



**Ein optischer  
Trennverstärker  
als Oszilloskop - Zusatzgerät**

**Autor: Dipl. Ing. Uwe Behrndt [ubehrndt@web.de](mailto:ubehrndt@web.de)**

## Inhaltsverzeichnis

1. Technische Daten.....	3
2. Die Schaltung.....	5
3. Die Leiterplatte.....	8
3.1. Leiterseite.....	8
3.2. Bestückungsseite.....	9
4. Der Bestückungsplan.....	10
5. Das Gehäuse und der mechanischer Aufbau.....	11
5.1. Bohrschablone für die Frontplatte.....	12
5.2. Vorschlag für ein Frontlayout.....	13
6. Liste der Bauelemente.....	14
7. mögliche Verbesserungen, Ausblick.....	15

Literatur: [1] High-Linearity Analog Optocouplers, Technical Data HCNR200/1, HEWLETT PACKARD, 5965-3577E

### © 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.*

*Uwe Behrndt*



**Achtung:**

*Aufgrund der in dem nachfolgend beschriebenen Gerät 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.**

## 1. Technische Daten

Eingangsspannungsbereich:	I	-2,00 V ... +2,00 V
	II	-20,0 V ... + 20,0 V
	III	-200 V ... + 200 V
	IV	-2000 V ... +2000 V
Ausgangsspannungsbereich:		-2,00 V ... +2,00 V (= 100%)
Ausgangsspannungsabweichung zwischen den Bereichen:		< 1,5% (Prototyp: < 1 %)
Drift Nullpunkt:		< 0,5 % (Prototyp: +/- 5 mV bzw. 0,25%)
Nichtlinearität	a) bei oberem Bereichsendwert:	< 0,5 % (Prototyp: +0,3 %)
	b) bei unterem Bereichsendwert:	< 1 % (Prototyp: -0,8 %)
Restwelligkeit am Ausgang (Eingang kurzgeschlossen):		< 0,5 % (Prototyp: <10 mV bzw. < 0,25% - 50Hz Einstreuung)
maximal zulässige Spannung zwischen Ein- und Ausgang:		500 V (HCNR201-000, angegebene Trafos und Leiterplatte, zusätzliche Isolationsprüfung mit 1000V notwendig) 1414 V (HCNR201-050, 3 Trafos, alle relevanten Abstände > 6 mm)
Stromversorgung:		AC 230 V, ca. 2 VA
Frequenzgang:	+/- 0,09 dBV (+/- 1%)	0 ... 34 kHz
	- 0,3 dBV	... 40 kHz
	- 1 dBV	... 56 kHz
	- 6 dBV	... 120 kHz (Signal nur qualitativ beurteilbar)
	- 20 dBV (-90 %)	... 700 kHz (Signal gerade noch erkennbar)

