niemals Gegenstände in die Gehäuseöffnungen einführen.
- Keine Flüssigkeiten in der Nähe abstellen, das Gerät nicht unter freiem Himmel bei Regen betreiben.
- Bei starken Temperaturunterschieden mit dem Betrieb ausreichend lange warten, bis sich die Temperatur des Gerätes angeglichen hat. Kondensatbildung ist unbedingt zu vermeiden.
- Das Öffnen des Gerätes, sowie entsprechende Arbeiten am Inneren des Gerätes dürfen nur qualifizierte Fachkräfte.
- Beim Verbinden benötigter Spannungen mit der gewünschten Anwendung darauf achten, dass die Gesamtschaltung immer an einer Stelle geerdet ist. Andernfalls kann es zu Überspannungen und damit zu Beschädigungen/Zerstörungen elektrischer Komponenten kommen.
- Im Normalbetrieb oder bei Kurzschlüssen werden bis zu 200 W elektrische Leistung vom Netzteil an externe Bauelemente abgegeben – Brandgefahr!
- Bei nicht sachgemäßer Zusammenschaltung elektronischer Komponenten oder bei Überschreitung zulässiger Spannungen können Elektrolytkondensatoren sich in kurzer Zeit überhitzen – Explosionsgefahr!
- Defekte Sicherungen immer durch gleichstarke Sicherungen des gleichen Typs ersetzen.

2. Stromversorgung

2.1. Stromversorgung der beiden Regelnetzteile

Die Stromversorgung der beiden Regelnetzteile ist identisch und besteht im wesentlichen aus jeweils einem Ringkerntransformator, den Gleichrichtern und einigen Kondensatoren. Zur Verringerung der thermischen Belastung der Längsregeltransistoren in den Regelnetzteilen wird die Hauptspannung U1 (U2) mit einem Relais bei Bedarf zwischen 18V und 36V umgeschaltet. Für Operationsverstärker, Relais und der Spannungs- und Strom Anzeigen werden über einen μ A7812 mit zusätzlicher grüner LED am Masseanschluss des 7812 +14V bereitgestellt. Für den sicheren Betrieb der Netzteile insbesondere der Regelung der Ausgangsspannung bis auf 0 V herunter wurde eine negative Spannung benötigt. Sie wird über einen Trick erzeugt: 4 Si-Dioden in Reihe haben eine um 3V höhere Flussspannung als eine Schottky Diode. Damit entfällt ein zusätzlicher Spannungswandler. Die erhöhte Wärmeabgabe über diese Diodenkette bei 3 A Ausgangsstrom wird in Kauf genommen.



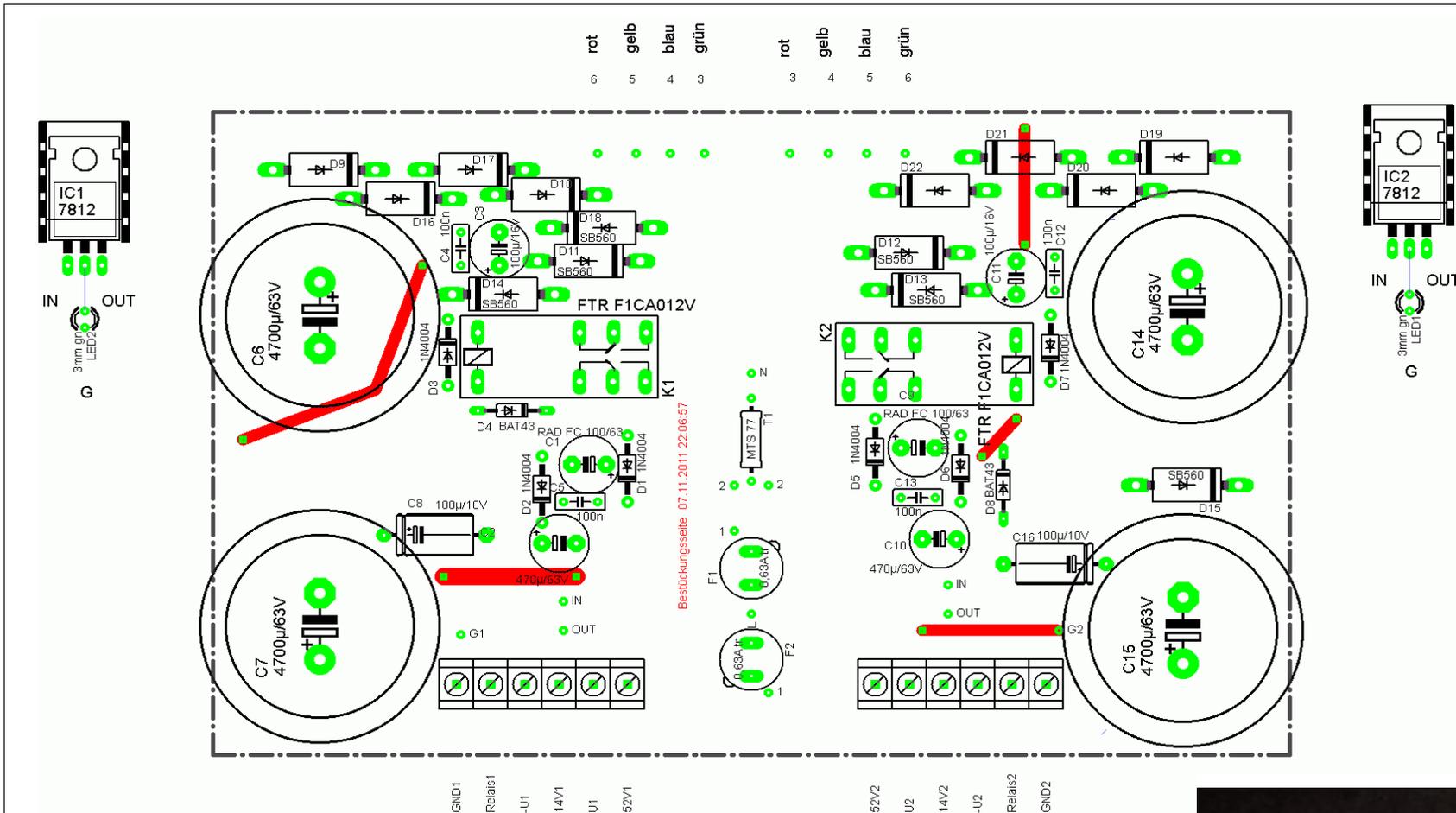


Abbildung 1: Stromversorgungsplatine - Bestückung

Hinweise zur Bestückung:

Die Temperatursicherung MTS77 reagiert äußerst empfindlich beim Einlöten. Um eine Fehlauslösung zu verhindern, haben wir die Anschlüsse vorher mit Baumwollstreifen umwickelt und mit Isopropanol getränkt. Die Lötzeit sollte so kurz wie möglich sein. Anschließend die Sicherung auf Durchgang prüfen! Die Spannungsregler μA 7812 werden jeweils mit 2 Glimmerscheiben am Kühlkörper befestigt. Eine kleine Lochrasterplatte nimmt die LED und die Anschlussleitungen auf.

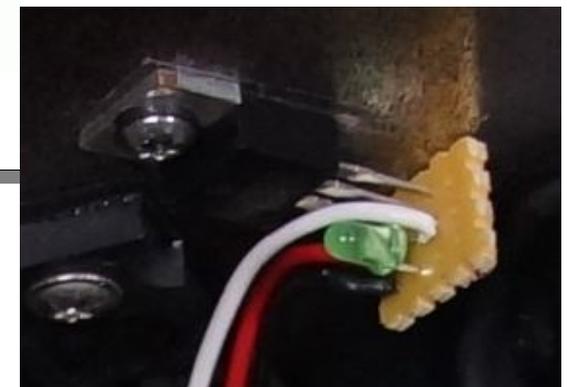


Abbildung 2: Befestigung des Spannungsreglers μA 7812 mit LED

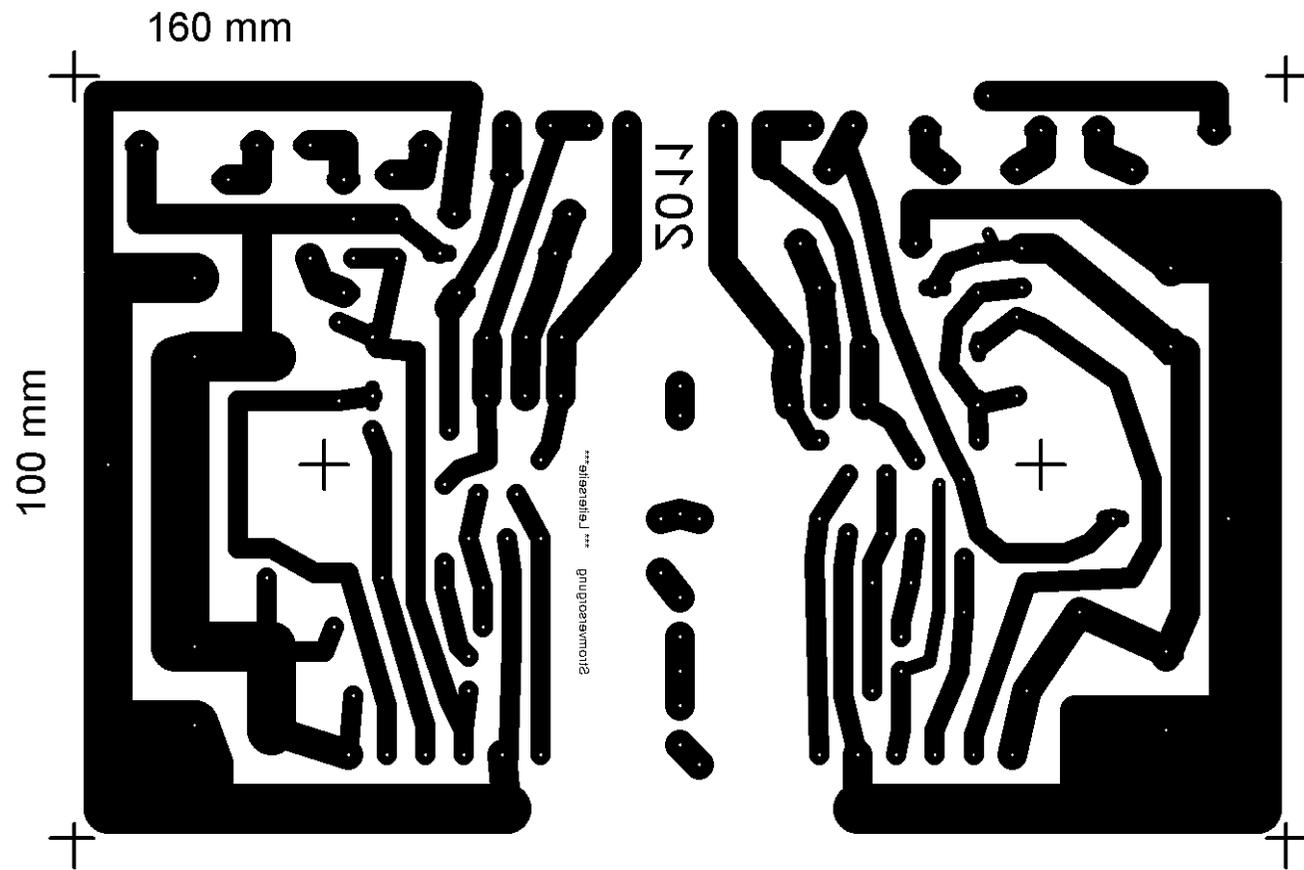


Abbildung 3: Stromversorgungsplatine – Leiterseite

2.2. Schaltnetzteil 12V/5V

Für die Bereitstellung der Festspannungen +5V und +12V sollte man selbstredend auf fertige Schaltnetzteile zurückgreifen, sie sind zum einen preiswert und sparen natürlich eine Menge Zeit beim Bau. Zudem benötigen Schaltnetzteile nur wenig Platz bei relativ großer abgegebener Leistung, auch eine Kühlung entfällt. Einziges Problem ist die (leider) noch begrenzte Lebensdauer derartiger Netzteile. Bedingt durch die relativ geringe Zuverlässigkeit der verbauten Kondensatoren bei den preiswerten Geräten muss man mit einem Ausfall nach mehreren Jahren rechnen. In meinem Mustergerät wurde ein Schaltnetzteil AC-005 von Rexon eingebaut. Das Netzteil wurde dazu geöffnet, die Kaltgerätebuchse entfernt und durch Kabel ersetzt. Die original vorhandene Verbindung zwischen Schutzleiter und Ausgangs- Minus wurde ebenfalls entfernt. Das Netzteil wurde mit entfernter oberer Halbschale im Gehäuse am rechten Rahmenträger befestigt. Das verringert die Temperatur im Netzteil und verlängert somit die Lebensdauer.

Das Schaltnetzteil sollte bei +5V und +12V mehr als 1A liefern. Die beiden selbstrückstellenden Sicherungen auf der Regelplatine sind für 1,5 A ausgelegt und müssen bei Bedarf entsprechend angepasst werden.

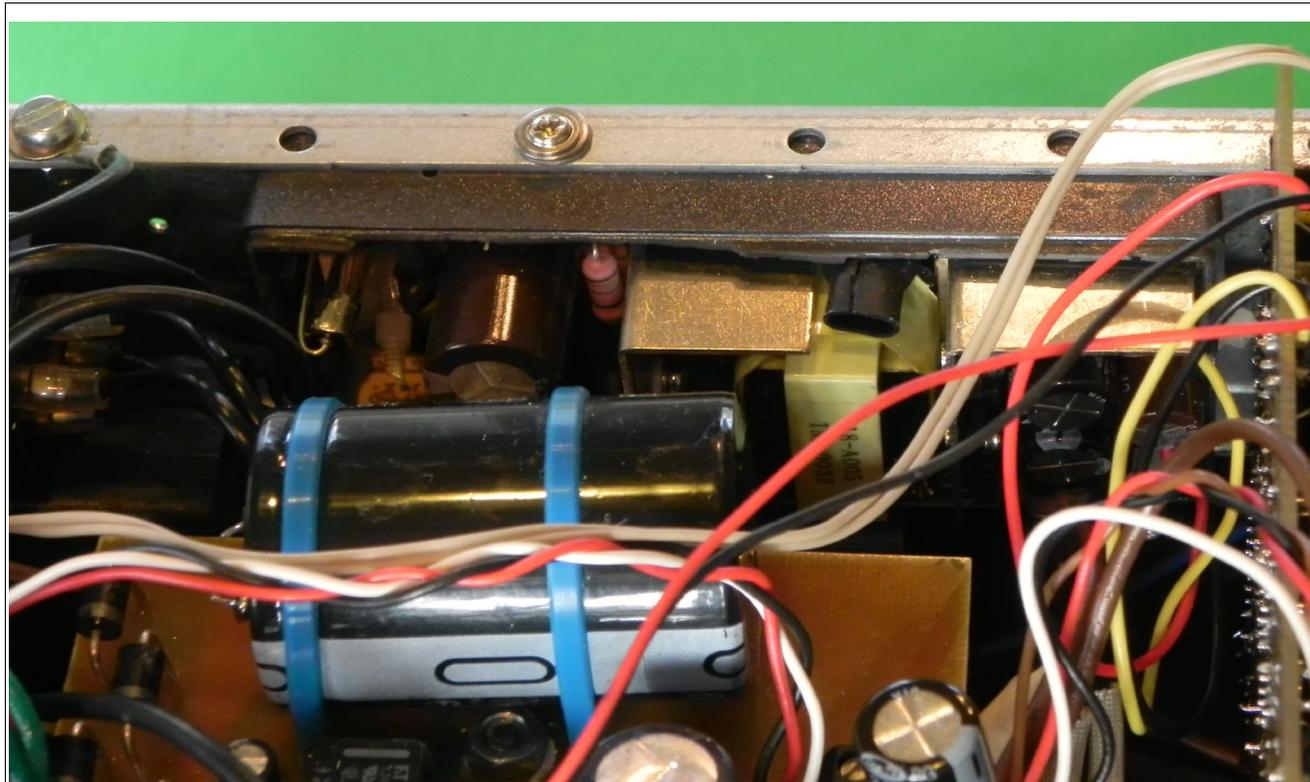


Abbildung 4: Schaltnetzteil mit geöffnetem Gehäuse im rechten Rahmenträger

2.3. Bauteilliste Stromversorgung (Preise Okt. 2011)

Hinweise zur Bauteilliste:

Die teure Kaltgerätebuchse mit Schalter kann man auch ausrangierten PC Netzteilen (Wertstoffhof) ausbauen. die Sicherungshalter kann man auch verzichten, wenn Mini-Sicherungen eingelötet werden.