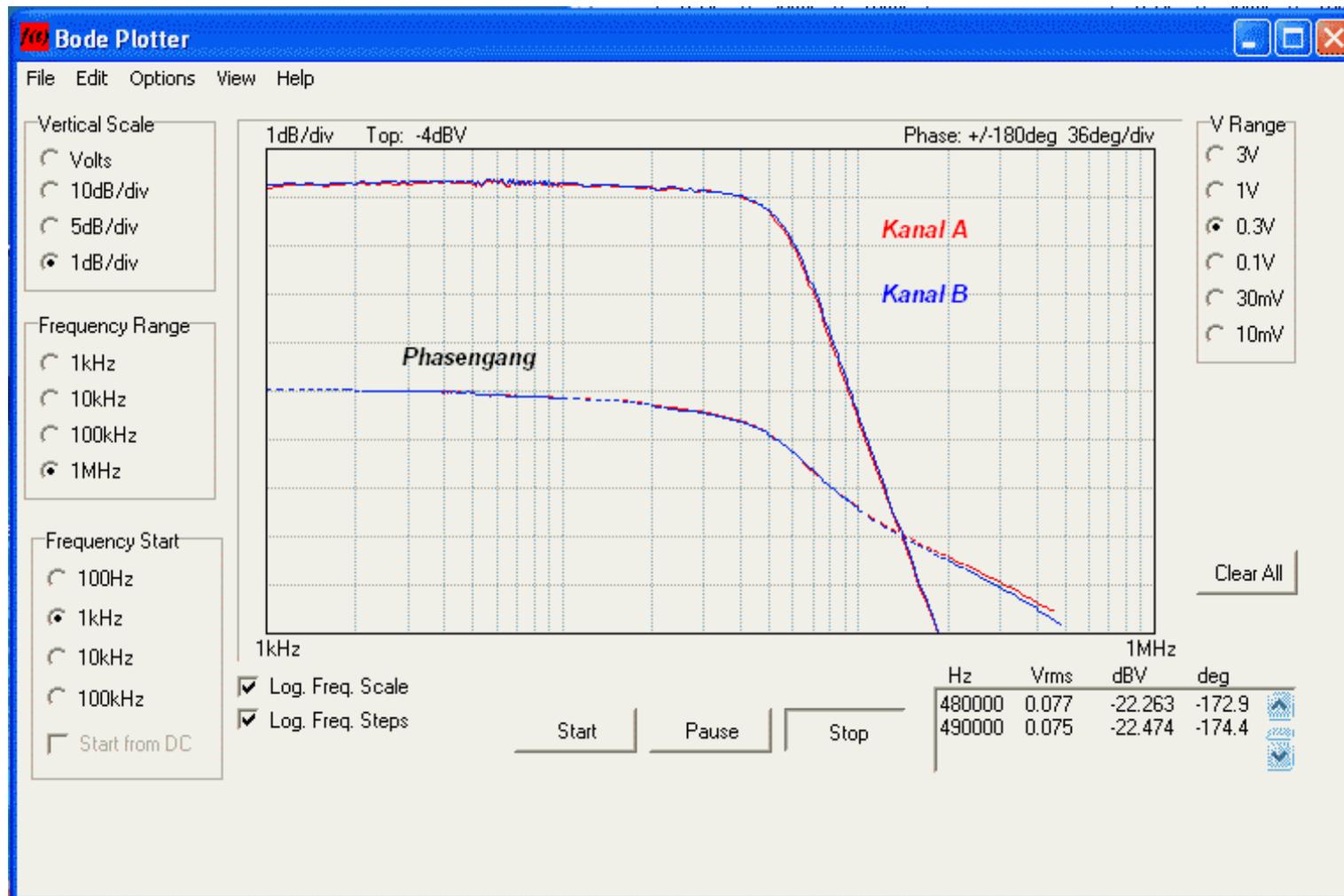


Abbildung 1: Übertragungsverhalten der Trennverstärker, Bodediagramm; gemessen am fertig aufgebauten Prototypen

## 2. Die Schaltung

Der im folgenden beschriebene Trennverstärker ist als Vorsatzgerät für einen Oszillographen (Oszi) vorgesehen. Bekanntlich ist bei einem Oszi der Massebezug des Messeinganges identisch mit der Gehäusemasse und damit dem Schutzleiter. Messungen an Schaltungen mit einem anderen Potenzial sind damit nur schwierig oder gar nicht möglich. Insbesondere die Messung an (Netz-) spannungsführenden Geräten wird dann zum Problem, da eine Potenzialtrennung von mehreren 100V notwendig ist. Eine Lösung sind sehr hochohmige aufwändige Instrumentenverstärker oder optisch getrennte Verstärker. Der Nachteil der Instrumentenverstärker ist die erforderliche Gleichtaktunterdrückung über den gesamten Bereich der Potenzialverschiebung. Die Nachteile der optischen Trennung liegen in den Problemen der Übertragung von Gleichspannungen, die nichtlinearen Kennlinien der Optokoppler und die Begrenztheit der Übertragungsfrequenz. Mein Ziel war ein Trennverstärker für Audiosignale mit einer Abweichung in der Amplitude im Prozentbereich, der aber bis mehrere hundert kHz qualitative Aussagen zum Messsignal liefern sollte.

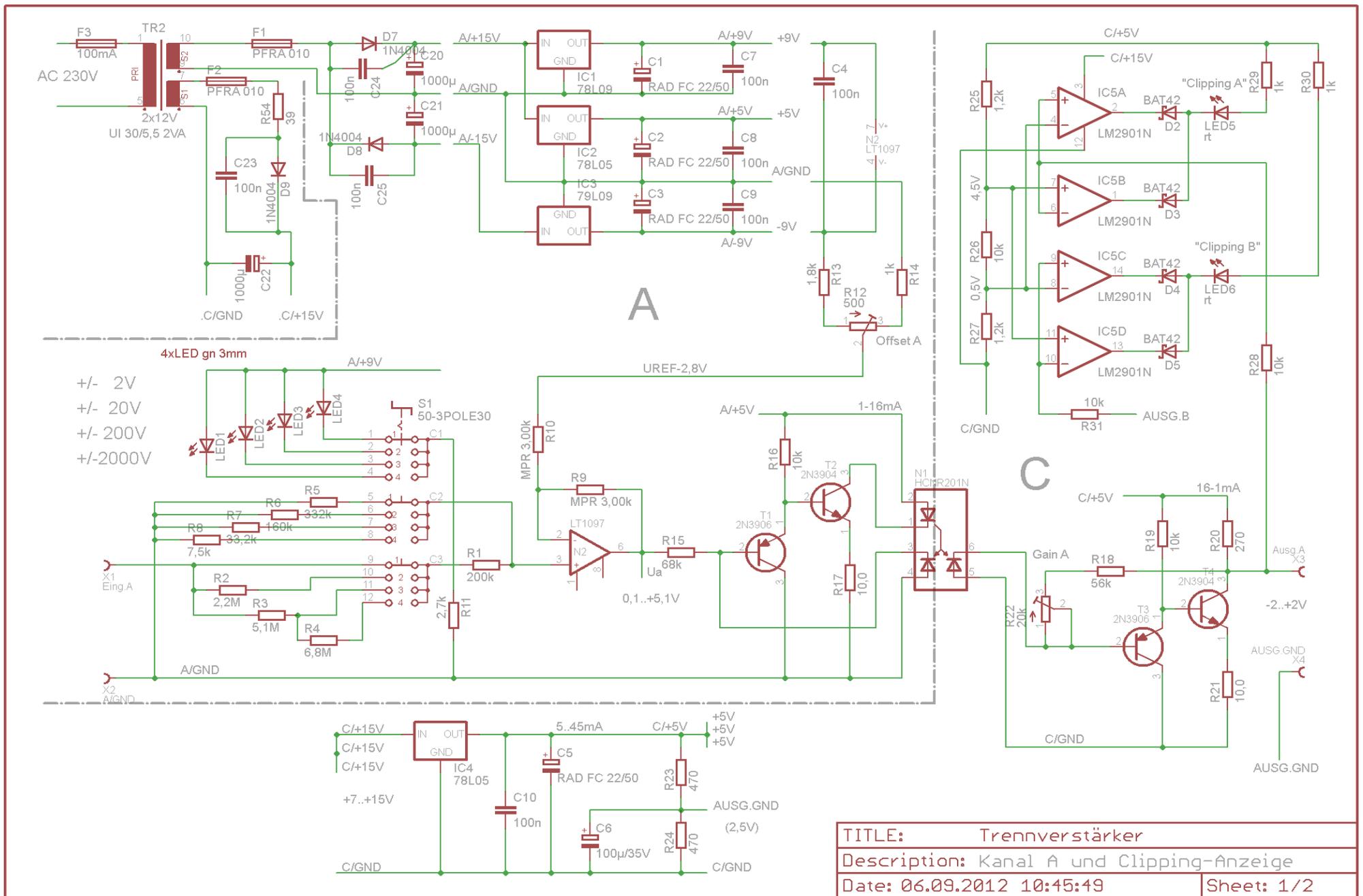
Die Schaltung besteht aus 2 unabhängigen Kanälen und damit drei voneinander potenzialgetrennten Schaltungsteilen: die beiden Eingangsverstärker und die Ausgangsstufen, die mit der Masse des angeschlossenen Messgerätes (Oszi) verbunden sind. Jede Schaltung hat damit auch eine eigene Stromversorgung. Für den eigentlichen Trennverstärker kam der Optokoppler HCNR201 zum Einsatz. Er besitzt neben der LED zwei Fotodioden. Das hat den Vorteil, dass man eine dieser Dioden elegant für eine Rückkopplung und damit Linearisierung der Kennlinie verwenden kann. Die Ansteuerung des Optokopplers und die Ausgangssignalerzeugung beruht auf der Applikationsschaltung „High-Speed Low-Cost Analog Isolator“ im technischen Datenblatt des HCNR20x [1]. Zusätzlich wird, um bipolare Signale übertragen zu können, das Ausgangssignal statisch mit R23/R24 um 2,5V verschoben. Das Ausgangssignal bewegt sich, auf dieses Potenzial bezogen, im Bereich -2 ... +2V.

Das zu übertragende Eingangssignal wird über einen schaltbaren Spannungsteiler einem Messverstärker zugeführt. Der 4 -stufige Spannungsteiler ist auf den späteren Anschluss an einen Oszi abgestimmt – direkt im Oszi lässt sich so der gesamte Trennverstärker als Tastkopf (1:1, 1:10, usw.) einstellen, ohne die zu messenden Werte von Hand umrechnen zu müssen. Zur Erzielung der erforderlichen Genauigkeit sind R9, R10, R40 und R41 als 0,1% Widerstände und alle anderen als 1% Metallschichtwiderstände ausgeführt. Der OPV vom Typ LT1097 ist ein Kompromiss zwischen Kosten und Bandbreiteprodukt. Die Simulation mit LTSpice zeigt, dass mit einem LTC1151 bei deutlich höherem Preis (je 12,63 € bei VOELKNER) auch eine wesentlich höhere Übertragungsrate erzielbar ist. Allerdings ist dieser Präzisions OPV nicht pinkompatibel zum LT1097.