Bei der Bestückung der Mustergeräte wurden anstelle 4 angegebenen 4700µF Kondensatoren 2 Kondensatoren 10000µF/63V von Conrad Electronic (Bestellnr. 446237-94) für 6 € das Stück liegend eingebaut. Diese Kondensatoren sind bis 105°C einsetzbar und sind für 4000h zertifiziert (Reichelt: Standardtyp nur bis +85°C).

Als Schaltnetzteil lassen sich natürlich auch andere als das angegebene einbauen. Tatsächlich kamen unterschiedliche Netzteile zum Einsatz: AC-005 von Rexon (5V, 12V jeweils 1,5A) sowie SPP34-12.0/5.0-2000 (5V, 12V jeweils 2A). Das letztere ist wegen seiner Parameter und seiner geringen Größe das absolut empfehlenswerteste aber auch teuerste.

Achtung! Das in der Bauteilliste angegebene Netzteil von Pollin Electronic passt nicht in das vorgestellte Gehäuse, es ist ca. 1,5 cm zu lang!

Bauteil	Anzahl	Bestellnummer	Einzelpreis	Gesamtpreis
Reichelt elektronik				
100µ/63V	2	RAD FC 100/63	0,22 €	0,44 € aus
470µ/63V	2	RAD FC 470/63	0,72 €	1,44 € Auf
100µ/16V	4	RAD FC 100/16	0,09 €	0,36 € die
100n	4	Z5U-5 100N	0,04 €	0,16 €
4700µ/63V	4	BSN 4.700/63	1,95 €	7,80 €
1N4004	6	1N 4004	0,02 €	0,12 € der
BAT43	2	BAT 43	0,04 €	0,08 €
SB560	6	SB 560	0,28 €	1,68 €
BY 550-100	8	BY 550-100	0,10 €	0,80 €
Si- Halter	2	PL 166600	0,35 €	0,70 €
Si 0,63A	2	MINI TRÄGE 0,63A	0,32 €	0,64 €
µA 7812	2	µA 7812	0,30 €	0,60 €
Isolierscheibe	2	GLIMMER TO 220	0,04 €	0,08 € das
Isolerring	2	IB 2	0,04 €	0,08 €
Relais	2	FTR F1CA012V	1,15 €	2,30 €
Anschlussklemmen	2	AKL 101-06	0,55 €	1,10 €
LED grün	2	LED 3MM GN	0,06 €	0,12 €
Temperatursicherung	1	MTS 77	0,35 €	0,35 €
Trafo 110 VA	2	RKT 12018	25,75 €	51,50 €
Leiterplatte	1	BEL 160x100-1	1,70 €	1,70 € von
Kaltgerätebuchse m. Schalter	1	FEH 2101	8,80 €	8,80 €
				0,00 €
				0,00 €
Pollin Electronic				
Schaltnetzteil 5V/>1A		72-350 913 JHS-E02AB02		
12V/>1A	1	128x52x33mm	14,95 €	14,95 €
				0,00 €
		Gesamt:		95,80 €

3. Regelnetzteile und Gerätesteuerung

3.1. Gerätesteuerung

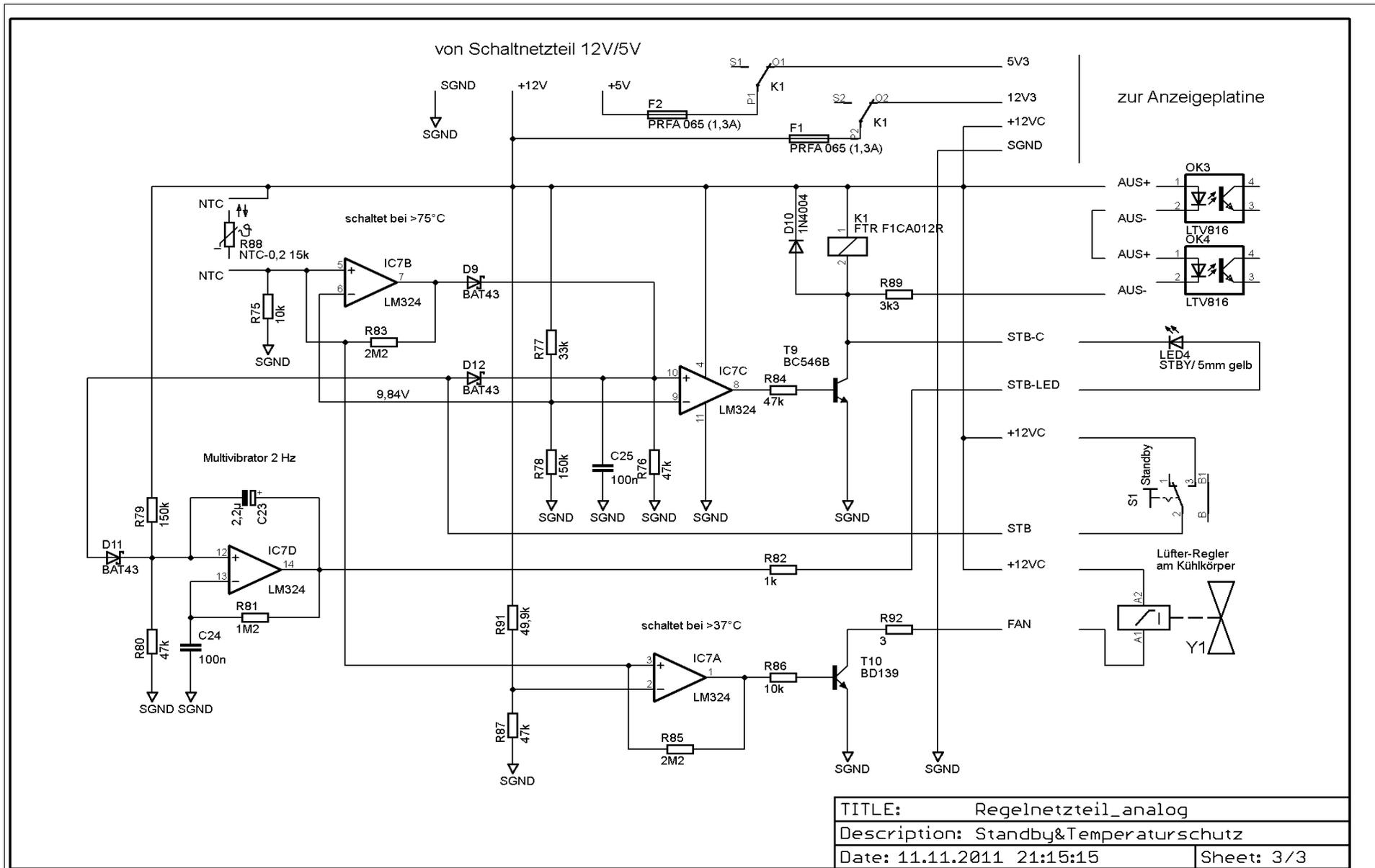


Abbildung 5: Schaltung Gerätesteuerung

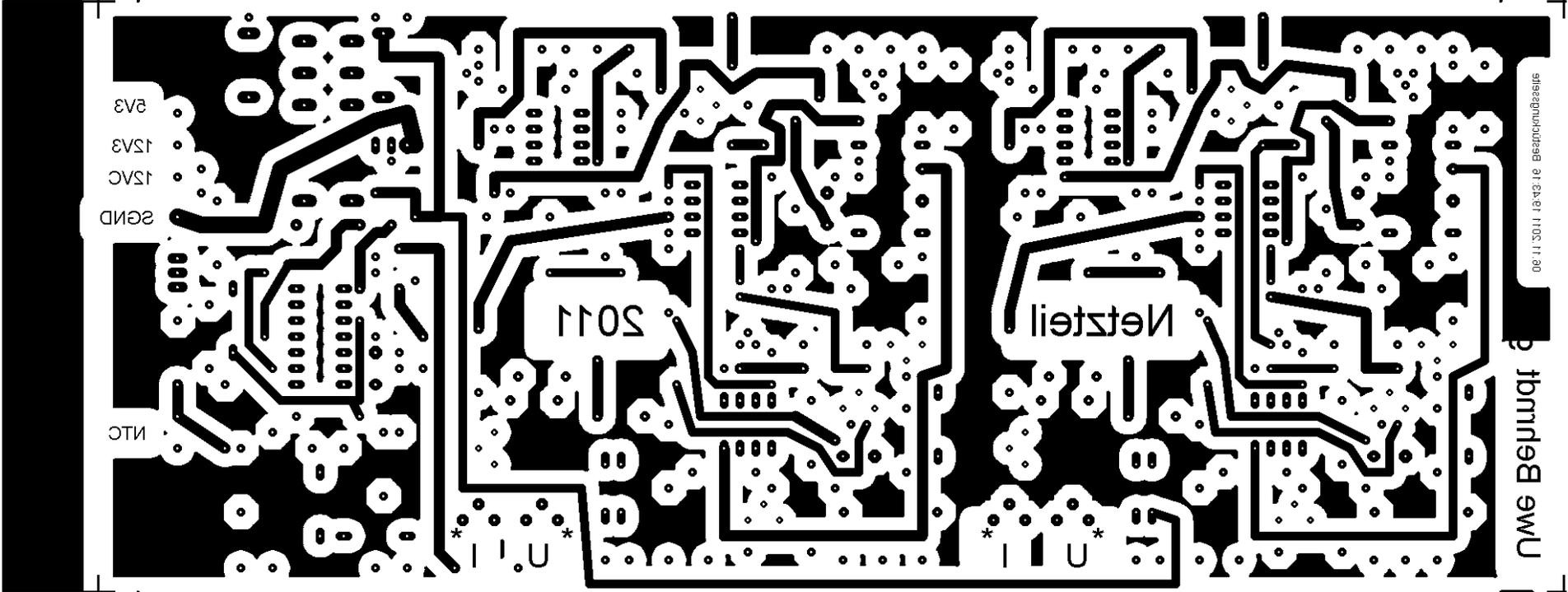
Die Gerätesteuerung umfasst die Umschaltung zwischen „Ein“ und „Standby“, sowie das Wärmemanagement. Die Netzteile können mit dem STBY Schalter spannungslos, also ausgeschaltet werden. Dabei werden über Optokoppler die Längsregler der beiden Netzteile gesperrt und über das Relais K1 die festen Ausgangsspannungen +5V und +12V getrennt. Ein NTC Widerstand (R88) misst die Temperatur am Kühlkörper und aktiviert über IC7A rechtzeitig den Lüfter. Über einen externen Regler wird bei zunehmender Temperatur die Lüfterdrehzahl kontinuierlich erhöht. Überschreitet die Kühlkörpertemperatur 75°C, so schaltet IC7B auf „high“ und das Gerät wird in den Standby-Modus versetzt, die STBY LED blinkt in diesem Fall.

3.2. Regelnetzteil

Die beiden Regelnetzteile sind als klassische Netzteile mit Längsregler und Abschaltung bei Stromüberschreitung aufgebaut. Die beiden Schaltungen sind dabei identisch. Der nachfolgende Schaltplan bezieht sich auf das erste der beiden Netzteile. Die Spannungsregelung übernimmt IC2A, die Strombegrenzung erfolgt durch den Transistor T2. Zuvor wird der fließende Strom mittels IC1B gemessen und im Komparator IC1A mit dem maximal „Soll-“ Strom verglichen. Ist die ausgegebene Spannung kleiner als die eingestellte, so steuert IC3B die LED „LED I-Begrenzung“ an. Ursprünglich war dafür ein grüne LED vorgesehen – wegen der beabsichtigten roten und grünen Colorfolien vor den Anzeigen. Letztlich wurde aber auf die Folien verzichtet und somit doch eine rote LED eingebaut. Der OPV IC3A schaltet bei Ausgangsspannungen unter +16V die Trafowicklung im Netzteil herunter, um die Wärmeentwicklung im Längsregler (T1) zu verringern. Der OPV IC2B ermittelt die korrekte Ausgangsspannung für eine massebezogene (GND1) Spannungsanzeige, indem von der Ausgangsspannung die Differenzspannung des Strommesswiderstandes R6 wieder abgezogen wird. Bei der Verwendung von LCD Anzeigen mit eigener Stromversorgung (Batterie) wäre das nicht notwendig. Mittels R38 lässt sich so auch elegant die angezeigte Spannung exakt kalibrieren. Der Konterpart zur Regulierung der Stromanzeige ist R27.

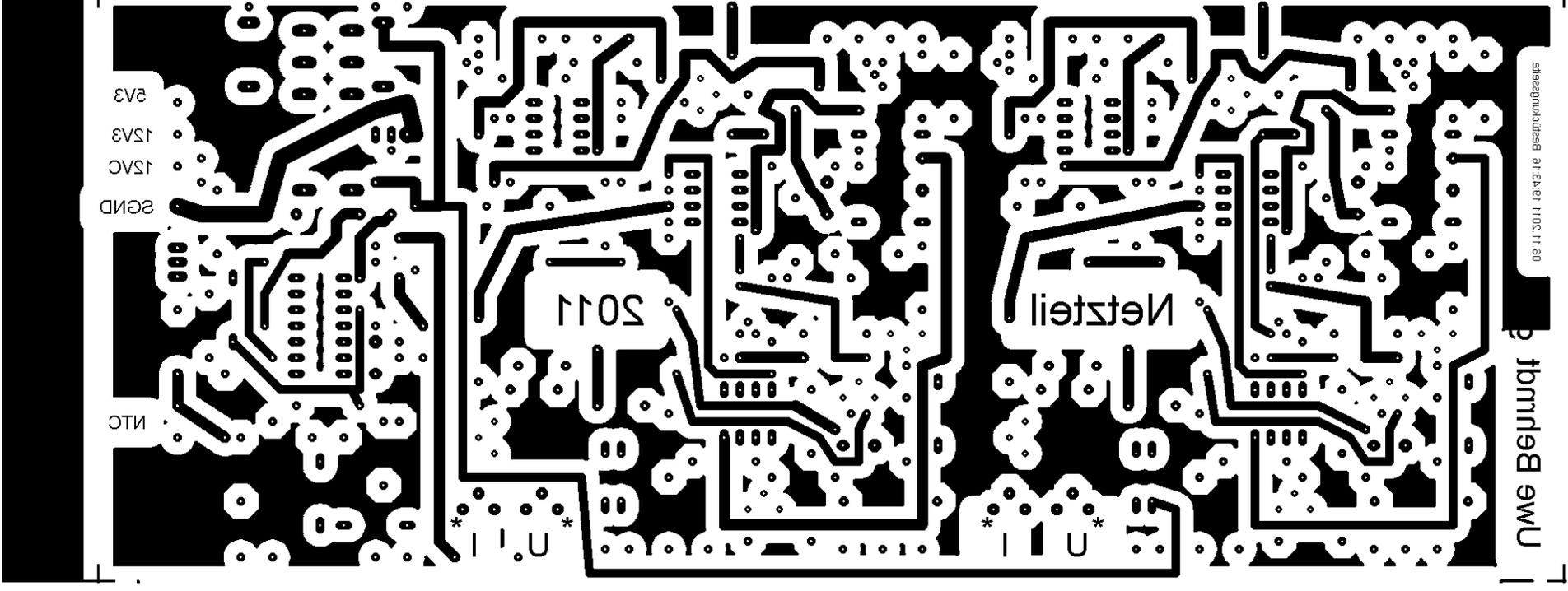
Auf den folgenden Seiten sind das Layout, sowie der Bestückungsplan abgebildet. Das Layout ist bereits für zwei identische Platinen ausgelegt, angepasst an eine Bungard von 250x200 mm. Die Platinengröße der einzelnen Platinen beträgt für das vorgestellte Gehäuse 235 mm x 94 mm. Diese Abmaße sind identisch mit den aufgebrachtten Parsermarken. Die Breite der Platinen ist im Bereich 215 mm – 250 mm flexibel und kann leicht dem späteren Gehäuse angepasst werden.

Bitte unbedingt vor dem Bestellen von Bauteilen die Änderungen im Abschnitt 6 lesen!



NWE Behnqf

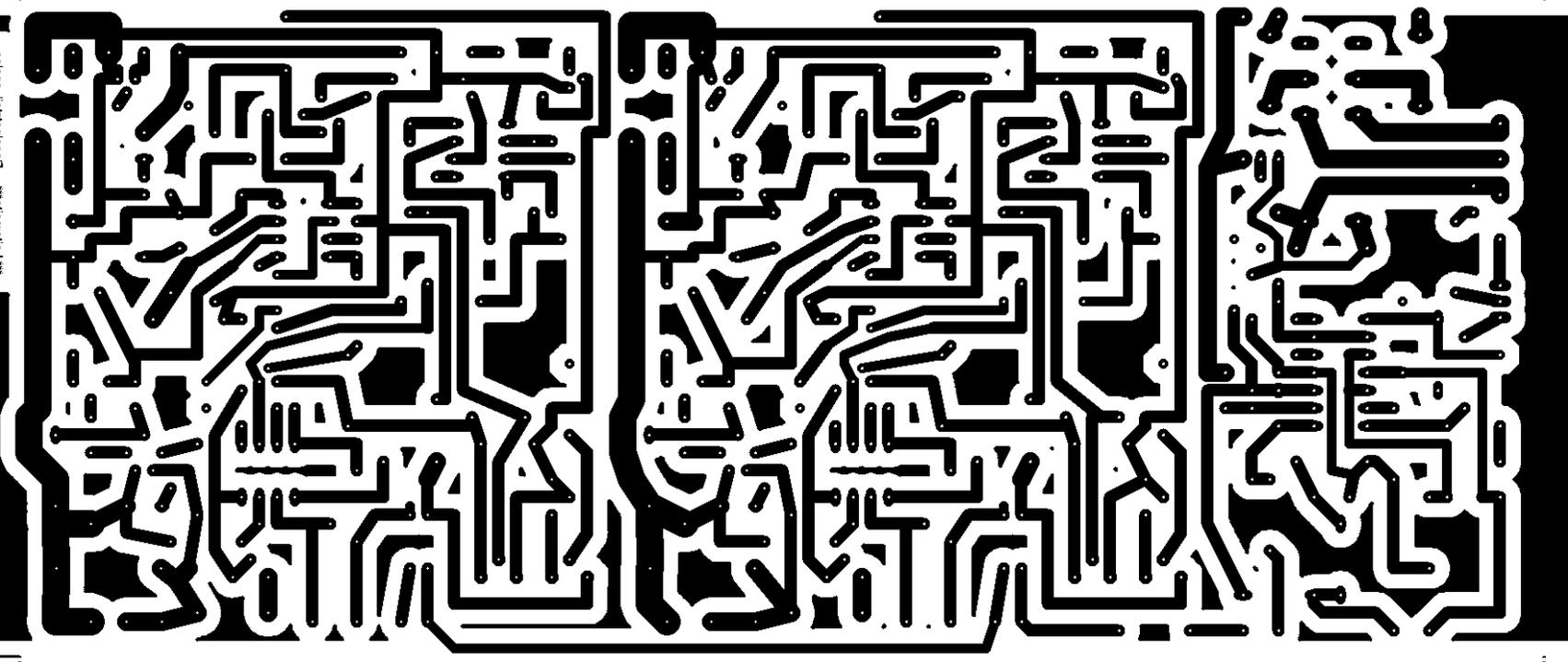
00:11:30:11:13:43:10: Bespannungsbasis



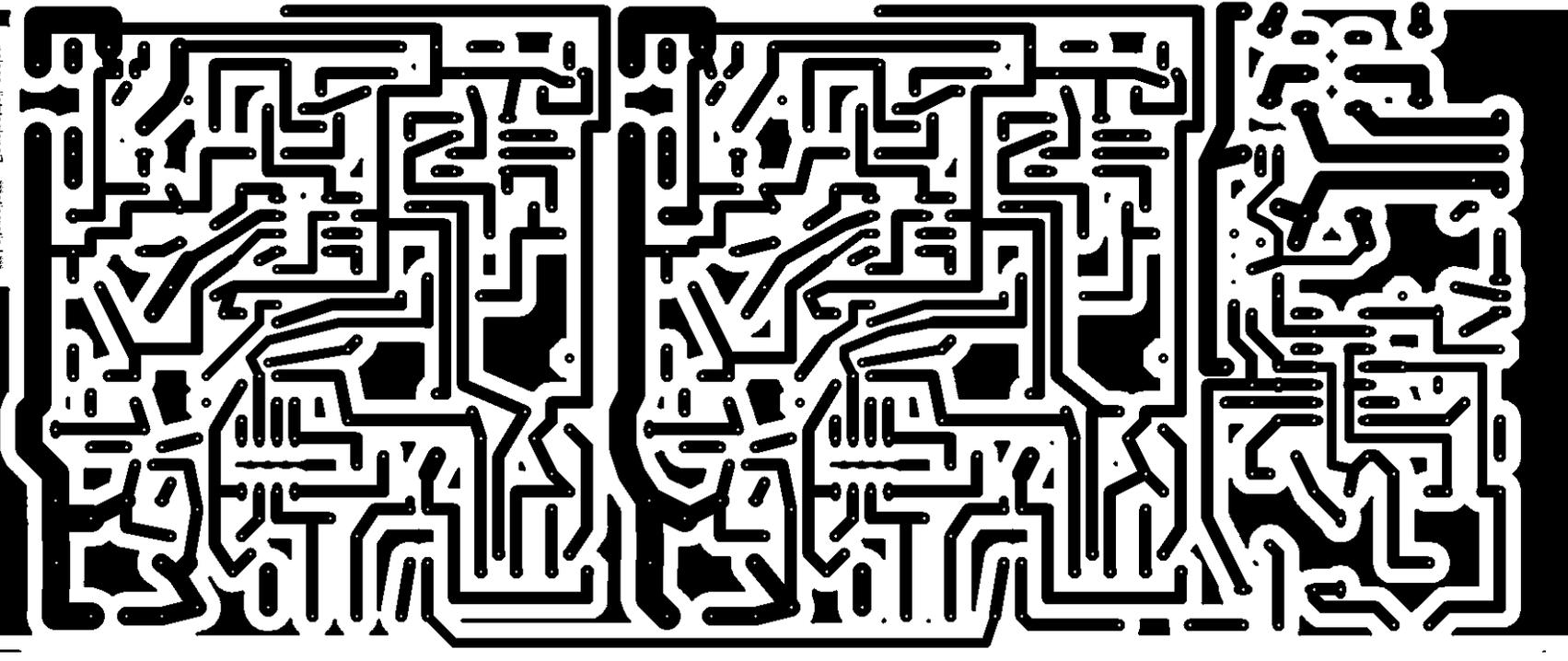
NWE Behnqf

00:11:30:11:13:43:10: Bespannungsbasis

... Feilsteleje ... Lesbejuvsteil' susjog



... Feilsteleje ... Lesbejuvsteil' susjog



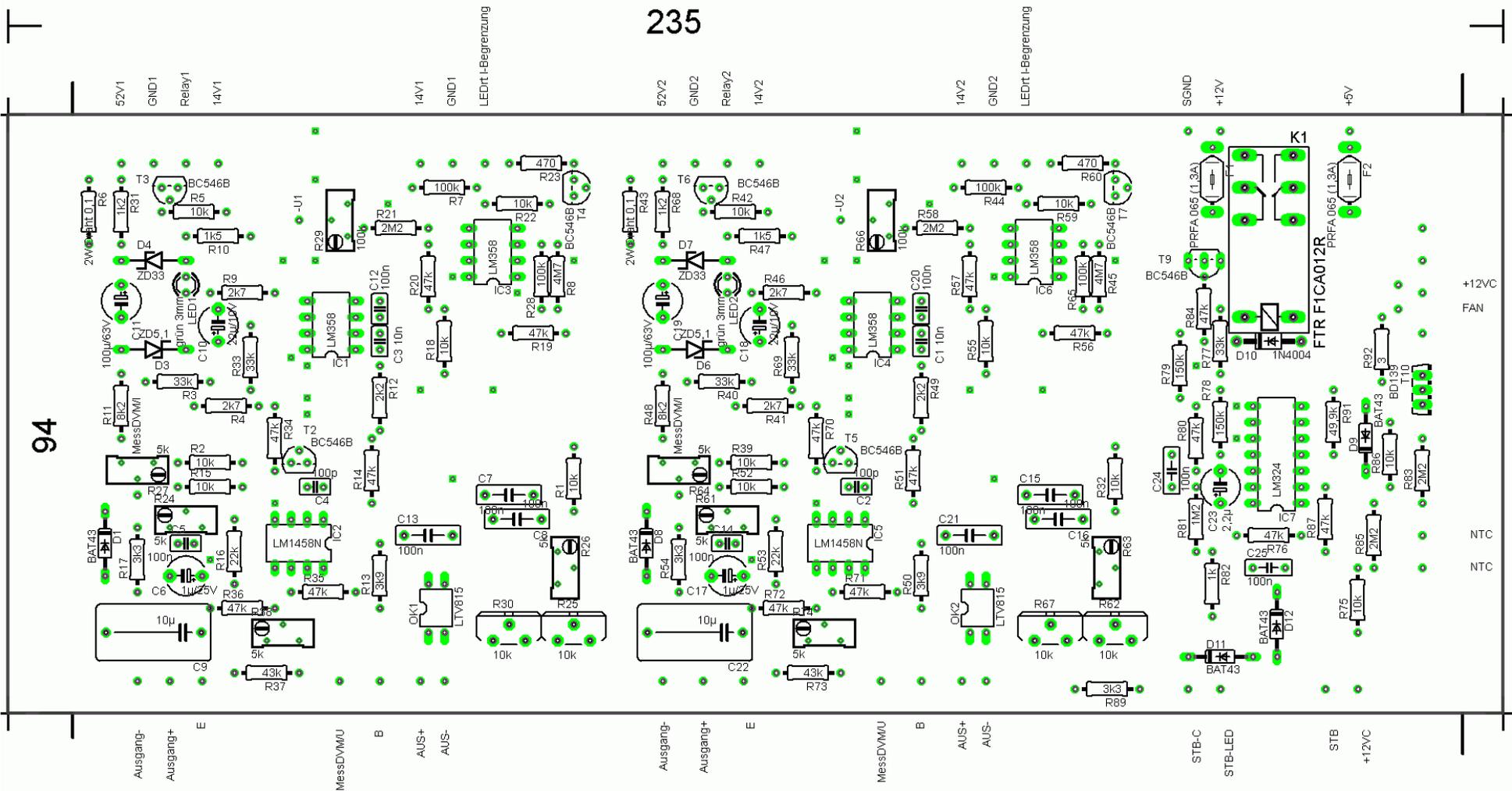


Abbildung 6: Bestückungsplan und Durchkontaktierungen Regelplatine mit Steuerung

94

235

94

3.3. Bauteilliste für Regelnetzteile und Gerätesteuerung (Preise Okt. 2011)

Bauteil	Anzahl	Bestellnummer	Einzelpreis	Gesamtpreis					
Reichert elektronik					8,2k	2	METALL 8,20k	0,08 €	0,16 €
10nF	2	Z5U-5 10N	0,03 €	0,06 €	2,2k	2	METALL 2,20k	0,08 €	0,16 €
100p	2	KERKO 100P	0,05 €	0,10 €	3,9k	2	METALL 3,90k	0,08 €	0,16 €
100nF	12	Z5U-5 100N	0,04 €	0,48 €	47k	16	METALL 47,0k	0,05 €	0,77 €
1µ/25V	2	RAD FC 1,0/50	0,08 €	0,16 €	22k	2	METALL 22,0k	0,08 €	0,16 €
10µ bipolar	2	TON 10/63	0,36 €	0,72 €	3,3k	3	METALL 3,30k	0,08 €	0,24 €
22µ/10V	2	RAD FC 22/10	0,09 €	0,18 €	2,2M	4	METALL 2,20M	0,08 €	0,32 €
100µ/63V	2	RAD FC 100/63	0,22 €	0,44 €	470	2	METALL 470	0,08 €	0,16 €
2,2µ	1	RAD FC 2,2/50	0,09 €	0,09 €	43k	2	METALL 43,0k	0,08 €	0,16 €
BAT 43	5	BAT 43	0,04 €	0,20 €	1,2k	2	METALL 1,20k	0,08 €	0,16 €
SB 560	2	SB 560	0,28 €	0,56 €	150k	2	METALL 150k	0,08 €	0,16 €
ZD 5,1	2	ZD 5,1	0,07 €	0,14 €	1,2M	1	METALL 1,20M	0,08 €	0,08 €
ZD 33	2	ZD 33	0,07 €	0,14 €	1k	1	METALL 1,00k	0,08 €	0,08 €
1N 4004	1	1N 4004	0,02 €	0,02 €	3 Ohm	1	METALL 3,00	0,08 €	0,08 €
Sicherung 1,3A	2	PFRA 065	0,32 €	0,64 €	49,9k	1	METALL 49,9k	0,08 €	0,08 €
LM 1458N	6	LM 1458 D	0,12 €	0,72 €	Trimmer 5k	8	64Y-5,0k	0,30 €	2,40 €
LM 324	1	LM 324 DIL	0,21 €	0,21 €	Trimmer 100k	2	64Y-100k	0,31 €	0,62 €
Relais	1	FTR F!CA012	1,15 €	1,15 €	NTC 15k	1	NTC-0,2 15k	0,33 €	0,33 €
LED grün	2	LED 3MM GN	0,06 €	0,12 €	0,1 Ohm	2	2W DRAHT 0,1	0,24 €	0,48 €
LTV 815	2	LTV 815	0,35 €	0,70 €	TIP 142	2	TIP 142 STM	0,90 €	1,80 €
10k	18	METALL 10,0k	0,05 €	0,86 €	BC 546B	7	BC 546B	0,04 €	0,28 €
33k	5	METALL 33,0k	0,05 €	0,24 €	BD 139	1	BD 139 STM	0,21 €	0,21 €
2,7k	4	METALL 2,70k	0,08 €	0,32 €	Glimmerscheibe	2	GLIMMER TO 218	0,06 €	0,12 €
100k	6	METALL 100k	0,08 €	0,48 €	Leiterplatte	0,5	BEL 250x200-2	6,25 €	3,13 €
4,7M	2	METALL 4,70M	0,08 €	0,16 €	Kabel	3	PS 25/5W BR	0,63 €	1,89 €
							Gesamt:		23,24 €

4. Anzeigeplatine und Gehäusegestaltung

4.1. Schaltplan Anzeigeplatine

Bis auf die Bananenbuchsen sind alle relevanten Bedien- und Anzeigeelemente auf der Anzeigeplatine angeordnet. Zusätzlich gibt es die Möglichkeit, einen Gehäuselüfter anzuschließen. Diese Schaltung braucht aber nicht bestückt werden, da die eigentliche Lüftersteuerung auf der Regelplatine sitzt. Die entsprechenden Bauelemente sind in der Bauteilliste auch nicht gelistet.