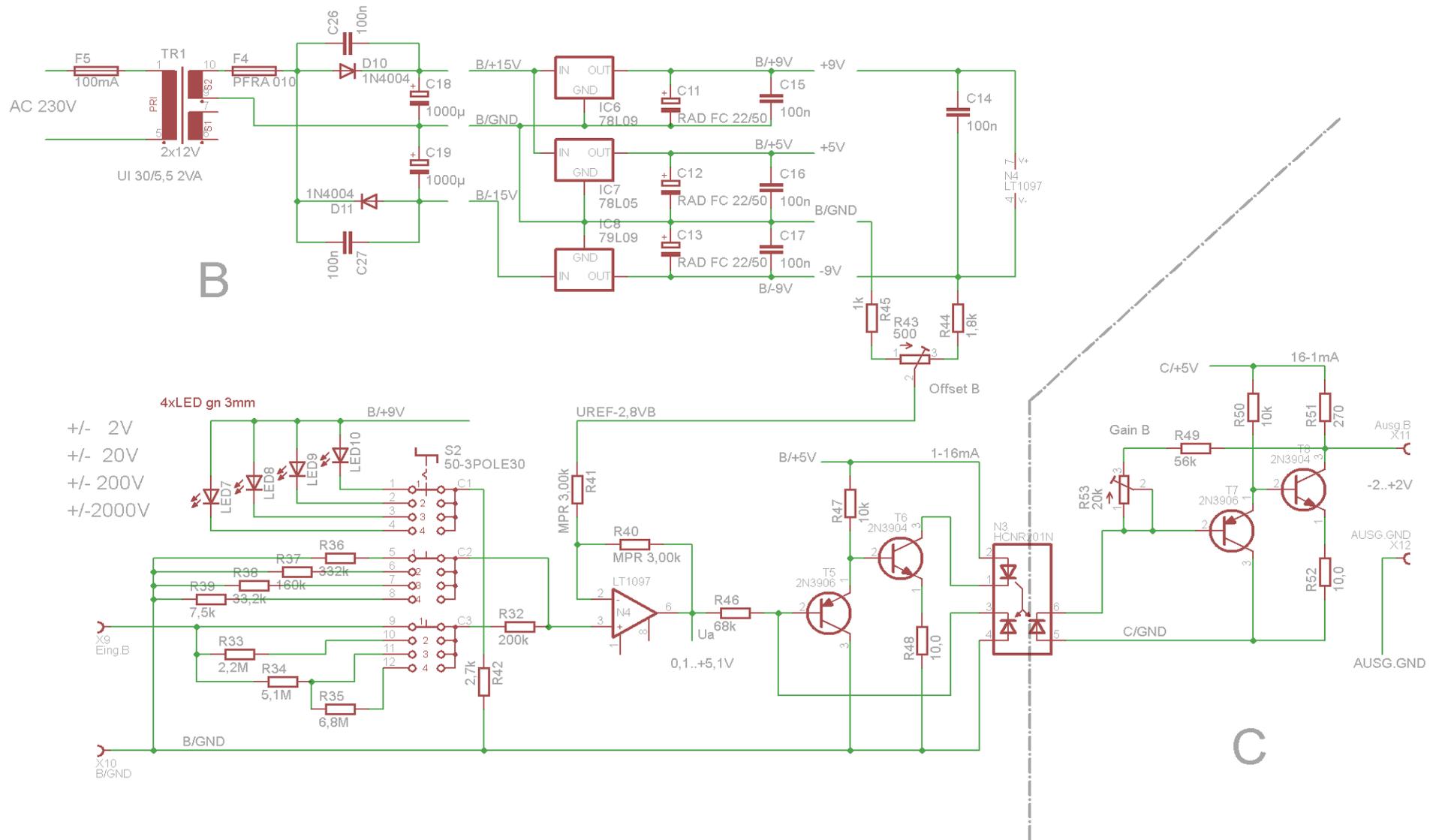
Die Übertragungsverstärkung von Optokopplern (K3) streut bei der Herstellung, auch wenn bereits ein selektierter HCNR201 zum Einsatz kommt, muss der Trennverstärker deshalb kalibriert werden. Dazu sind in jedem Kanal zwei Einstellregler vorhanden: R22/R53 in den Ausgangsverstärkern für die Feineinstellung der Verstärkung (Gain) jedes Kanals, sowie R12/R43 an den Operationsverstärkern für die Verschiebung (Offset) letztlich des Ausgangssignals. Praktisch wird nach einer einmaligen Kalibrierung bei Bedarf nur noch mit den Offset-Reglern das Ausgangssignal auf „0“ abgeglichen.

Als „Schmankerl“ gibt es eine Übersteuerungsanzeige (Clipping) für beide Kanäle. Überschreitet das Ausgangssignal den Bereich -2 ... +2V, so leuchtet jeweils eine rote LED als Hinweis auf. Der dazu benötigte Fensterdiskriminator ist mit einem LM2901 aufgebaut. Allerdings musste seine Stromversorgung von 5V auf 15V gelegt werden, da sonst die sichere Erkennung der positiven Überschreitung zu ungenau war.

Die Stromversorgung ist recht simpel über Einweggleichrichtung realisiert. Als Besonderheit sind die 100nF parallel zu den Gleichrichterdiolen zu nennen: sie reduzieren die Impulseeinstreuungen in die Verstärker. Ursprünglich sollten anstelle der Trafos DC/DC Wandler eingesetzt werden, doch die von ihnen erzeugten Störungen konnten leider nicht eliminiert werden.



TITLE: Trennverstärker	
Description: Kanal A und Clipping-Anzeige	
Date: 06.09.2012 10:45:49	Sheet: 1/2