Die Gestaltung der Frontseite des Labornetzteiles ist natürlich der Höhepunkt des Eigenbaus. Die Kombination von Metallplatte mit Klarglas und dazwischenliegender gestalteter Folie erlaubt ein optisch ansprechendes Design bei gleichzeitiger ausreichender Robustheit zu akzeptablen Preis.

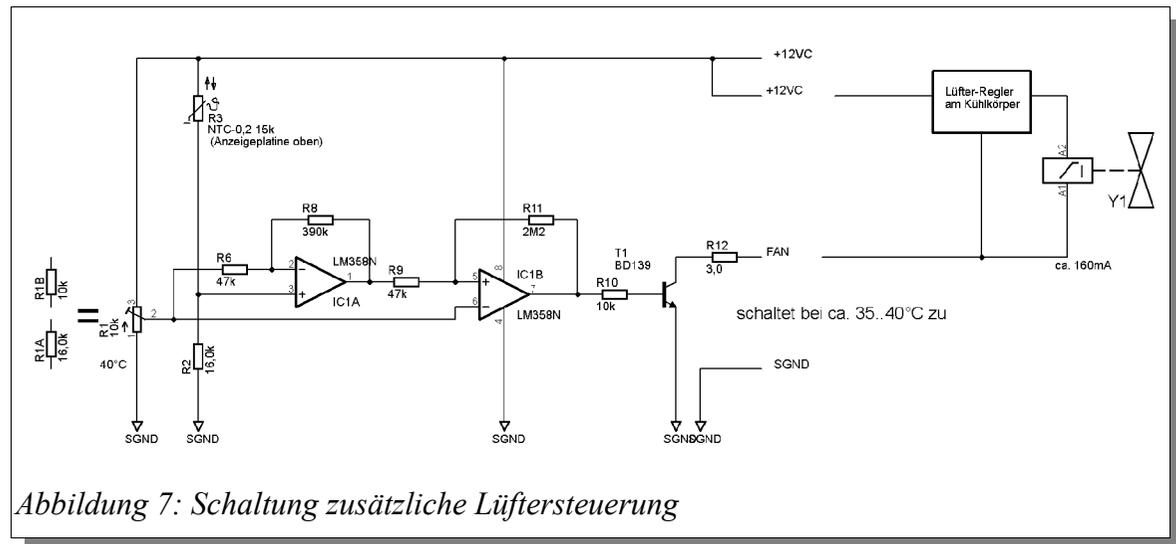


Abbildung 7: Schaltung zusätzliche Lüftersteuerung

Die Metallplatte besitzt Aussparungen und Bohrungen für die LEDs. Bei der Bestückung der Anzeigeplatine ist auf die richtige Bauhöhe aller Bauteile zu achten. Die runden, abgeflachten 5mm LEDs sind etwas höher einzulöten, damit sie später exakt in die entsprechenden Öffnungen der Frontplatte ragen. Die 10- Gang Potis haben eine zu kurze Achse, müssen also mit einer Hülse o.ä. verlängert werden. Auf der Frontplatte ist mit selbstklebender Folie die Beschriftung angebracht. Davor sitzt eine Klarglasplatte (Polycarbonat 4 mm) das verhindert Kratzer auf der Folie; bedeutet aber auch, dass die Polklemmen in diese Platte eingesetzt werden müssen, da ihr rückwärtiger Schraubanschluss nicht lang genug ist. Die beiden Microfuse Buchsen, über die später z.B. LEDs getestet werden können, sitzen auf einer separaten kleinen Lochrasterplatine, die entsprechend beschaltet wurde.

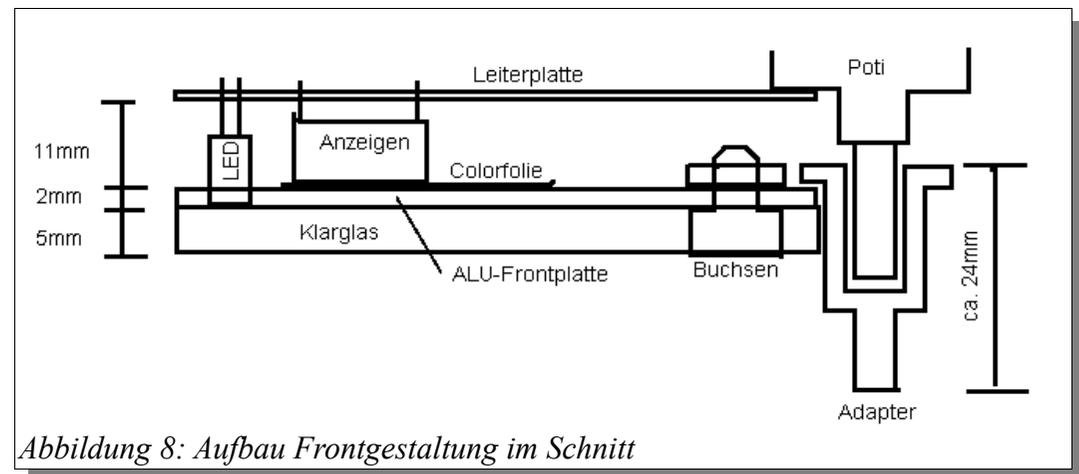
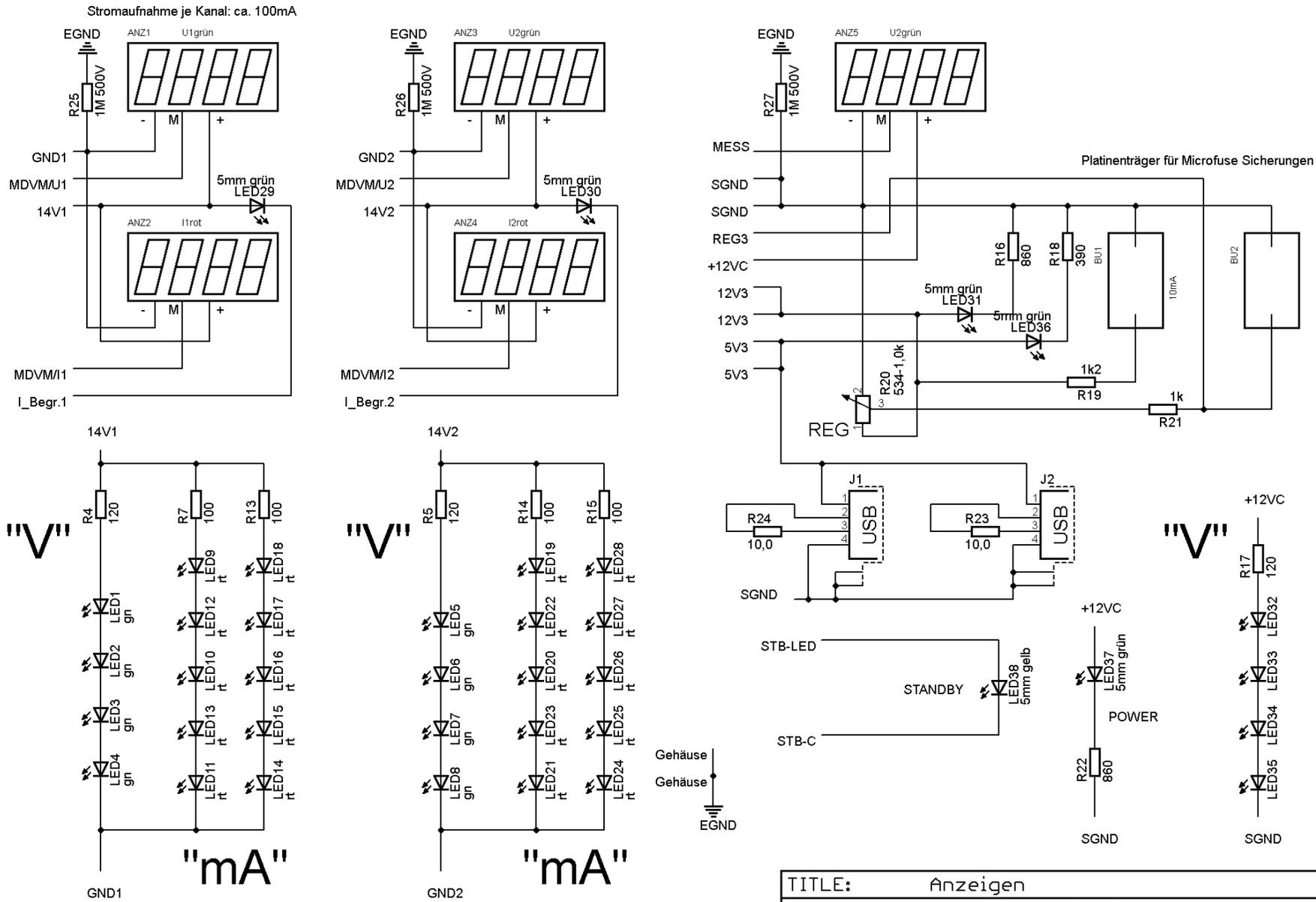


Abbildung 8: Aufbau Frontgestaltung im Schnitt

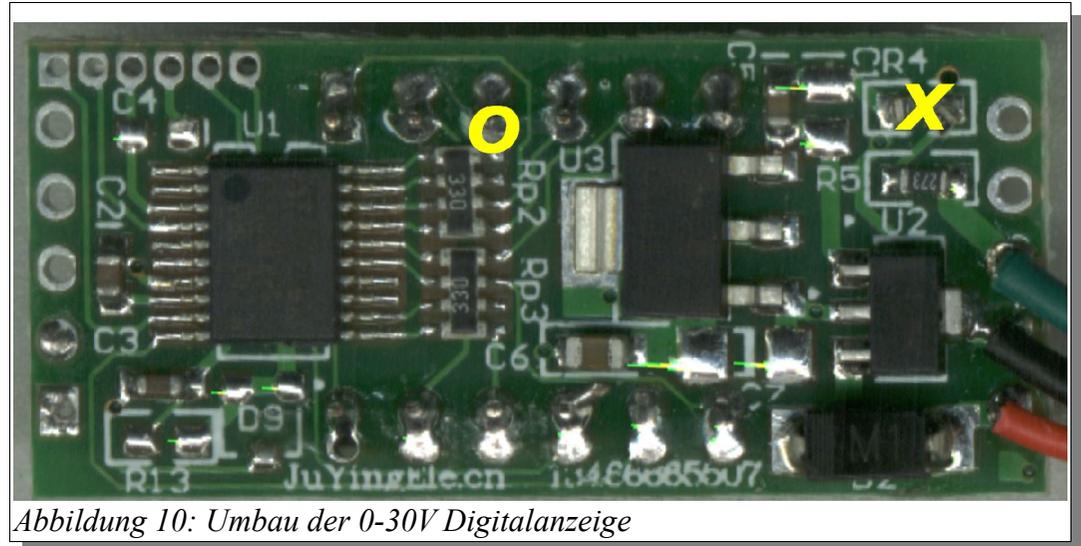


TITLE:	Anzeigen
Description:	7 Segment, Einheiten
Date:	21.11.2011 18:52:16
Sheet:	2/2

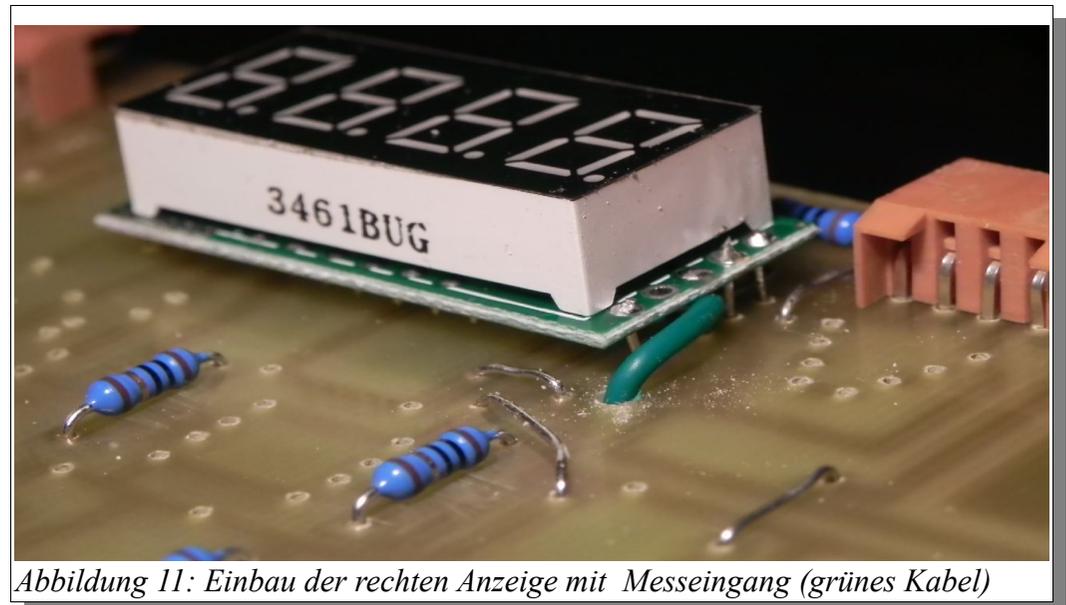
Abbildung 9: Schaltplan Anzeigeplatine

4.2. Umbau der 7-Segment Digitalanzeigen und anderer Bauteile

- Die Digitalanzeigen 0..+30V wurden über e-bay in China geordert. Sie zeigen eine anliegende Spannung in der Form XX.XX an. Für die Spannungsanzeige wurden grüne und für die Stromanzeige rote Typen verwendet. Zur Verwendung als Stromanzeige muss noch der Dezimalpunkt abgeschaltet und der Eingangsspannungsbereich geändert werden. Im folgenden Foto sind die beiden Maßnahmen dokumentiert: „o“ ist das Trennen des Leiterzuges für den Dezimalpunkt und „x“ ist die Zerstörung des SMD Widerstandes des 1:10 Vorteilers mit einem Seitenschneider. Der Spannungsbereich reicht nun von 0..ca. 3V.



- Abschließend lötet man anstelle der Leitungen von Widerständen abgeschnittene Drahtenden an. Ebenso ein paar Drahtstückchen gemäß Layout in die vorhandenen Löcher in den Ecken. Die so umgebauten Anzeigen lassen sich dann bequem auf der Leiterplatte einsetzen und justieren, ein „Snap-In“ Rahmen entfällt.
- An der einzelnen Spannungsanzeige auf der rechten Seite der Anzeigeplatine belässt man das Kabel des Messeinganges (die anderen werden durch Drahtstückchen ersetzt) und führt es durch eine zusätzliche Bohrung auf die Leiterseite der Platine. Nach dem Einsetzen aller Bauteile, außer der LEDs und Potis, kann die Bestückungsseite schwarz gespritzt werden.
- Die LEDs für „mA“ und „V“ werden vor dem Einlöten entsprechend ihrer Position angeschliffen, an der oberen (Lichtaustritts-) Seite abgeklebt und ebenfalls schwarz gespritzt. Man erhält optisch einzigartige „schwarze“ LEDs. Die restlichen runden LEDs erhalten ein Stück Schrumpfschlauch.



4.3. Layout und Bestückungsplan

Hinweis: Vor dem Bohren und Bestücken der Anzeigeplatine unbedingt erst die Frontplatte bohren, siehe auch die Anmerkungen zur Bohrschablone!

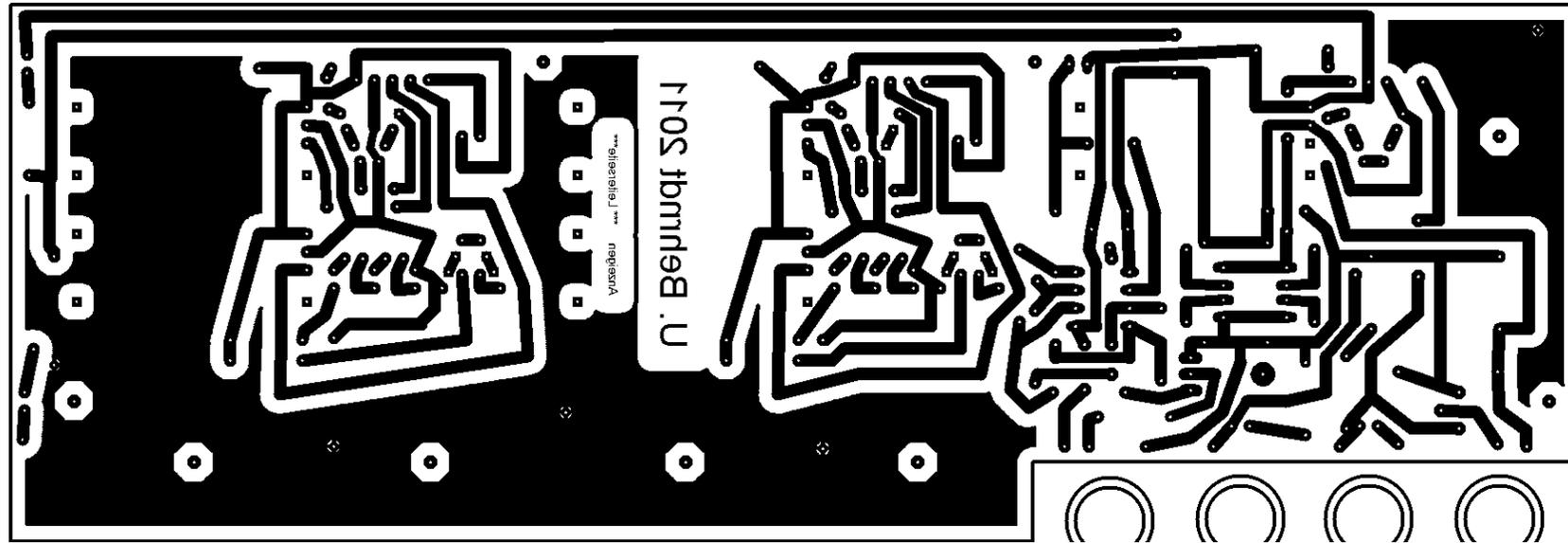


Abbildung 12: Layout Anzeigeplatine – Leiterseite Größe: 220 x 75 mm

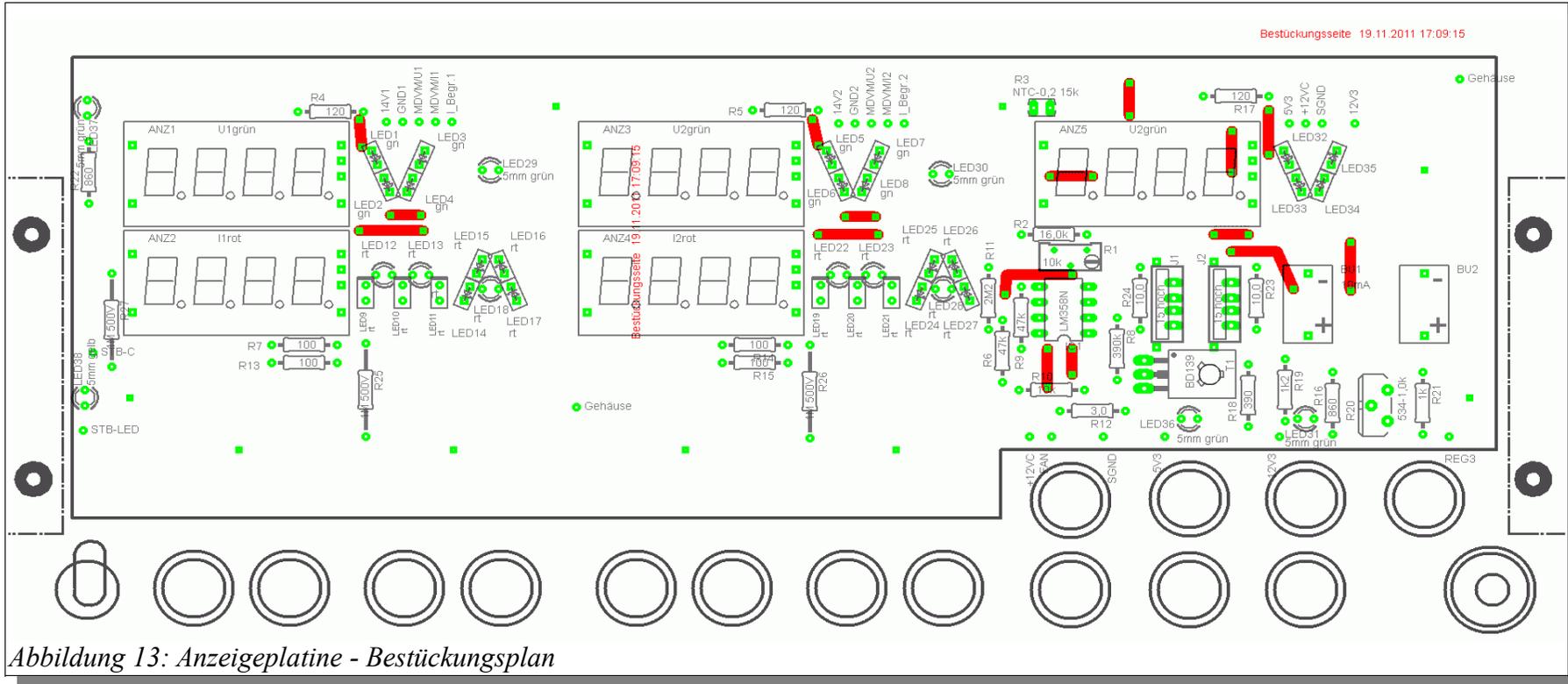


Abbildung 13: Anzeigeplatine - Bestückungsplan

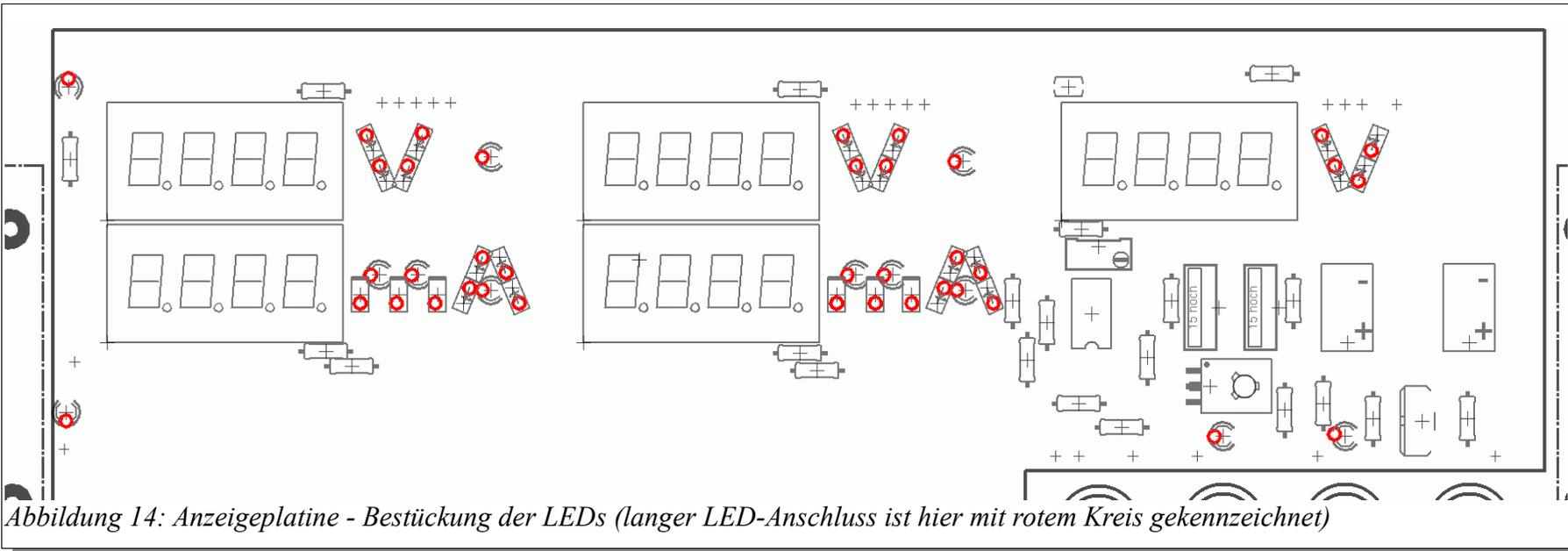


Abbildung 14: Anzeigeplatine - Bestückung der LEDs (langer LED-Anschluss ist hier mit rotem Kreis gekennzeichnet)



Abbildung 15: Ansicht der teilbestückten Anzeigeplatine nach dem "Schwarzspritzen" und der Bestückung mit den Einzel-LEDs

Wenn man nun an die so vorbereitete Anzeigeplatine 11-14V an die entsprechenden Pins der Anschlussbuchsen anlegt (damit die LEDs leuchten), kann man mit einem Pinsel schwarze Farbe an optisch „undichten“ Stellen auf tupfen.

Die LEDs, die später durch die Metallplatte ragen werden (STBY, Power usw.) werden nun mit Schrumpfschlauch bis kurz vor der Anzeigefläche (etwa 2 mm bleiben frei) überzogen.

Nach dem Einsetzen der Potentiometer werden die Anzeigeplatine mit den fertig gebohrten Metall- und Klarglassplatten über Abstandshalter probeweise verbunden. Jetzt erst können die noch fehlenden LEDs eingepasst und angelötet werden. Wenn alles passt (auch die Polklemmen!), wird das Frontlayout auf selbstklebende Folie ausgedruckt und auf die Metallplatte aufgeklebt. Anschließend werden die Öffnungen mit einem scharfen Messer aus der Folie ausgeschnitten. Danach kann die gesamte Baugruppe inklusive der Polklemmen mechanisch zusammengebaut werden.

4.4. Gehäusegestaltung

Als Gehäuse wurde ein Metallgehäuse von ELCAL GmbH mit den Abmaßen 250x105x230 (BxHxT) verwendet. Es ist sehr stabil, vor allem äußerst verwindungssteif dank des 1,8 mm dicken Stahlblechs. Kein Vergleich zu einem Kunststoffgehäuse. Es hätte noch etwas größer sein können, die Schraubklemmen an der Vorderseite mussten leider sehr eng platziert werden, aber wie so oft, war hier der Preis entscheidend. Da das Gehäuse auch geschraubt ist, lässt es sich bequem in alle Einzelteile zerlegen.

Für die Aufnahme der beiden Ringkerntrafos und der Netzteilplatine wurde ein Querträger aus Stahlblech angefertigt, an dem als „Schmankel“ eine zusätzliche Ebene für die spätere Befestigung von zwei Lüsterklemmen angeschweißt wurde. Diese dienen zur mechanischen Entlastung der dünnen Kupferlackdrähte der Trafos an der Netzseite.

Die folgenden Abbildungen zeigen das geöffnete Gehäuse mit der bereits fertig gebohrten und lackierten Frontplatte. Die beiden Stehbolzen (M5 x 60) sind 100 mm voneinander entfernt und mehr zur linken Seite orientiert (links 65 mm, rechts 80 mm Platz), somit kann später im rechten Rahmen noch das Schaltnetzteil untergebracht werden.

Die Regelplatine wird in beidseitig angebrachten Führungsschlitzen sicher verankert. Da sowohl ober- als auch unterhalb der Platine später Kabel verlaufen, gelangt ein Teil des Kühlluftstroms durch Löcher in der unteren Gehäusehalbschale auch direkt entlang der oberen Gehäuseschale bis zu den Leistungsdioden der Stromversorgung.