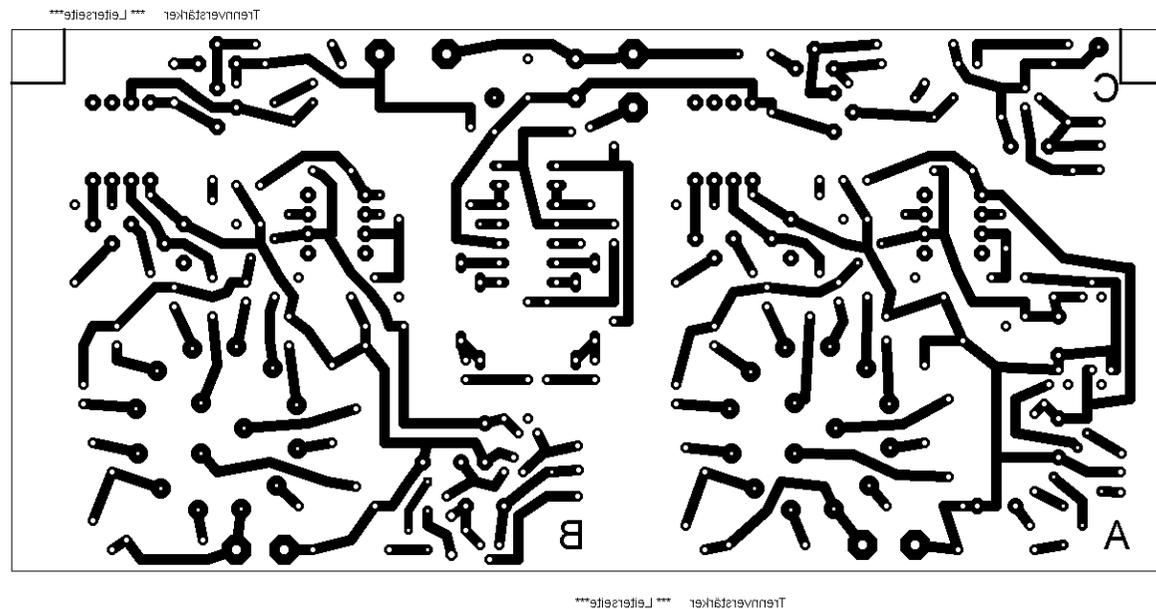


TITLE: Trennverstärker	
Description: Kanal B	
Date: 06.09.2012 10:45:49	Sheet: 2/2

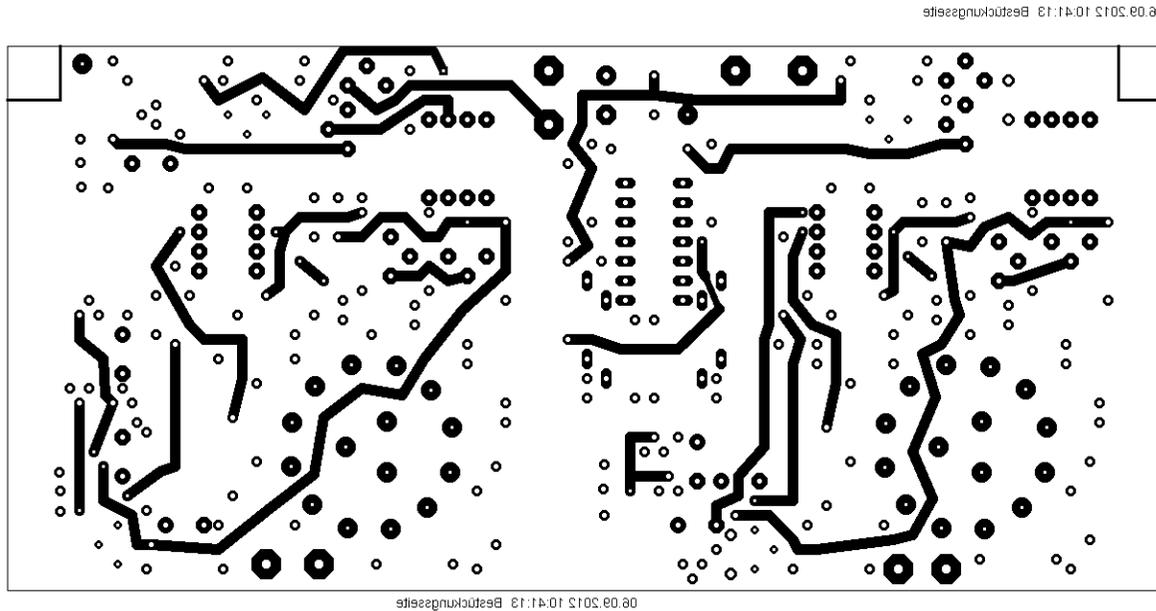
### 3. Die Leiterplatte

Bis auf die Stromversorgung und die Eingangsbuchsen finden alle Schaltungskomponenten auf einer doppelseitigen Platine **154 x 71 mm** Platz.