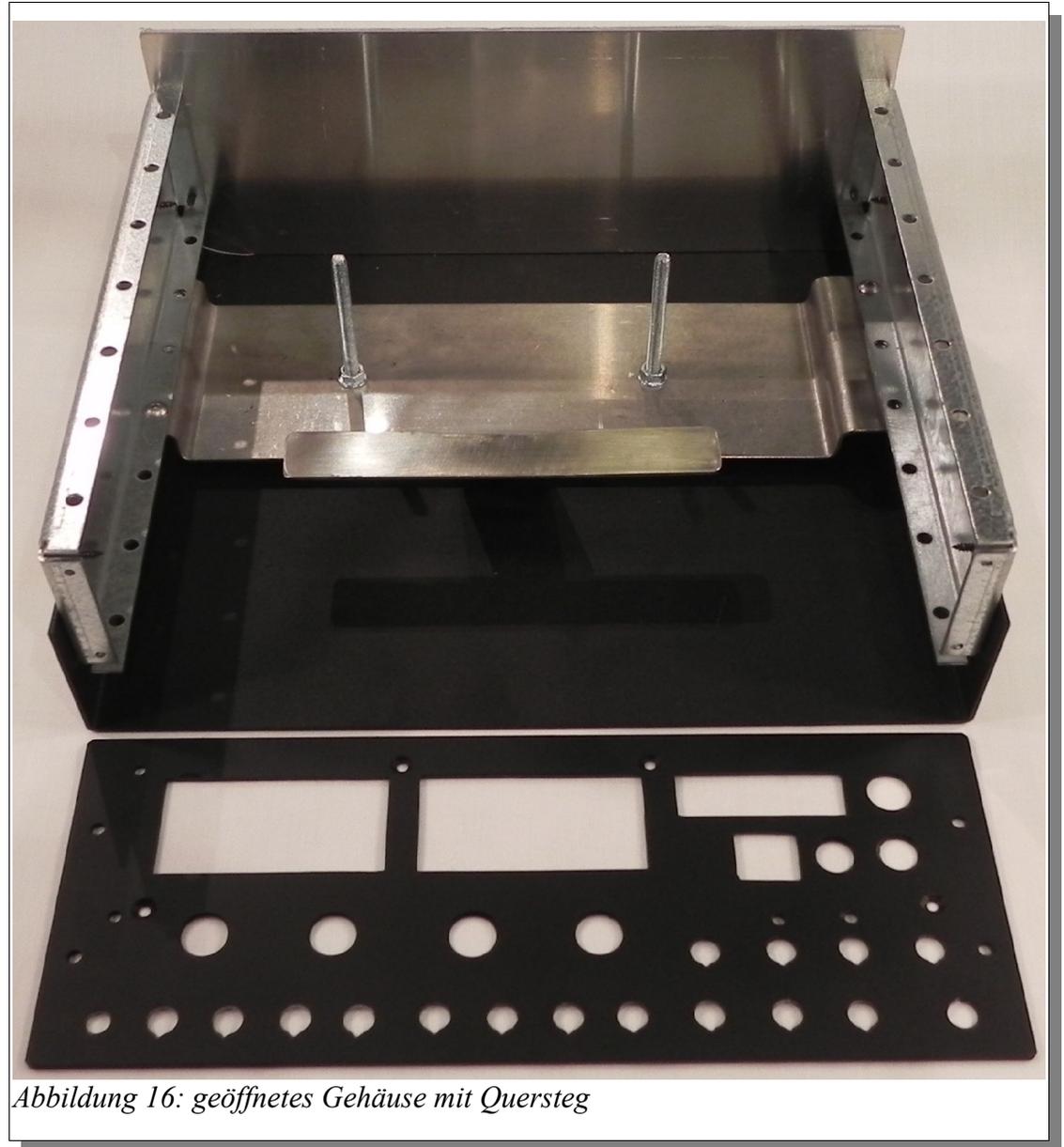


Abbildung 16: geöffnetes Gehäuse mit Quersteg



Abbildung 17: geöffnetes Gehäuse mit Querträger, von oben gesehen

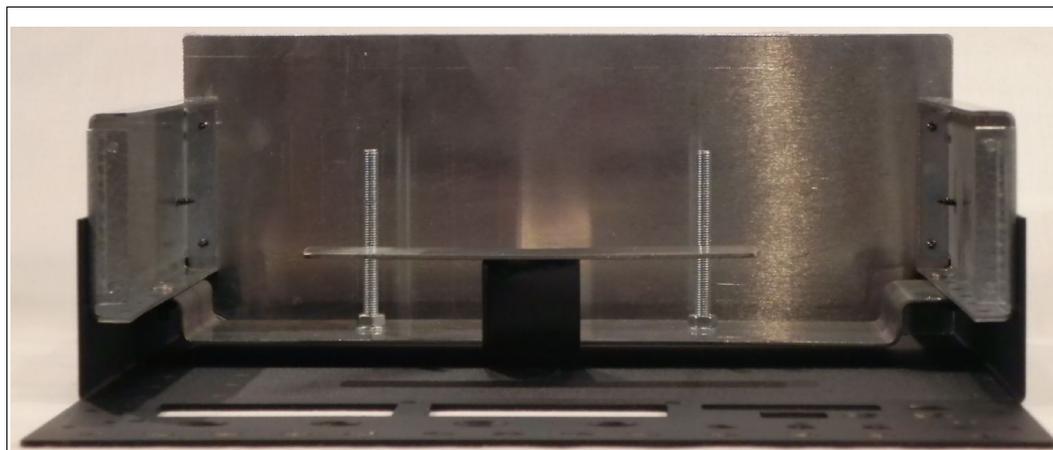


Abbildung 18: geöffnetes Gehäuse mit Querträger, von vorn fotografiert

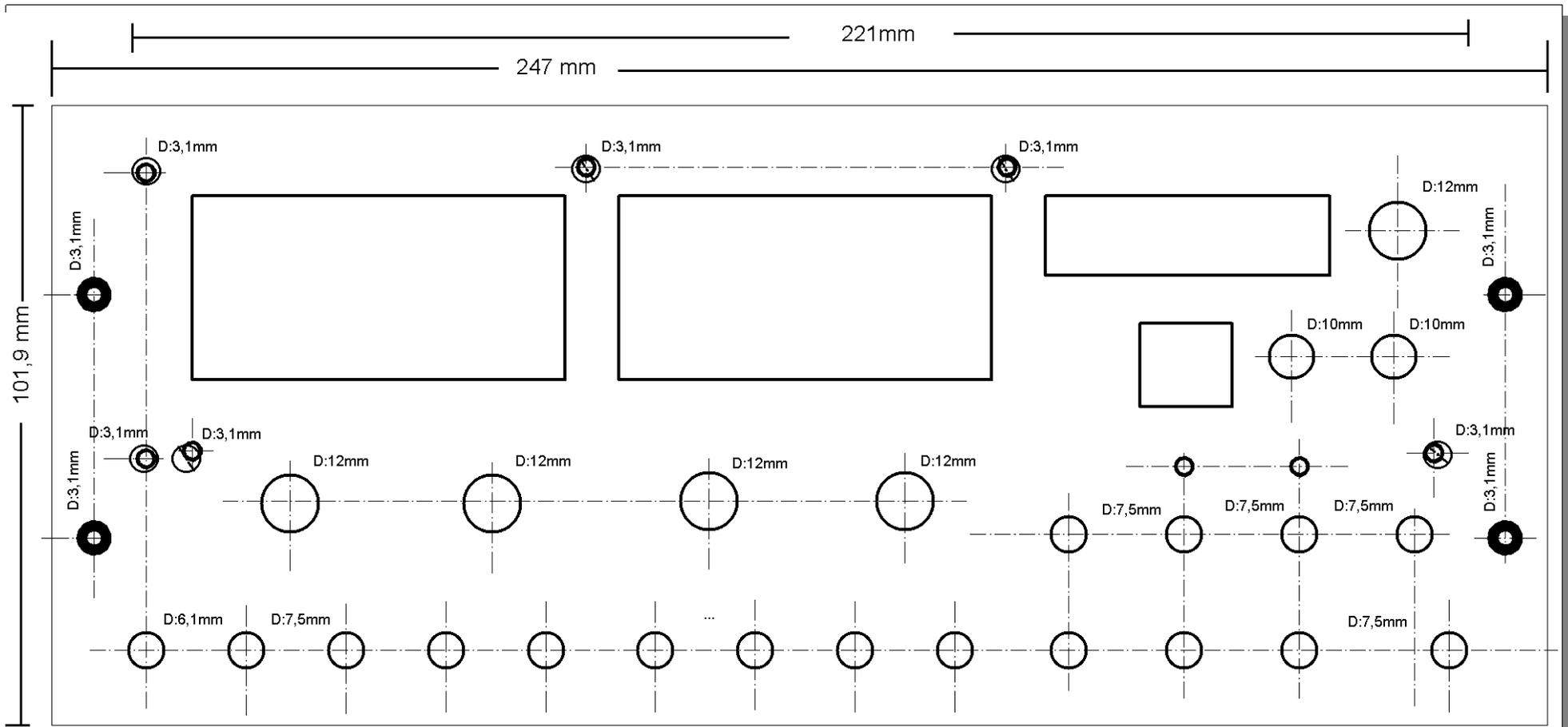


Abbildung 19: Bohrschablone Frontplatte

Anmerkung: Die Löcher für die 4 LEDs haben einen Durchmesser von 5,1 mm und nicht wie angegeben 3,1 mm (also etwas größer als die LEDs, wegen leichterem Einbau). Wenn die Frontplatte fertig gebohrt ist, wird die noch unbestückte Anzeigeplatine dahinter angeordnet und die Öffnungen für die Potentiometer und die Stehbolzen übertragen und gebohrt. In dieser Dokumentation war die Anzeigeplatine bereits fertig entwickelt und aufgebaut, als sich noch Änderungen am Frontplattenlayout ergaben, ich bitte um Nachsicht.

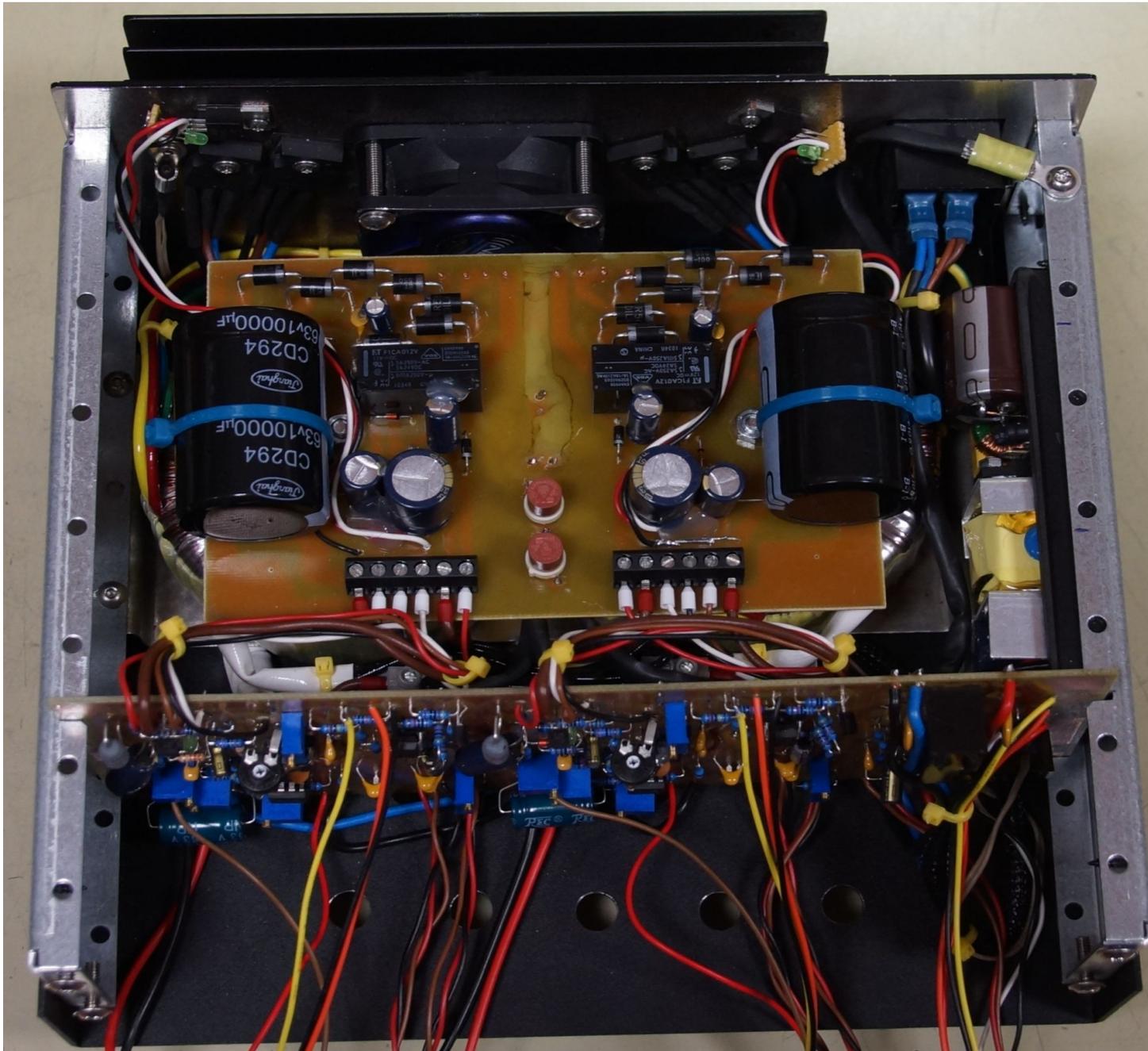


Abbildung 20: Verkabelung der Stromversorgung von oben gesehen (Seriengerät)

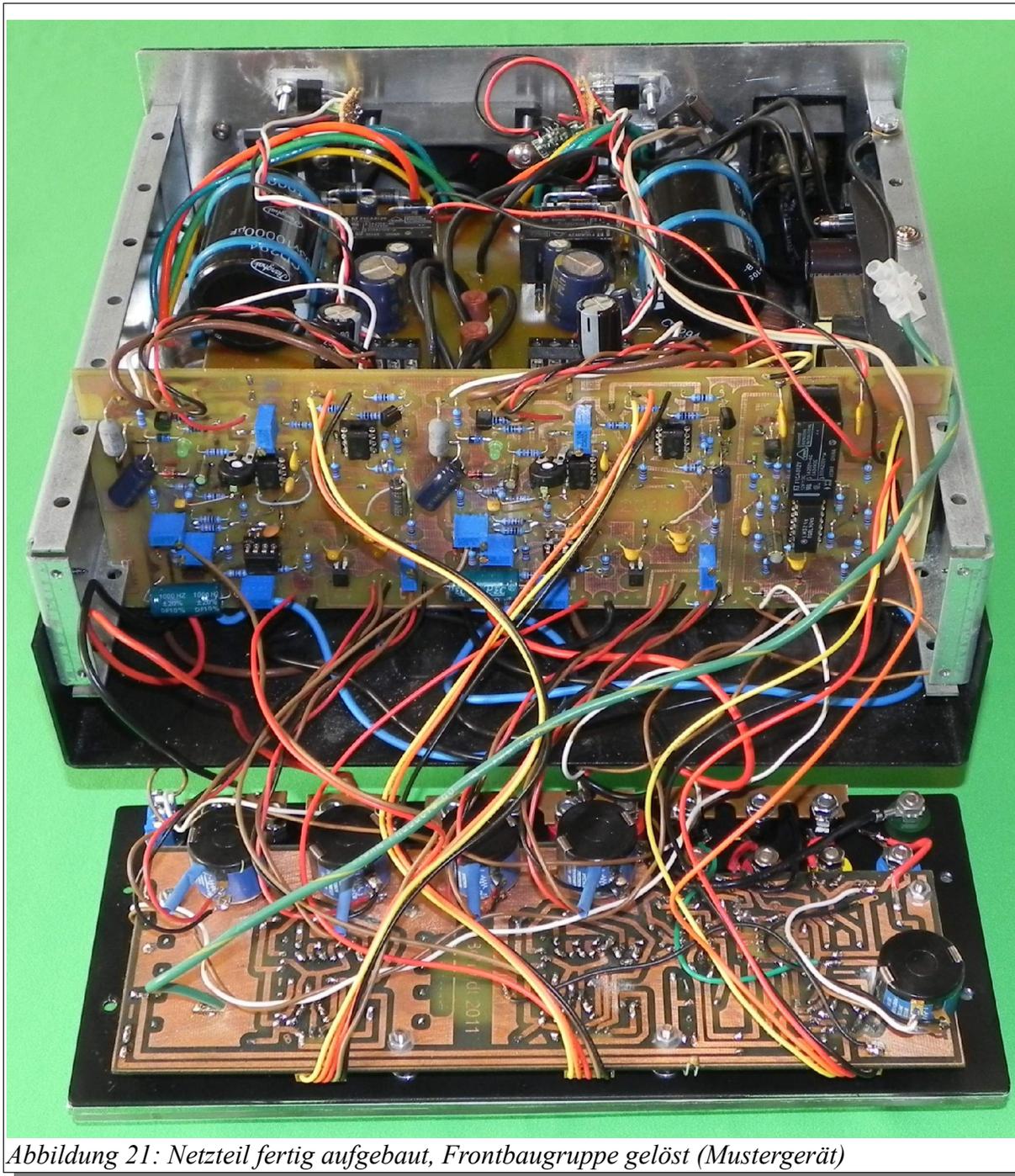


Abbildung 21: Netzteil fertig aufgebaut, Frontbaugruppe gelöst (Mustergerät)

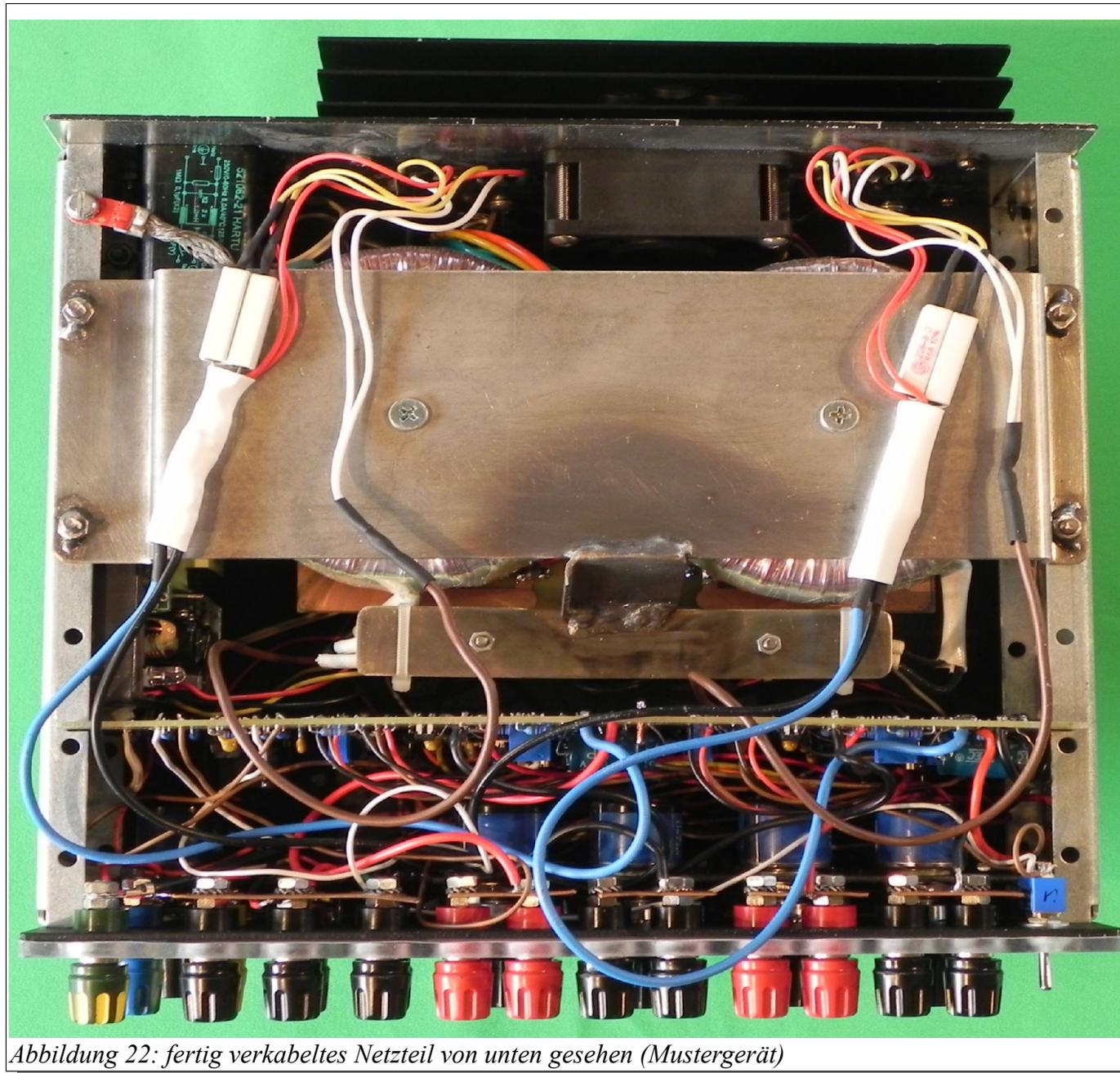


Abbildung 22: fertig verkabeltes Netzteil von unten gesehen (Mustergerät)

Für die Befestigung der Potentiometerknöpfe gibt es zwei Probleme: Zum Einen haben die 10 Gang Potis eine Achse mit 6,3mm Durchmesser, aber entsprechende Knöpfe in der Regel nur 6,0 mm, zum Anderen sind die Achsen zu kurz, um ausreichend über die Frontplatte hinauszuragen. Wir haben deshalb kurzerhand auf der Drehmaschine einen Adapter gedreht:

Als Kühlkörper fand sich ein Profilkühlkörper in den Abmaßen 170x60x30. Voraussetzung für seine Funktion ist, dass die Rückseite des Gehäuses, an dem der Kühlkörper mit den zu kühlenden Halbleitern befestigt werden, wärmeleitend – also ebenfalls aus Aluminium ist. Sechs Bohrungen mit je 12 mm Durchmesser leiten die Kühlluft vom Lüfter durch die Rückwand in den Kühlkörper und von dort nach draußen. Frischluft gelangt über 11 Bohrungen (Durchmesser jeweils 10 mm) in der unteren Halbschale in das Gehäuse. Diese Bohrungen sind in 2 Reihen vor und hinter der Regelplatine angeordnet (d.h. 33 bzw. 66 mm von der Vorderkante entfernt). Ca. 100 W Abwärme lassen sich so dauerhaft in die Umgebung ableiten. Die schwarze Farbe des Kühlkörpers verbessert die Wärmeabgabe.

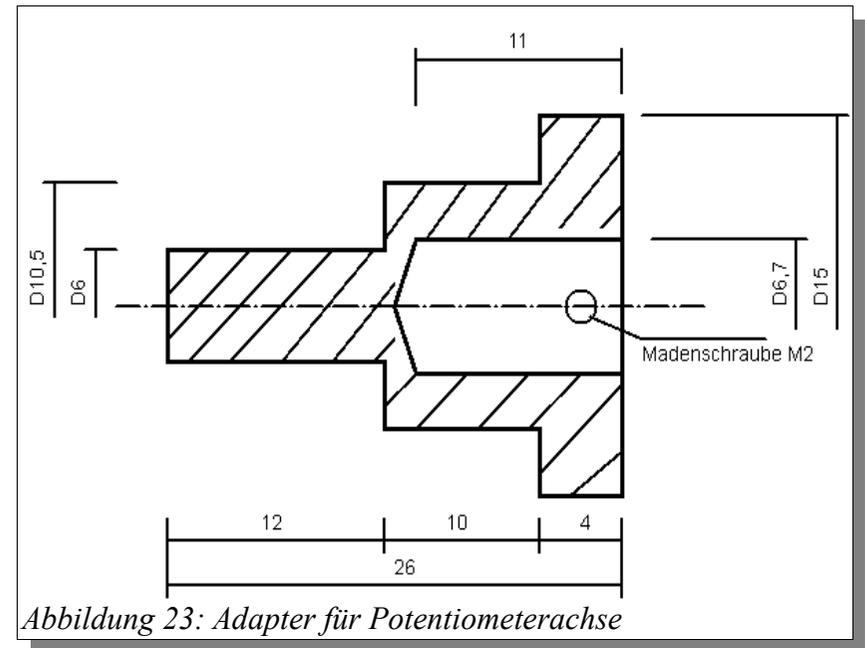


Abbildung 24:
Gerätestecker und
Kühlkörper an der
Rückseite



Abbildung 25: Lüftungsbohrungen im Kühlkörper

4.5. Bauteilliste Frontplatte und Gehäuse (Preise Okt. 2011)

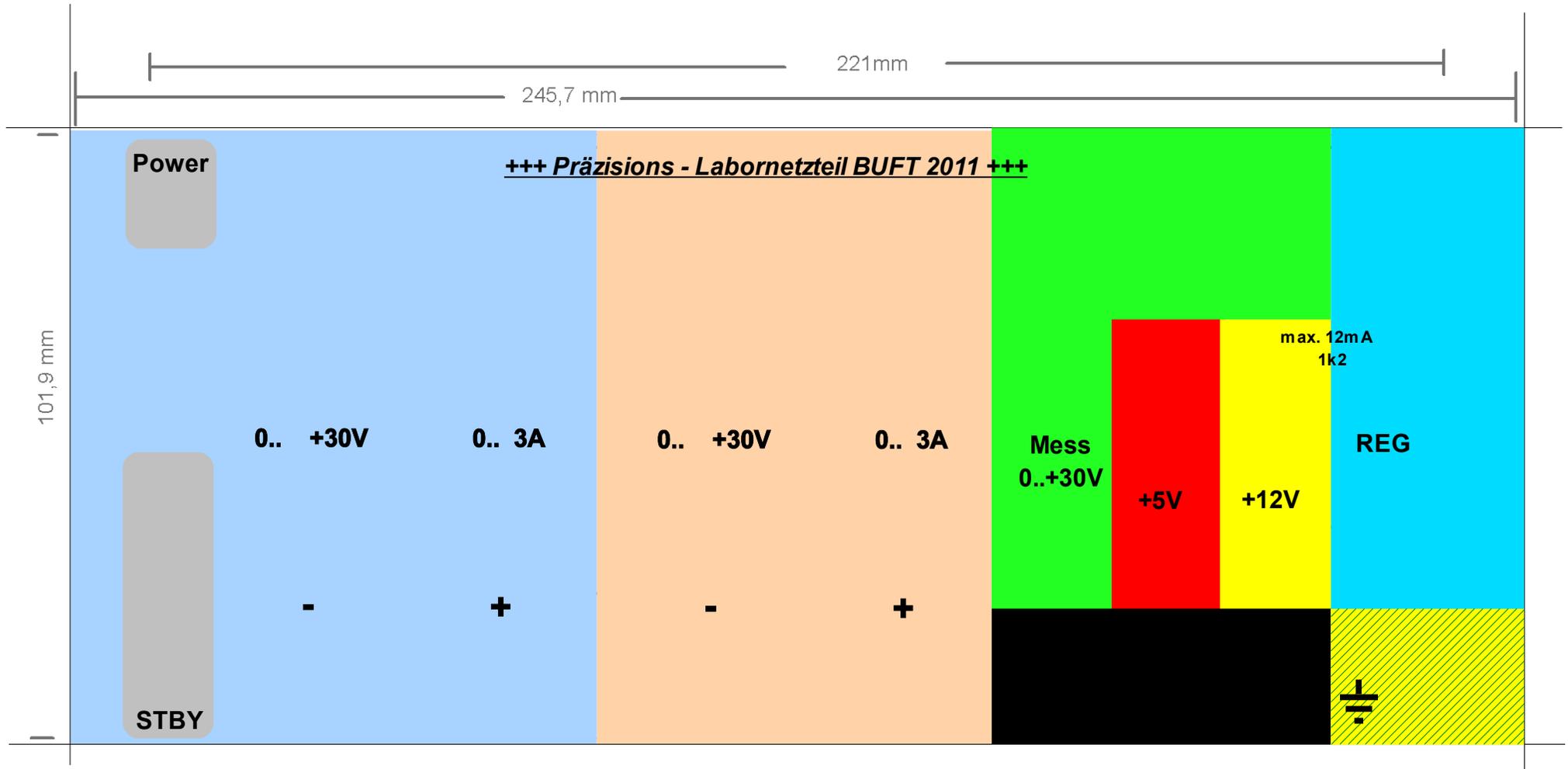
In der nebenstehenden Bauteilliste sind folgende Teile nicht aufgeführt (sie fanden sich in eigenen Bastelkisten oder wurden selbst angefertigt):

- R25-R27 (1 M/500V)
- Kühlkörper an der Gehäuserückseite
- Querträger im Gehäuse für Befestigung der Ringkerntrafos und der Netzteilplatine
- Frontplatte aus 4 mm Polycarbonat (Bastlerglas aus dem Baumarkt)
- Gehäusefüsse
- Rückwärtige Kaltgerätebuchse mit Schalter, Sicherung und Netzfilter
- diverse Schrauben/Unterlegscheiben/Muttern
- Hilfsmittel wie Bohrer, Lötzinn/-Lack, Farbspray u.sw.

Bei den Anschlussklemmen und den Potiknöpfen gibt es übrigens jede Menge Spielraum...

Bauteil	Anzahl	Bestellnummer	Einzelpreis	Gesamtpreis	sich
Reichert elektronik					
Steckfassung	2	PL 166600	0,35 €	0,70 €	
Lochrasterplatine	1	H25PR050	0,81 €	0,81 €	
120 Ohm	3	Metall 120	0,08 €	0,24 €	
100 Ohm	4	Metall 100	0,08 €	0,32 €	
860 Ohm	2	Metall 820	0,08 €	0,16 €	
390 Ohm	1	Metall 390	0,08 €	0,08 €	
1,2K	1	Metall 1,20k	0,08 €	0,08 €	
10 Gang Poti 1k	1	534-1,0k	5,95 €	5,95 €	
10 Gang Poti 10k	4	534-10k	5,95 €	23,80 €	
1k	1	Metall 1,00k	0,08 €	0,08 €	
10 Ohm	2	Metall 10,0	0,08 €	0,16 €	
Lüfter	1	NOISEBLOCK XR2	4,94 €	4,94 €	
LED „V“	12	V512	0,09 €	1,08 €	
LED „mA“	14	V510	0,09 €	1,26 €	
	6	V320	0,09 €	0,54 €	
LED grün 5mm	5	V522	0,10 €	0,50 €	
LED gelb 5mm	1	V523	0,09 €	0,09 €	
USB Buchse	2	USB AG	0,28 €	0,56 €	
Schalter STBY	1	MS 500A	1,60 €	1,60 €	
Polklemme schwarz	7	PKI 10A SW	2,20 €	15,40 €	
Polklemme rot	5	PKI 10A RT	2,10 €	10,50 €	
Polklemme grün	1	PKI 10A GN	2,20 €	2,20 €	
Polklemme gelb	1	PKI 10A GE	2,05 €	2,05 €	
Polklemme blau	1	PKI 10A BL	2,05 €	2,05 €	
Polklemme gn/glb	1	PKI 10A GG	2,40 €	2,40 €	
Poti-Knöpfe	5	KNOPF 20-6 SW	1,25 €	6,25 €	
Abdeckkappe sw	2	DECKEL 20MM SW	0,19 €	0,38 €	
Abdeckkappe rt	2	DECKEL 20MM RT	0,19 €	0,38 €	
Abdeckkappe bl	1	DECKEL 20MM BL	0,19 €	0,19 €	
Leiterplatte	0,5	BEL 250x150-1	4,15 €	2,08 €	
Distanzhülsen	4	DI 20MM	0,15 €	0,60 €	
ebay					
LED 4 Digit Digital Panelmeter 0-33V Rot	2		4,99 €	9,98 €	
LED 4 Digit Digital Panelmeter 0-33V Grün	3		6,49 €	19,47 €	
Elcal-system GmbH					
Gehäuse	1	006.08.SW	35,93 €	35,93 €	
			Gesamt:		152,81 €

4.6. Gestaltungsvorschlag Frontplatte



5. Kalibrierung

Voraussetzung für eine gute Kalibrierung des Netzgerätes ist ein genau anzeigendes Multimeter, die Genauigkeit sollte besser 0,5 % sein. Das Netzgerät sollte während des Kalibrierens „betriebswarm“ sein, d.h. 10 – 15 min lang bereits eingeschaltet sein. Durch die verwendeten Spindeltrimmer, sowie die eingesetzten Metallschicht- Widerstände sind alle Einstellungen relativ langzeitstabil, sodass ein einmaliger Abgleich ausreicht. Man darf aber keine Wunder erwarten – die Stromanzeige kann durchaus um einige mA schwanken. Eine Veränderung von 10 mA entspricht z.B. nur 0,33 % bezogen auf den Gesamtbereich von 2999 mA!