#### 3.1. Leiterseite

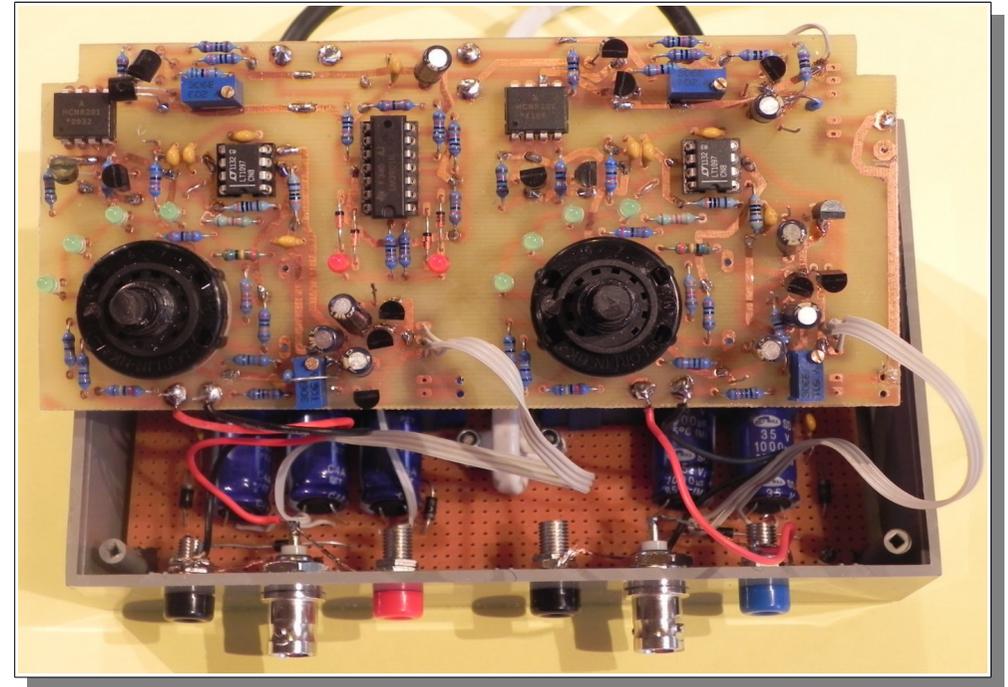
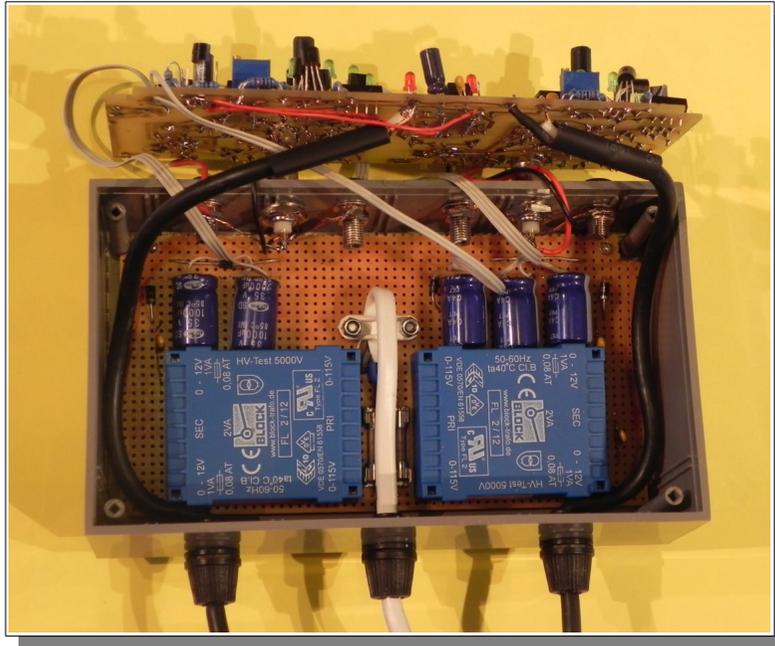


### 3.2. Bestückungsseite



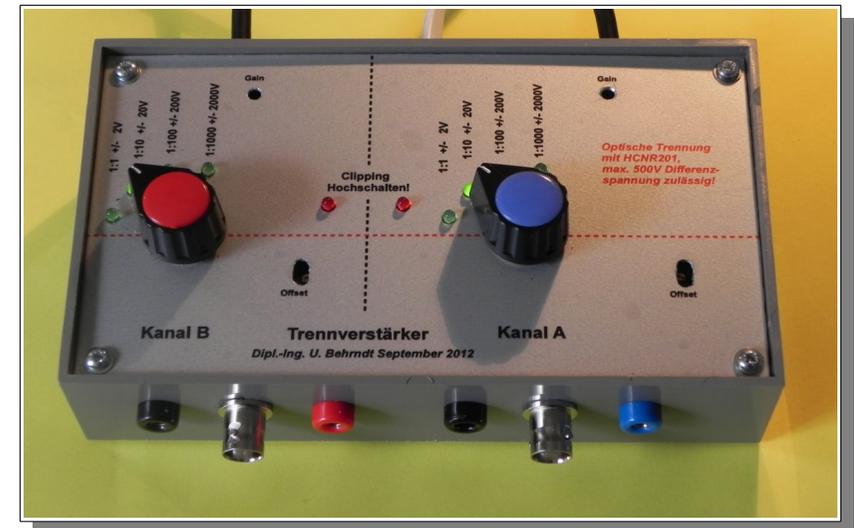


## 5. Das Gehäuse und der mechanischer Aufbau

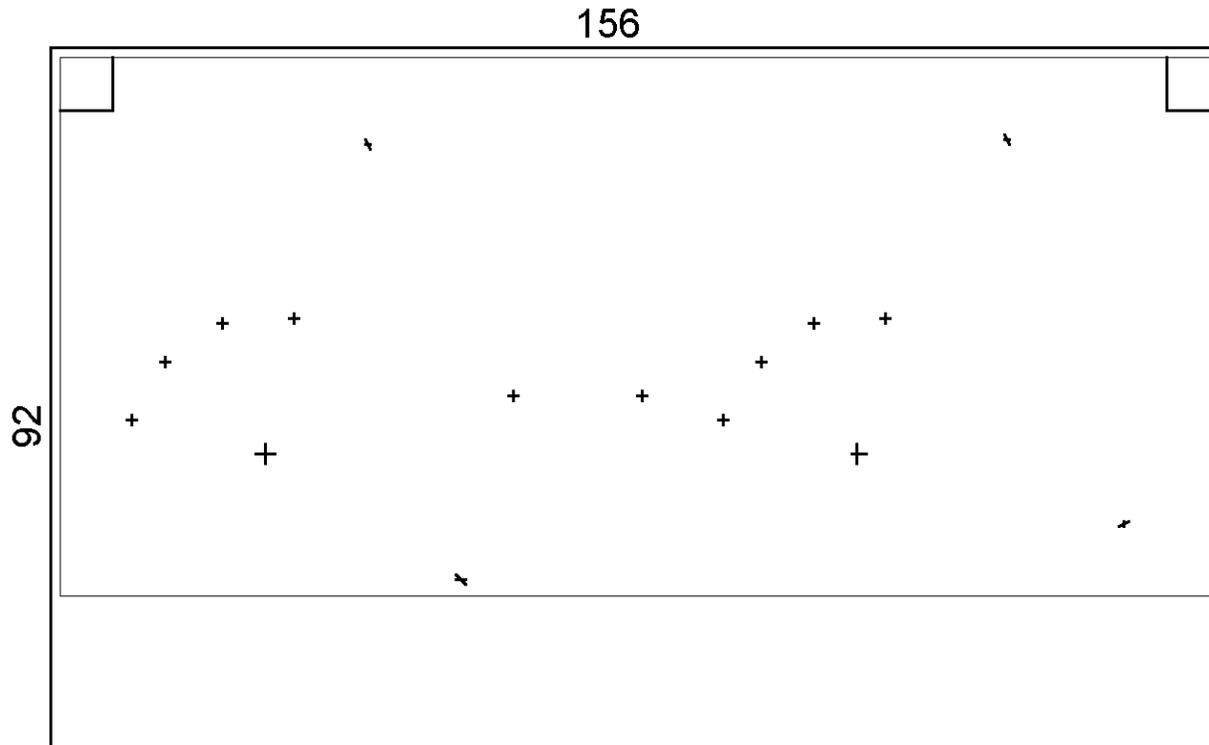


Als Gehäuse wurde für den Prototypen ein Pultgehäuse TEK0 362 mit den Abmaßen 161x97x60mm verwendet. Um es vorwegzunehmen: Das Gehäuse ist eigentlich nicht hoch genug um die Transformatoren und die bestückte Leiterplatte gleichzeitig aufzunehmen. Dazwischen sind trotz Flachtransformatoren mit nur 17 mm Bauhöhe weniger als 1 mm Luft. Für eine sichere Potenzialtrennung ist das zu wenig! Daher wurde die zulässige Isolationsspannung auf 500V begrenzt. Auch ist eine Einstreuung der 50Hz Wechselspannung in die Vorverstärker messbar.

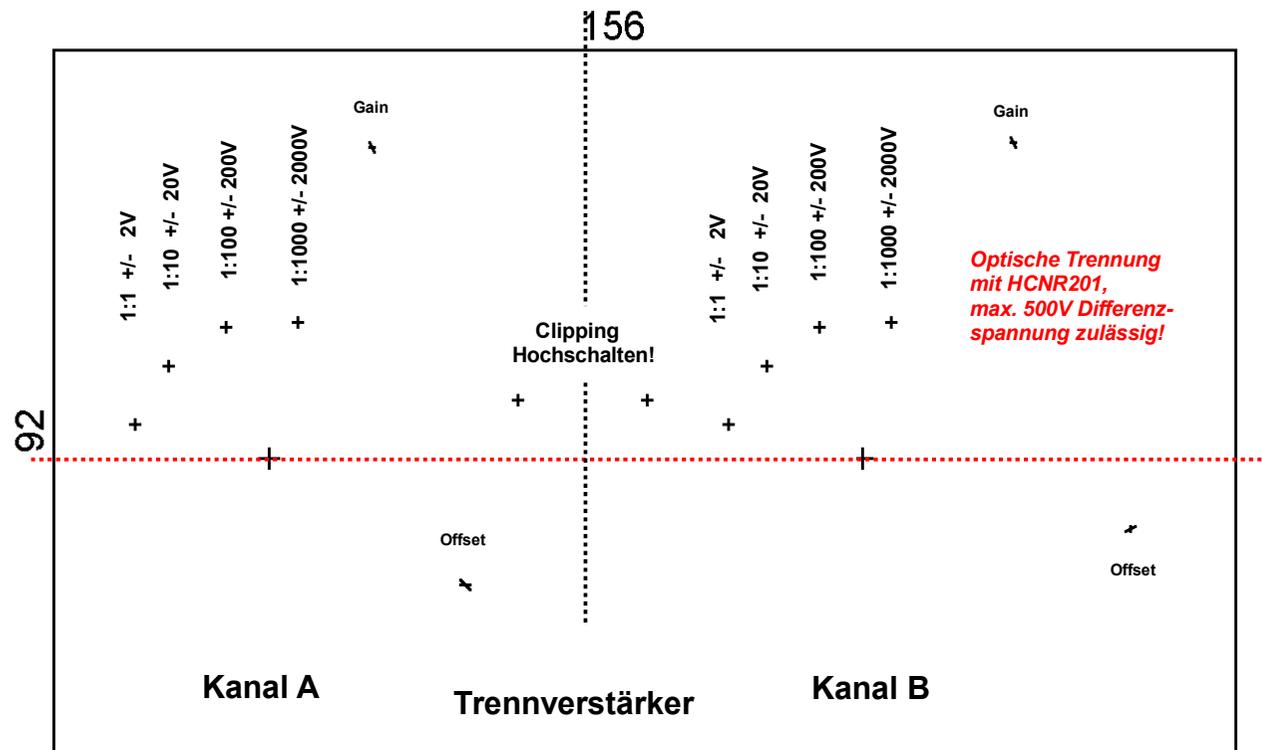
Der Aufbau selbst ist einfach: in die Vorderfront des Kunststoffgehäuses werden die Buchsen montiert, in die Rückfront Zuentlastungen. Die Stromversorgung ist auf einer Lochrasterplatte eingelötet und am Boden des Gehäuses angeschraubt. Auf den Umschaltern wird die fertig gebohrte und gestaltete Frontplatte befestigt. Vorher wird von den metallenen Endbegrenzern der Umschalter (im Bild noch nicht aufgesetzt) ein Draht zur Ausgangsmasse (Ausg.GND) gelötet um die Frontplatte zu erden. Letztlich wird die ganze Baugruppe mit 4 Schrauben im Gehäuse befestigt.



## 5.1. Bohrschablone für die Frontplatte



## 5.2. Vorschlag für ein Frontlayout



## 6. Liste der Bauelemente

Bestellnummern für REICHELT:

Preis: ca. 49 € (Stand 6.9.2012) zuzüglich Versand

Bauteil	Anzahl	Bauteil	Anzahl
2N 3904	4	METALL 68,0K	2
2N 3906	4	METALL 7,50K	2
64Y-20K	2	MPR 3,00K	4
64Y-500	2	RAD FC 100/10	1
BAT 42	4	RAD FC 22/50	7
BB 4 BL	1	TEKO 362	1
BB 4 RT	1	UG 1094U	2
BB 4 SW	2	ZEIGER 20-6 SW	2
DECKEL 20M BL	1	µA 78L05	3
DECKEL 20M RT	1	µA 78L09	2
GS 8P	2	µA 79L09	2
KBK 102 2M	1	Z5U-5 100N	14
LED 3MM GN	8	RAD 105 1.000/25	5
LED 3MM RT	2	1N 4004	5
LM 2901 DIL	1	PFRA 010	3
LT 1097 CN8	2	PL 120000	4
METALL 1,20K	2	TRÄGE 0,1A	2
METALL 10,0	4	METALL 2,70K	2
METALL 10,0K	7	METALL 1,80K	2
METALL 160K	2	METALL 1,00K	4
METALL 2,20M	2	METALL 56,0K	2
METALL 200K	2	METALL 470	2
METALL 270	2	METALL 39,0	1
METALL 33,2K	2	DS 3PC	2
METALL 332K	2	UI 30/5,5 212	2
METALL 5,10M	2	H25PR200	1
METALL 6,80M	2	GS 14P	1
KAZU 1	3		

Bestellung für digitalo:

2 x Optokoppler HCNR201-000E

Preis: 14,39 incl. Versand (Bezahlung per PayPal)

Stand: 27.08.2012

**Gesamtkosten: ca. 69 € zuzüglich Leiterplatte**

Die Bauteile sind auch als öffentlicher Warenkorb verfügbar:

<http://www.reichelt.de/?ACTION=20;AWKID=626537;PROVID=2084>

## 7. mögliche Verbesserungen, Ausblick

- Vergrößerung der maximal zulässigen Potenzialdifferenz zwischen den Eingängen und dem Ausgang gemäß VDE (eine gute Übersicht der relevanten Vorschriften findest du hier: <http://www.mikrocontroller.net/articles/Leiterbahnabst%C3%A4nde> )
  - Verwendung eines größeren Gehäuses → TEKO 363 (216 x 130 x 76)
  - Einsatz von 3 anstelle bisher 2 Transformatoren
  - Neues Leiterplattenlayout mit Mindest- Abständen zwischen den 3 Schaltungsbereichen > 6 mm, besser noch >10 mm (siehe auch <http://www.electronicprint.eu/files/rundumleiterplatte/spannungsfestigkeit.pdf> )
  - Einsatz des HCNR201-050 anstelle des HCNR201-000
  - Bessere Leitungsführung im Gehäuse, sodass ausreichende Leitungsabstände gewährleistet werden
  - Verzicht auf BNC- Buchsen an den Eingängen (Berührungssicherheit)
  - Keine Öffnungen durch das Gehäuse für den direkten Zugang zu den Einstellreglern
- Bessere Übertragung höherer Frequenzen (möglicherweise Verdoppelung der Grenzfrequenz erreichbar)
  - Einsatz des OPVs LTC1151 (anderes Leiterplattenlayout notwendig)
- Verbesserung der Handhabbarkeit
  - Durchgängige Kennzeichnung der beiden Messkanäle als Kanal „gelb“ bzw. Kanal „blau“ incl. Farbmarkierungen an den Ausgängen in Anlehnung an die Kennzeichnungen der Oszi- Eingänge und Prüflösungen
- Verringerung der Restwelligkeit an den Ausgängen (< 1 mV erreichbar)
  - Vergrößerung der Abstände der Messverstärker zu den Netzteilen
  - Eventuell Kapselung der Messverstärker mit Metallabschirmung
  - Aufbau aller Stromversorgungen mit Vollweggleichrichtung
  - Verwendung abgeschirmter Kabel für den Anschluss der Eingangsbuchsen