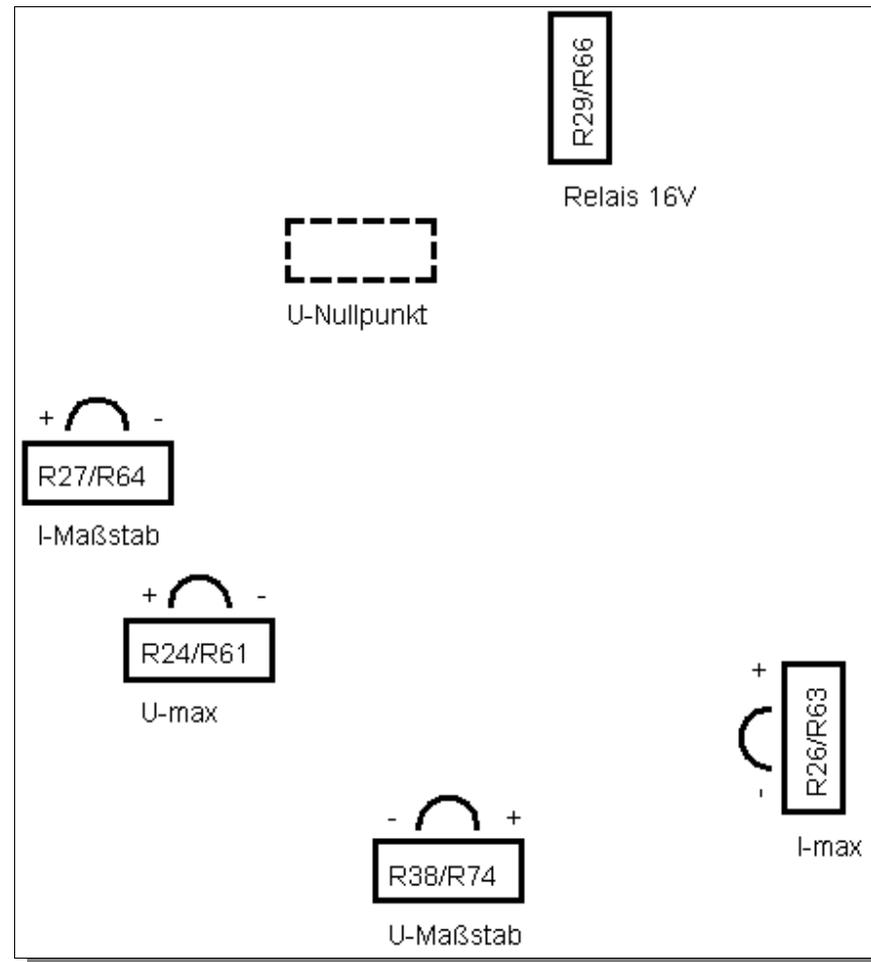


Abbildung 26: Lage der Abgleichtrimmer auf der Regelplatine

Was?	Trimmer	Voraussetzungen	Kalibrierung	Theoretisch erreichbare Genauigkeit
Korrekte angezeigte Spannung	R38/R74	Strombegrenzung auf Rechtsanschlag, STBY aus, Ausgangsspannung mit Multimeter auf ca. 19V einstellen	Angezeigte Spannung auf Multimeteranzeige einstellen	+/- 0,01 V
Maximale Ausgangsspannung	R24/R61	Spannungspoti und Strombegrenzung auf Rechtsanschlag, STBY aus	Ausgangsspannung mit Multimeter auf 29,9V einstellen	+/- 0,01 V
Wicklungsumschaltung 18V/36V	R29/R66	Ausgangsspannung auf +16V einstellen	Trimpoti solange drehen bis Relaisumschaltung hörbar, Hysterese beachten	+/- 0,5 V
Korrekte Stromanzeige	R27/R64	Strombegrenzung auf Rechtsanschlag, STBY aus. Last über externes Multimeter anschließen, Spannung langsam hoch regeln bis in den Bereich 2-3A	Angezeigter Strom auf Multimeteranzeige einstellen	+/- 1 mA
Max. Strombegrenzung	R26/R63	Strombegrenzung auf Rechtsanschlag, STBY aus, R26, R63 auf Linksanschlag. Last über externes Multimeter anschließen, Spannung langsam hoch regeln bis 3A	Angezeigter maximaler Strom auf 2,99 A einstellen	+/- 1 mA
Nullpunkt Stromanzeige ¹⁾	Nicht vorgesehen	Spannungspoti auf Rechtsanschlag, STBY aus, keine Last, Netzgerät min. 15 min in Betrieb	Mit variablen Widerstand (Megaohm Bereich) zwischen Pin 5 bzw. Pin 6 IC1B zu UREF einen Wert finden, wo die Stromanzeige gerade so 0000 mA anzeigt. Danach erneut R26/R63 kalibrieren.	+/- 1 mA ²⁾

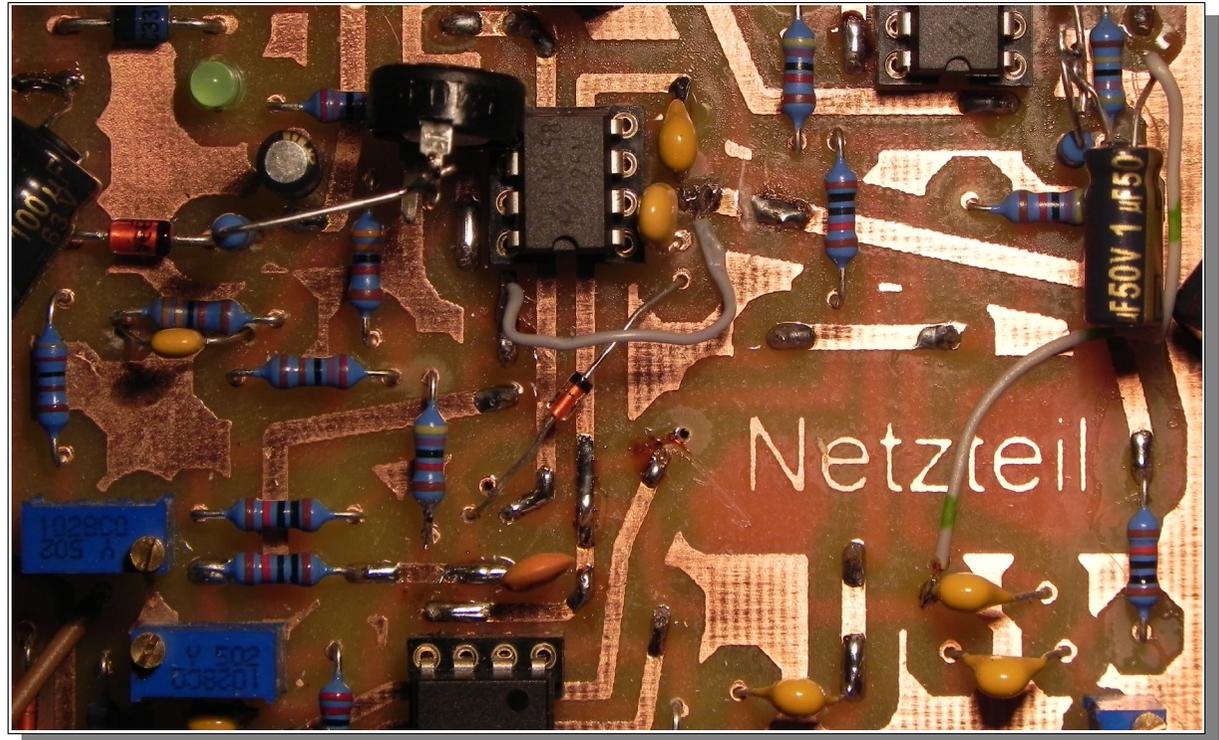
¹⁾ nur bei Bedarf. Erfordert das Einlöten eines ausgemessenen Widerstandes oder eine Kombination von Widerstand und Trimmer. Siehe auch Abschnitt 6.

²⁾ Temperaturabhängigkeit der Anzeige: ca. -0,1 mA/°C (das auf 0 °C temperierte Gerät zeigte +2 bzw. +3 mA gegenüber 0 mA bei 25°C an)

6. Letzte Änderungen an der Schaltung, Fazit

Nach Aufbau eines Mustergerätes und ausgiebigen Tests wurden eine Reihe wichtiger Änderungen notwendig, die nachfolgend beschrieben werden. Die ursprüngliche Schaltung war z.B. nur bis ca. 8 V Ausgangsspannung kurzschlussfest. Für die Änderungen wurde das Leiterplattenlayout aus Zeit- und Kostengründen nicht mehr verändert. Die Änderungen beziehen sich entsprechend auch auf beide Regelteile. Das nachfolgende Bild zeigt die Bestückungsseite mit den Änderungen.

1. C8 und C16 im Netzteil wurden von 100μ auf 820μ vergrößert, die Stabilität der negativen OPV Spannung wurde damit verbessert.
2. Nullpunktgleich der Stromanzeige:
Serienschaltung von einem Widerstand 2,2M mit Einstellregler 5M zwischen Pin 5 IC4 und Uref (R100 und R101 im Schaltplan). Im Mustergerät konnte die Abweichung von 22 bzw. 25 mA damit kompensiert werden.
3. Verbesserung in der Strombegrenzung, insbesondere die Verringerung zur Schwingneigung bei Kurzschluss:
 - Ersatzlose Entfernung R12, R14, T2, dafür Einfügen der Diode D13. C6 wird auch ausgelötet und an anderer Stelle wiederverwendet.
 - Vertauschen der beiden Eingänge von IC1A. Dazu die Leitungsführung von R1 bzw. R2 zu Pin 2 bzw. 3 ändern. Durchkontaktierung links unterhalb des ICs entfernen.
 - Parallel zu R3 wird ein Kondensator 1nF angelötet (links im Bild).
4. Verhinderung von Relaisflattern bei Kurzschluss: Anstelle von R28 (100k) werden 2 Widerstände 47k mit dem Kondensator $1\mu\text{F}$ gegen Masse eingebaut (im Bild ganz rechts oben, nur ein 47k Widerstand sichtbar).
5. Neudimensionierung der Längsregelung zur Vermeidung von Ausfällen bei Kurzschlüssen am Ausgang: Die neue Variante mit Zehner Diode ist ausreichend überdimensioniert. Versuche mit Thyristoren zum schnellen Abschalten des Längsreglers erbrachten schlechtere Ergebnisse.
 - Einbau von 2 TIP142 mit einem Vorwiderstand von jeweils 0,68 Ohm / 2Watt. Die Leistungstransistoren sind mit jeweils 2 (!!!) Glimmerscheiben übereinander und Wärmeleitpaste (jeweils nur Tröpfchen verwenden!) von innen an der hinteren Rückwand bzw. am Kühlkörper angeschraubt. Der Aufbau mit 2 Glimmerscheiben, auch an den Spannungsreglern 7812 ist notwendig, um eine ausreichende galvanische Trennung zu erreichen. Geprüft wurde der Aufbau nach dem Anschrauben der Regler, **vor** dem elektrischen Anschluss der Bauelemente mit einem Isolationsprüfgerät bei einer Messspannung von 500V. Bei nur einer Glimmerscheibe kam es regelmäßig zu Durchschlägen, die zudem dauerhaft



den Isolationswiderstand auf Werte unter 10 MOhm senkten.

- zusätzliche Zehner Diode zum Schutz vor schnellen Stromanstiegen, Begrenzung des Ausgangsstroms auf ca. 3 A je Transistor im ns Bereich
- nach diesen Änderungen kam es bei einem Netzteil zu Schwingungen im MHz Bereich. Die Schwingungen traten nur im Spannungsbereich unter 6 V unter Last auf. Kennzeichnend dafür war, dass das zweite unbelastete Netzteil ebenfalls einen Strom anzeigte, der aber nicht vorhanden war. Die (Um-) Verlegung der Verbindungsleitung 18/36V zu den Kollektoren der Längsregler brachte Abhilfe.
- Diese Verkabelung der Leistungstransistoren mit den zusätzlichen Bauteilen ist zweimal aufzubauen:

Fazit:

Das Gerät erfüllt jetzt (fast) alle Anforderungen: einzig die Regelzeit, bis die eingestellte Strombegrenzung einsetzt, ist leider noch etwas groß. Eine Parallelschaltung der Strom und Spannungsregelung wie z.B. im DPS 9000 M (CONRAD) würde diese Zeit wahrscheinlich verkürzen. Allerdings wäre dann auch eine Stromquelle zu dimensionieren und die Regelung komplett zu überarbeiten. Dafür war einfach keine Zeit. Für die Abschlusstests stand auch leider keine leistungsfähige HF- Quelle zur Verfügung, sodass die HF- Festigkeit nicht getestet werden konnte. Empfehlenswert ist aber, an allen Kabeln, die zu den Anschlussbuchsen führen, Drosseln mit Ferritkernen vorzusehen (z.B. 77A 15 μ von REICHELTE). Der 230V Eingang ist ja bereits mit einem Netzfilter entstört und das Metallgehäuse bietet beste Schirmungsmöglichkeiten. Da die Frontblende abnehmbar ist, kommt man auch später noch bequem an die Anschlüsse heran.

Bemerkenswert fand ich, dass die verwendete Ausgangsschaltung, mit einfachen Mitteln kurzschlussfest (Widerstand mit Zehner Diode) und regelbar bis auf 0,00 V (negative Spannungserzeugung durch zusätzliche Dioden in der Stromversorgung) gemacht werden konnte. Wie immer wurde auch bei diesem Projekt der Verkabelungsaufwand etwas unterschätzt.

Von den Einschränkungen mal abgesehen, es hat Spaß gemacht diese Kiste zu entwickeln, zu bauen und zu testen!

U. Behrndt

Sabel, April 2012

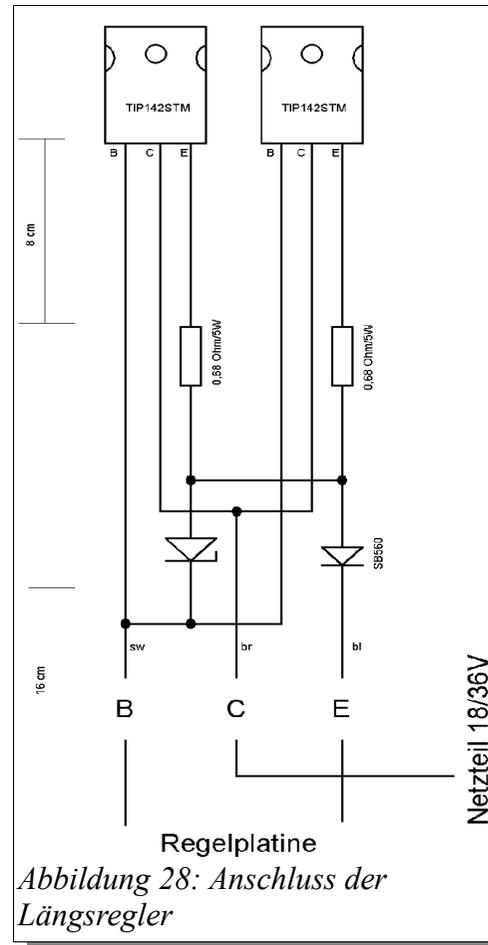


Abbildung 27: Anordnung der zusätzlichen Bauteile auf der Unterseite des Netztes

Zum Abschluss hier nochmal der Schaltplan der Regelung mit den nachträglichen Änderungen:

