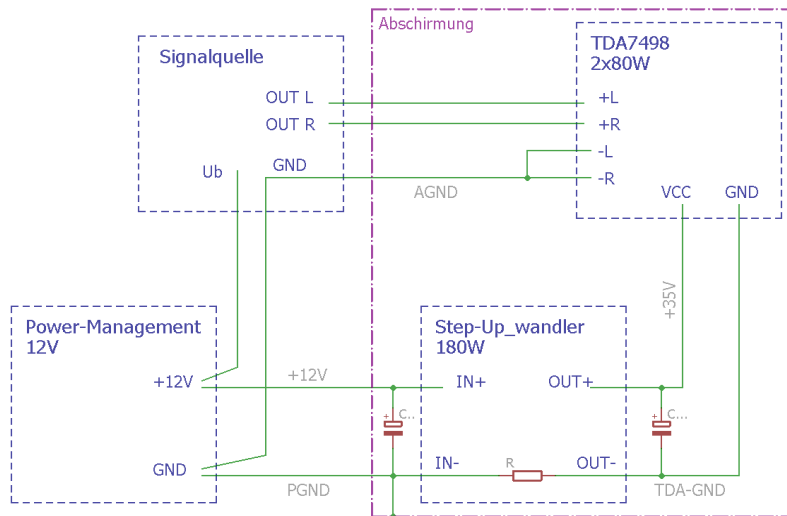


3.5. Step-Up-Wandler und Leistungsverstärker (8 Ohm Last)

Modulkonzept und Masseführung

Jedem TDA7498 ist ein Step-Up-Wandler (Anlage 5.7.) zugeordnet. Das Eingangssignal kommt aus der Signalquelle (Signalgenerator oder AUNA).

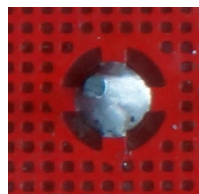


In der Übersicht ist gut die Signalführung, insbesondere die der Bezugsmasse für den Ausgangsverstärker zu sehen. Die Stromversorgung per Step-Up-Wandler ist davon strikt getrennt. Das garantiert eine gute Unterdrückung von Störsignalen. Zusätzlich sind der Step-Up-Wandler und der Verstärker, sowie die meisten Kondensatoren von einer gemeinsamen Abschirmung umgeben – insbesondere die hohen Ausgleichströme des Schaltreglers produzieren enorme elektromagnetische Störungen. Daher sind die Leitungen zwischen den beteiligten Baugruppen auch möglichst kurz zu halten.

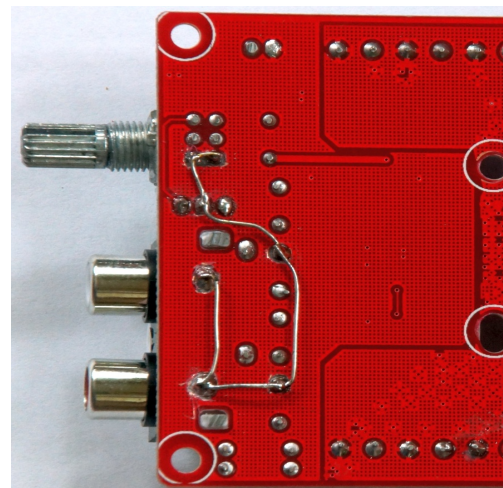
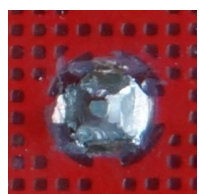
Vorbereitung des Verstärkermoduls

Der TDA7498 unterstützt von Haus aus differentielle Eingangssignale. Beim gelieferten Board sind zwar die vier 1 μ F Koppelkondensatoren bestückt, aber leider die Bezugsmassen für die Ein- und Ausgänge identisch. Im Referenzdesign [5] sind sie noch korrekt getrennt (mit J7/J8 aber zuschaltbar). Die Trennung dient dazu Störspannungen und Erdschleifen zu verhindern. Hinzu kommt, dass der preiswerte Step-Up-Wandler mit Ausgangsstrombegrenzung einen anderen Massebezug hat. Für den Umbau sind daher die Masseverbindungen der betroffenen Bauteile auf der Leiterseite zu „kappen“ – entweder durch ritzen oder fräsen. Ein Auslöten wäre zu aufwendig. Danach werden die so freigestellten Lötinseln untereinander mit Drahtstückchen verbunden, fertig.

Vorher:

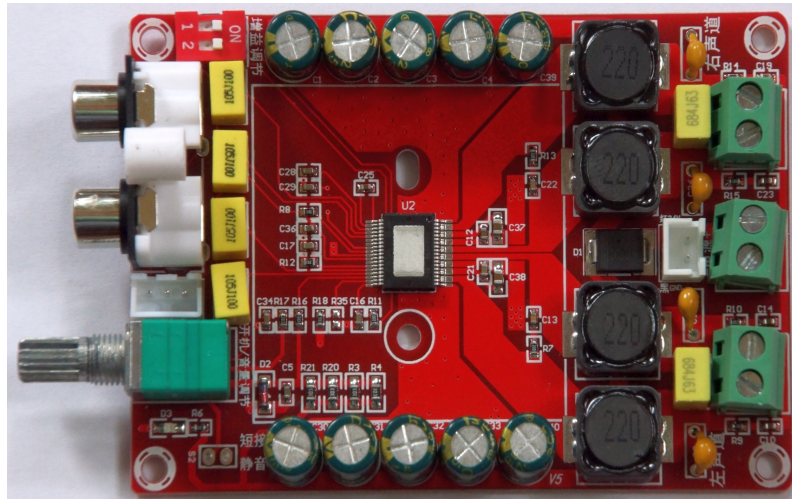


Nachher:



Das Potentiometer ist dann auch weiterhin nutzbar. Es begrenzt auch den Eingangswiderstand auf 47k. Anschließend ist per Multimeter zu prüfen, dass nun die neue Masse keine Verbindung mehr mit der originalen Masse GND hat ($R > 5 \text{ MOhm}$). Für den späteren Anschluss an die Signalquelle/DSP können nun die weiße 3-polige Buchse oder auch die Cinch-Buchsen genutzt werden.

Eines gilt es aber noch zu ändern: Der Übergang vom TDA7498 zum Kühlblech sollte unbedingt mit Wärmeleitpaste versehen werden, da beim Betrieb über eine sehr kleine Fläche bis zu 20 W thermische Energie (Dissipated power) übertragen werden! Bei den gelieferten chinesischen Boards war nichts davon zu sehen ...



Beim Wieder-Befestigen des Kühlblechs ist auf eine plane Ausrichtung zur IC-Oberfläche zu achten.

Test Step-Up-Wandler mit Verstärker an 8 Ohm Last

Zur Überprüfung aller relevanten Parameter wurde ein Leistungstest mit den entsprechend vorbereiteten Modulen und zwei 8 Ohm Lasten (2x100W, siehe Pkt. 5.8.) durchgeführt:

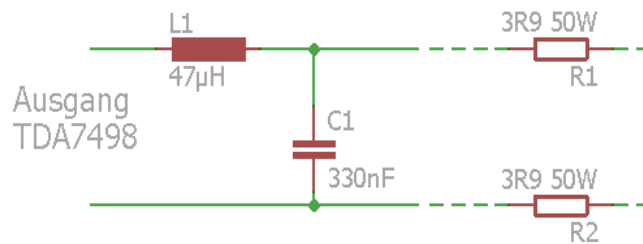
Zwei parallelgeschaltete 12 V Akkus \rightarrow 15 mF \rightarrow Step-Up-Wandler \rightarrow 20 mF \rightarrow TDA7498 \rightarrow Chassis-Imitation.

Mehrere Messgeräte inklusive Oszi mit Potenzialtrennung, ein optischer Trennverstärker und ein Pyrometer kamen zum Einsatz. Effektivwerte wurden mit einem kalibrierten 1 % TRUE-RMS-Multimeter (DM9199) im Bereich 50 Hz ... 400 Hz gemessen.

Es zeigte sich, dass der chinesische Verstärker nicht ganz die erwarteten Parameter bringt. Der maximal erreichbare unverzerrte Ausgangspegel (optisch lt. Oszi unverzerrt) im Ein-Kanal-Betrieb (Eingangssignal: Sinus, 400 Hz) betrug bei 35 V Versorgungsspannung $V_{\text{eff}}=19,6$ und damit „nur“ $19,6^2 / 7,8 = 49 \text{ W}$ anstelle der erwarteten 78 W. Sind beide Kanäle aktiv, so sind ebenfalls nur ca. $2 \times 49 \text{ W}$ verfügbar. Ursache sind beginnende Verzerrungen in den Sinus-Spitzen vor Erreichen der theoretischen Grenze von $V_{\text{max}_{\text{eff}}} = 2 \cdot 35 \text{ V} \cdot 0,353 = 24,7 \text{ V}$. Zudem erreicht die Kühlkörpertemperatur des Verstärkers bei $2 \times 50 \text{ W}$ trotz zusätzlicher Wärmeleitpaste bereits beachtliche $90 \text{ }^\circ\text{C}$! Zu allem Überfluss verschiebt sich das Ausgangssignal bei großen Lasten asymmetrisch in Abhängigkeit des Masse-Spannungsabfalls durch den Step-Up-Wandler, auch je nach Verstärkungsmodus des TDA. Die Eingangs-Schaltung im TDA ist wohl nicht so sehr symmetrisch. Die maximal erzielbare unverzerrte Ausgangsspannung reduziert sich damit natürlich.

Um beste Ergebnisse zu erreichen, habe ich kräftig gemessen und auch experimentiert. Daher erfolgten die abschließenden Messungen auch mit einem zusätzlichen Tiefpass mit $f_0=40\text{kHz}$ an einem Ausgang. Da das Teil nicht im Hörbereich arbeitet, kann eine preiswerte Spule mit Ferritkern genommen werden (REICHEL: L-PISR 47μ), sie verkraftet auch 5A bei 0,07 Ohm

Eigenwiderstand:



Hier die ermittelten Werte (ein Kanal) im Einzelnen:

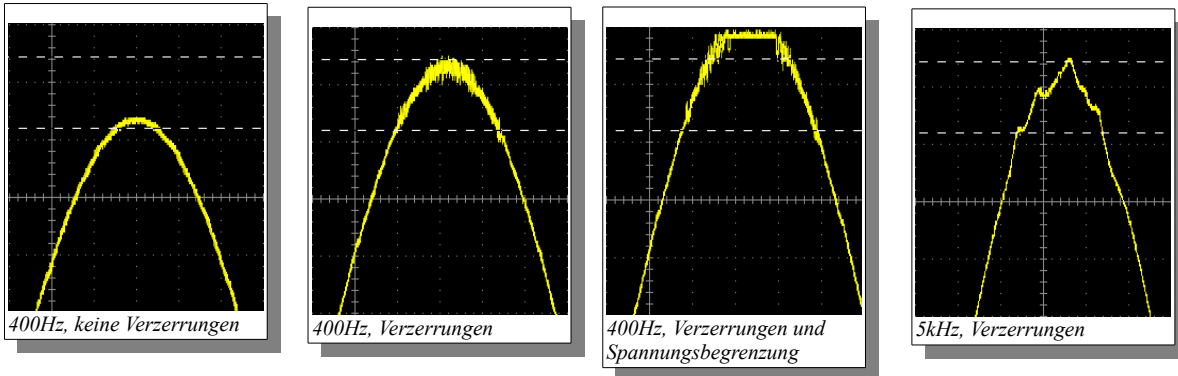
- Minimale Ausgangsspannung (Poti minimale Lautstärke, keine Leitungen an den Eingängen)
 - Ohne Tiefpass: $U_{a\text{eff Oszi}} = 30\text{-}60\text{ mV}$ (entspricht ca. 320 mW) bei $f=320\text{ kHz}$
 - Mit Tiefpass: $U_{a\text{eff Oszi}} = 5\text{-}7\text{ mV}$ (entspricht 5 mW) bei $f=320\text{ kHz}$
 - $U_{a\text{eff Multimeter}} = 5\text{ mV}$ (entspricht 3 mW) bei $f \ll 20\text{ kHz}$
- Maximale Ausgangsspannung (nur ein Kanal aktiv, Verstärkungsmodus 26 dB)
 - a) $U=35\text{ V}$, ohne Tiefpass: $U_{a\text{eff}} = 19,6\text{ V}$ (49 W)
 - b) $U=35\text{ V}$, mit Tiefpass: $U_{a\text{eff}} = 20,6\text{ V}$ (54 W)
 - c) $U=37\text{ V}$, mit Tiefpass: $U_{a\text{eff}} = 22,3\text{ V}$ (64 W)
 - d) $U=39\text{ V}$, ohne Tiefpass: $U_{a\text{eff}} = 21,6\text{ V}$ (60 W)
 - e) $U=39\text{ V}$, mit Tiefpass: $U_{a\text{eff}} = 23,2\text{ V}$ (69 W)
- Maximal nutzbarer Dynamikumfang (Störsignale begrenzen Hörbereich):

$$20\log\left(\frac{20}{0,003}\right) = 76\text{dB}$$
- Maximale Ausgangsspannung (beide Kanäle aktiv) $U_{a\text{eff}} = 19,5\text{ V}$ (2x 49 W)
- Thermische Leistung am Kühlblech (TDA7498) bei $P_a=2 \times 50\text{W}$: ca. 12 W; $T_{\text{KB5min}} = 90\text{ °C}$
 → Wirkungsgrad = $2 \times 49 / 112 = 87,5\%$
- Temperatur an Kühlblechen des Step-Up-Wandlers bei $P_a=115\text{W}$: $T_{\text{KB5min}} = 47\text{ °C}$
- Höhenanhebung wegen Fehlanpassung C20, C26 (8 Ohm anstelle 6 Ohm Last) auf dem Verstärker-Board:

Frequenz	< 1 kHz	4 kHz	8 kHz	12 kHz	16 kHz	20 kHz	25 kHz
U_a (ohne Tiefpass)	0 dB	+0 dB	+0,3 dB	+1,2 dB	+1,7 dB	+2,0 dB	+1,9 dB
U_a (mit Tiefpass)	0 dB	+0 dB	+0 dB	+0,7 dB	+1,5 dB	+0,5 dB	+0 dB

Bei einer Erhöhung der Versorgungsspannung von 35 V auf die maximal im Dauerbetrieb empfohlenen 39 V [5] erhöht sich die entnehmbare Leistung um ca. 10 W. Die gesamte Ausgangsleistung beider Kanäle sollte aber 100 W (RMS) nicht überschreiten (Begrenzung durch den Kühlkörper bzw. der Chiptemperatur).

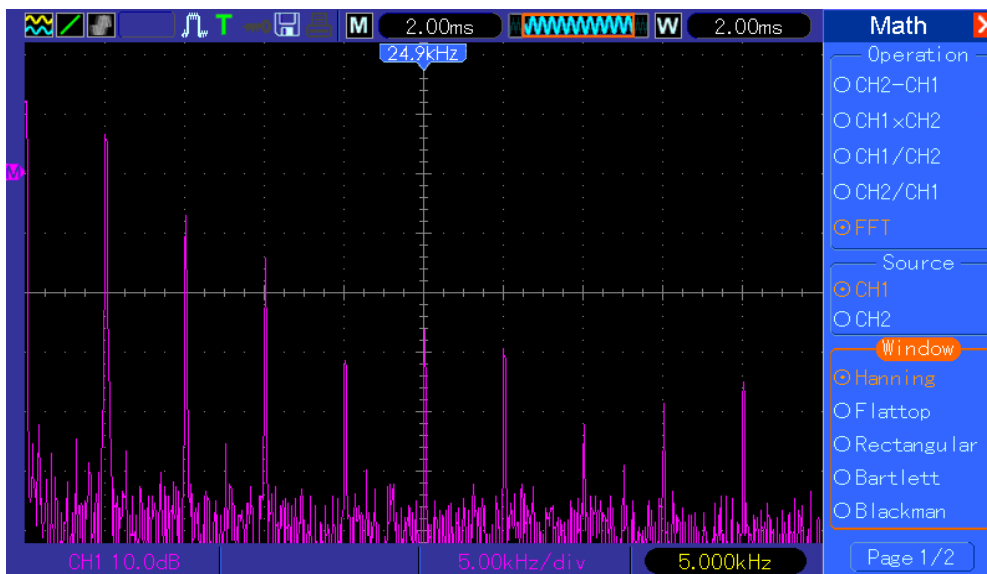
Die Analyse der Verzerrung bei großen Lasten zeigt einen störenden Frequenzaufschlag im Bereich 15 ... 50 kHz. Das ist bei einem Eingangssignal von 5 kHz sehr gut zu erkennen (Bild ganz rechts):



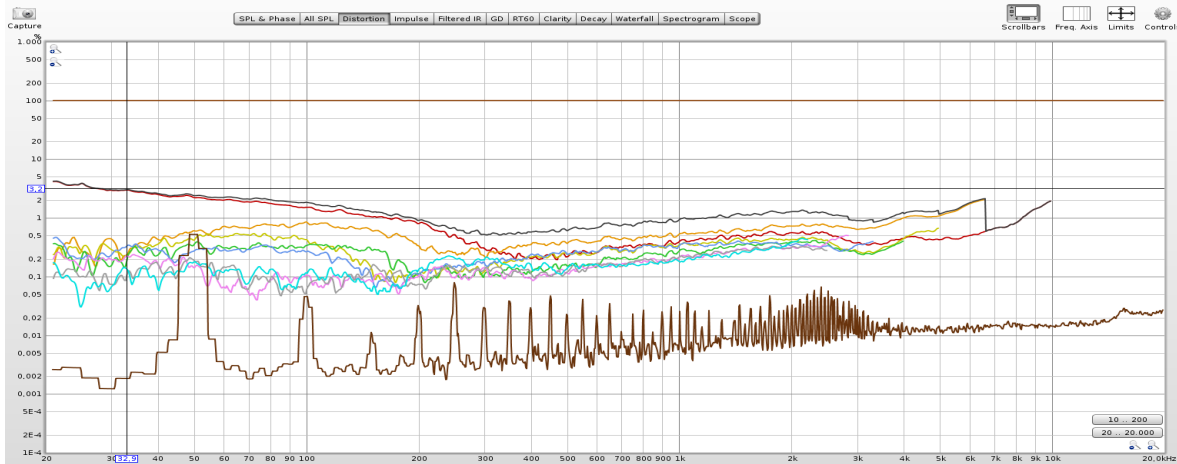
Schaltet man einen zusätzlichen Tiefpass zwischen Verstärker und Last, so verschwinden diese Verzerrungen zumindest im Hörbereich und entsprechend mehr Leistung kann übertragen werden. Ein Tiefpass beeinflusst auch positiv den Frequenzgang und verringert die abgegebene HF-Leistung bei 330 kHz um 18 dB ($10 \cdot \log_{10}(320/5)$) und damit auch die HF-Störstrahlung (Anschlussleitungen zu den Lautsprechern wirken als Antennen!) wesentlich. Die Temperaturerhöhung an der Induktivität des Tiefpasses (+ 6 K) passt auch hervorragend zu den gemessenen 315 mW, die der Tiefpass „vernichtet“.

An einem angeschlossenen Lautsprecher ist ohne Signal am Verstärkereingang nur ein geringes Rauschen (Ohrabstand ca. 10 cm) zu hören. Zuerst dachte ich, es gäbe ein Kontaktproblem... Das bestätigt den bisher nur errechneten 76 dB umfassenden Dynamikumfang – für eine Aktivbox ein hervorragender Wert. Auch das Thema Einschaltknacken ist unproblematisch: Sind Eingangsmasse des Verstärkers und Masse am Powerblock komplett getrennt, so ist überhaupt nichts beim Einschalten zu hören. Sind beide verbunden, also so, wie sie später im Gerät verkabelt werden, so ist ein geringfügiges „flatschen“ parallel zur Aufladung der vielen Kondensatoren zu hören. Somit benötigt man keine zusätzliche Schaltung zur Unterdrückung des Einschaltknackens.

Die FFT-Analyse zeigt ein etwas präziseres Bild der Nichtlinearitäten des Verstärkers: Bereits ab ca. $U_{a,eff} = 8 \text{ V}$ (8 W) sind Oberwellen des eingespeisten Signals sichtbar. Im nachstehenden Screenshot gemessen bei 5 kHz und etwa $U_{a,eff} = 17 \text{ V}$ ($U_B=35\text{V}$):



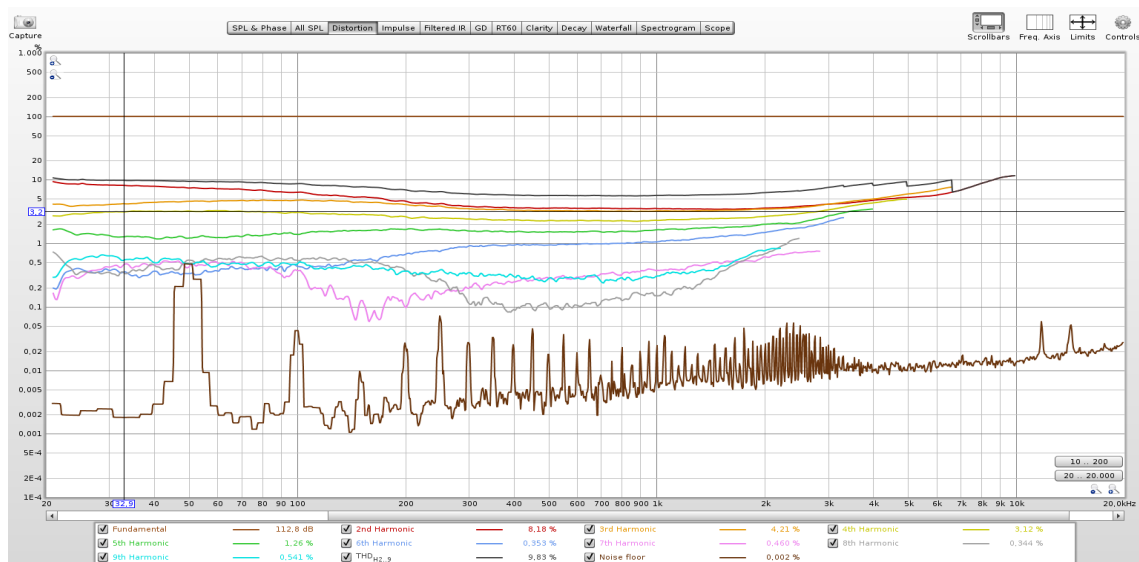
Der messbare Klirrfaktor überschreitet 3 % aber erst bei $U_{a,eff} > 22,5 \text{ V}$, bzw. 65 W ($U_B=39\text{V}$):



Mit REW+optischem Trennverstärker gemessene Verzerrungen am TDA7498 $U_{a_{eff}}=22,5V$ ($U_B=39V$)
 Klirrfaktor im Bereich 150 Hz ... 6 kHz < 1,5% (65 W RMS)

Unterhalb von $U_{a_{eff}} < 20 V$ (50 W) sind die Verzerrungen vernachlässigbar klein.

Für ein Chassis, dessen obere Wiedergabe-Frequenz AM AUSGANG des TDA7498 mittels eines Tiefpasses auf 25 kHz begrenzt wurde, können $P=24,0^2/7,8 = 74 W$ bei 5 % und $P=25,1^2/7,8 = 80,7 W$ bei 10 % Gesamt-Klirrfaktor entnommen werden:



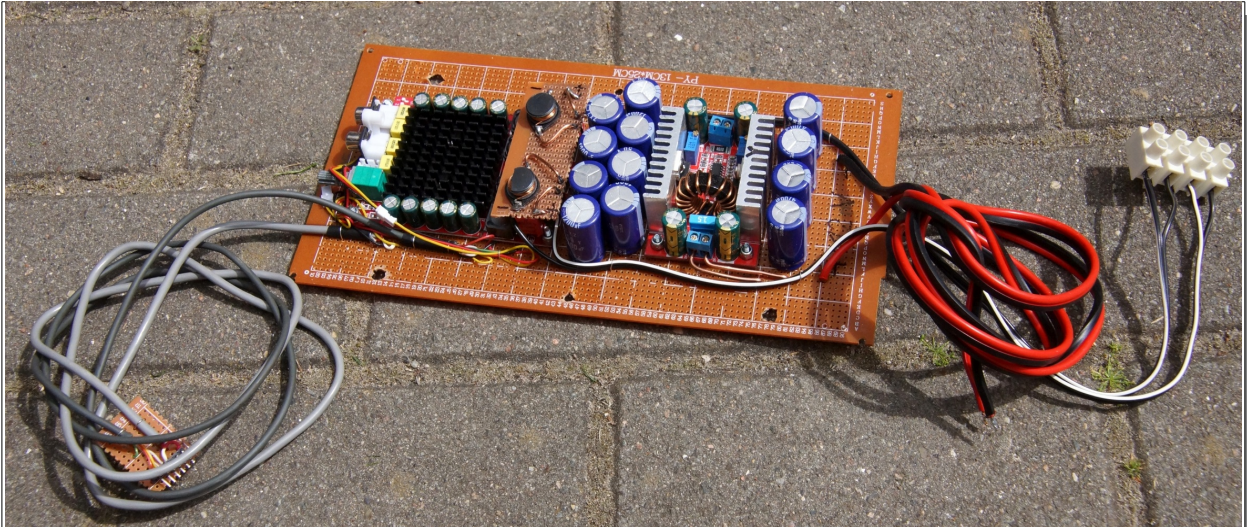
Mit REW+optischem Trennverstärker gemessene Verzerrungen am TDA7498 $U_{a_{eff}}=25,1V$ ($U_B=39V$)
 Klirrfaktor im Bereich 150 Hz ... 6 kHz < 10% (80 W RMS)

Fazit: Für dieses Projekt (4 Kanäle, davon ein Subwoofer mit $P > 70W$, geforderte Gesamtleistung > 100W) ist ein Doppelpack von TDA7498 geradeso geeignet. Der zweite Kanal an dem Verstärker mit der größten Leistung (Tieftöner), sollte eine wesentlich geringere Last antreiben, z. B. den Surround-Kanal. Wärmeentwicklung und Versorgungsspannung begrenzen aber die Möglichkeiten des Moduls. Für andere Projekte mit weniger Kanälen und/oder höherer geforderter Ausgangsleistung ist als Basis ein TPA3116D2, TDA7294 o. a. mit Übergang zu 4 Ohm oder bipolarer Versorgungsspannung wohl in Hinblick auf die maximale Ausgangsleistung zielführender. Der eingesetzte Step-Up-Wandler mit zusätzlichen Kondensatoren kann bei 35V problemlos 136 W bereitstellen. Die notwendige Kondensatorkapazität zur Verhinderung von Spannungseinbrüchen am Verstärker ist aber nicht zu unterschätzen.

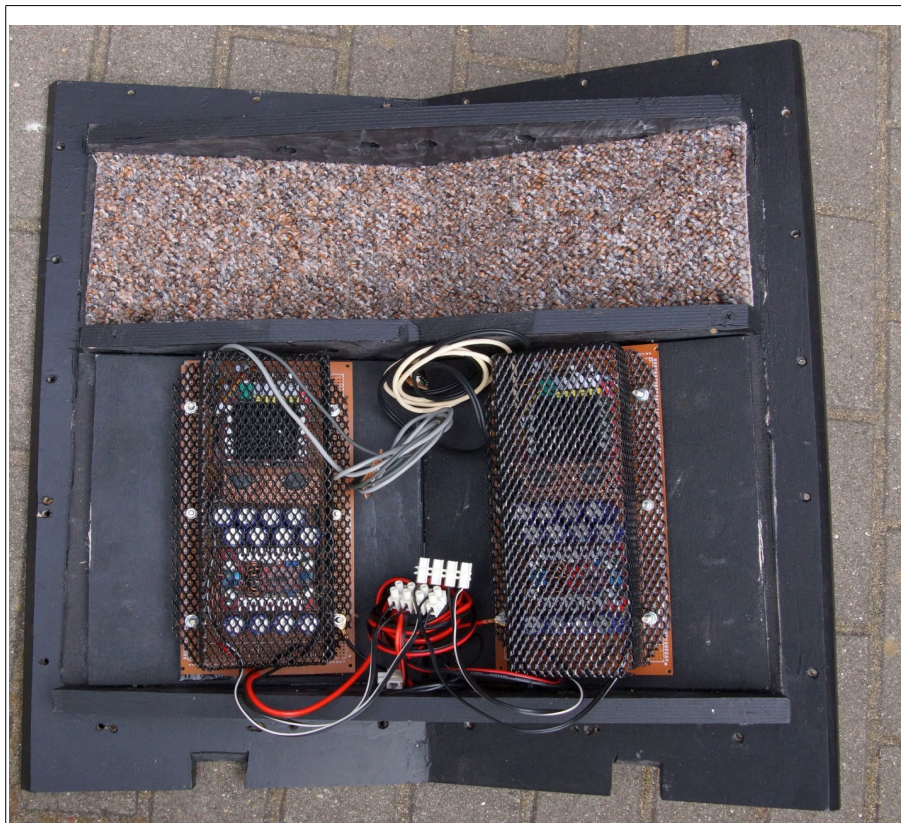
Eine Erhöhung der Versorgungsspannung auf 39V, ein Tiefpass an jedem Ausgang und die Nutzung der differentiellen Eingänge verbessern die erzielbaren Parameter deutlich.

Verstärker und Step-Up-Wandler als fertige Baugruppe

Gemäß den vorangegangenen ausgeführten Test und Messungen wurden 2 Verstärkermodule aufgebaut:



Ein Verstärkerblock mit TDA7498, Step-Up-Wandler und Kondensatoren (noch ohne Abschirmung)

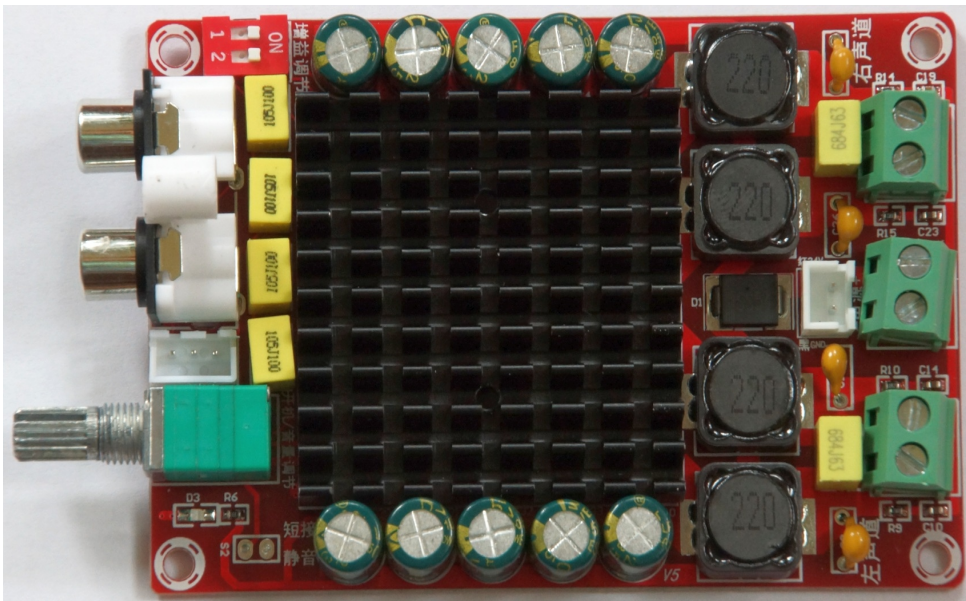


Integration beider Verstärkerblöcke in die Rückwand (mit Abschirmung)

Thermische Betrachtungen

Die beiden Verstärkerblöcke haben trotz D-Verstärker Konzept eine große Wärmeentwicklung. Bei einer maximal möglichen Last (2x140W) wandeln die beiden Verstärker jeweils etwa 15 W (11%) in Wärme um. Hinzu kommt der vergleichsweise geringe Wandlerverlust der Step-Up-Wandler. Insgesamt müssen so bis zu 30 W Wärme aus dem Gehäuse abgeführt werden.

5.6. Technische Daten Board TDA7498 (nachgemessen)



1. Verstärkung

Jumper 1	Jumper 2	Verstärkung
off	off	+25,9 dB
on	off	+31,8 dB
on	on	+37,9 dB
off	on	+35,3 dB

Die ermittelten Verstärkungen decken sich natürlich mit dem Datenblatt von STMicroelectronics [5], die Angaben des chinesischen Lieferanten waren falsch.

Für die 6 dB – Umschaltung wird JP1 genutzt (JP2 ist dabei off), JP1=off/ on → 25,9 / 31,8 dB (Delta=5,9 dB)

2. Ruhestromaufnahme

Ohne Eingangssignal, bzw. ohne Last muss auch ein D-Verstärker bereits thermische Leistung am Kühlblech bzw. an den 4 Spulen am Ausgang abgeben:

Versorgungsspannung U [V]	12	20	25	30	35
Ruhestromaufnahme I ₀ [mA]	43	46	56	65	78
Thermische Leistung P = U * I ₀ [W]	0,52	0,92	1,4	1,95	2,73
Max. Ausgangsleistung an 8 Ohm [W] lt. Datenblatt	14	33	50	65	82

3. Besonderheiten

Neben Jumper 1&2 kann man einen Mute-Schalter per S2 anschließen.

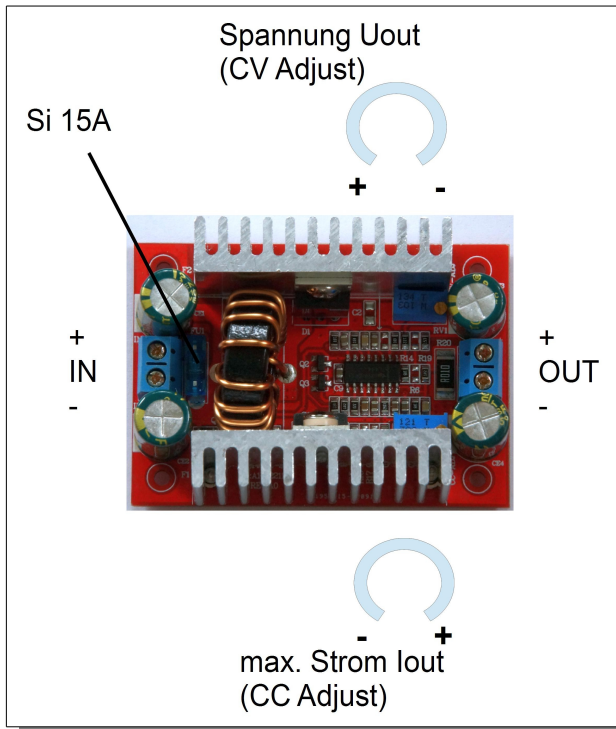
C20, C26 müssen lt. [5] bei 8 Ohm-Last eigentlich mit 470nF bestückt werden, aber selbst die für 6 Ohm angegebenen 680nF funktionieren bei 8 Ohm ebenso problemlos. Allerdings sind an den beiden Ausgängen noch hohe Anteile der Schaltfrequenz (ca. 330 kHz) nachweisbar. Ein zusätzlicher Tiefpass am Ausgang (z. B. 47µH/330nF) filtert sie heraus.

5.7. Technische Daten Step-Up-Wandler & Einstellung

Step-Up-Wandler „400W 15A DC-DC Power Converter Boost Module Step-up“

$U_e = 8,5-50V$; $U_a = 10-60V$; $I_{e_{max}} = 15A$ (Eingangssicherung); $I_{a_{max}} = 12A$ (lt. Datenblatt)

U_a und $I_{a_{max}}$ sind einstellbar: Für das Projekt werden 35V am Ausgang benötigt, während am Eingang 9–14 V



bereitstehen. Somit ergibt sich eine maximale Leistung, wo die 15 A Eingangssicherung noch nicht auslöst:

$P_{max} = 9V * 15A = 135W$, bzw. 3,86 A bei 35 V. Das bedeutet, erstens jeder TDA7498 benötigt auch seinen eigenen Wandler und zweitens die maximale Leistung für den Verstärker ist auf ca. 135W (Dauerleistung) begrenzt.

Im Wandler sind leider die beiden Klemmen -IN und -OUT nicht direkt miteinander verbunden. Dazwischen befindet sich ein 10 mOhm Widerstand für die Strommessung. In der Praxis ist erhöht sich dann das Potenzial bei Nennleistung (135W) an -OUT um 40 mV inklusive Störsignalen. Somit ist eine Ansteuerung der TDA7498 UND gleichzeitigem Leistungsbezug durch den Step-Up-Wandler mit gemeinsamer Masse ausgeschlossen. Es gibt aber eine Lösung – über die differentiellen Eingänge am Verstärker.

Bei Impulslasten am Ausgang des Step-Up-Wandlers muss mit Kondensatoren (low ESR) gepuffert werden, da die Regelung etwas Zeit benötigt, um die 35V wiederherzustellen.

Für einen Lastsprung von 0 → 61W und Kondensatoren vom LXX-Typ ergaben sich folgende Werte:

Kondensator am Ausgang [mF]	0	3,9 mF	7,8 mF	11,7 mF
Spannungseinbruch [V]	-17V	-7V	-4V	-2,5V
Zeitdauer $U < 32V$	30 ms	26 ms	12 ms	0 ms

Zur Pufferung eines 60W Lastsprungs sollten am Ausgang also Kondensatoren > 8 mF eingesetzt werden. Müssen die gesamten möglichen 135W gepuffert werden, so ist die zwei- dreifache Kapazität nötig (z. B. 2x BSN22.000/40 REICHELT).

Ruhestromaufnahme des Moduls ($U_e = 10V$, $U_a = 35V$): ca. 27 mA (ca. ¼ W)

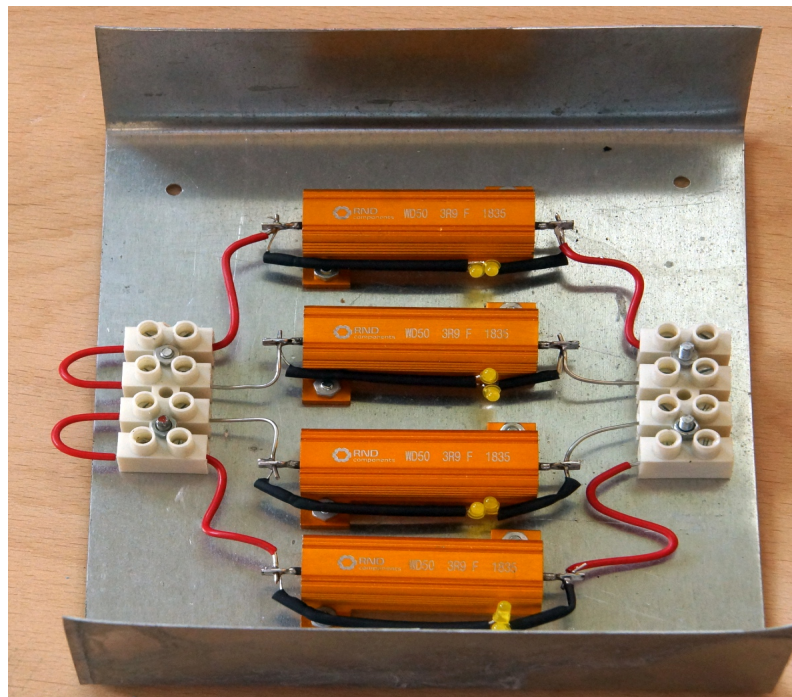
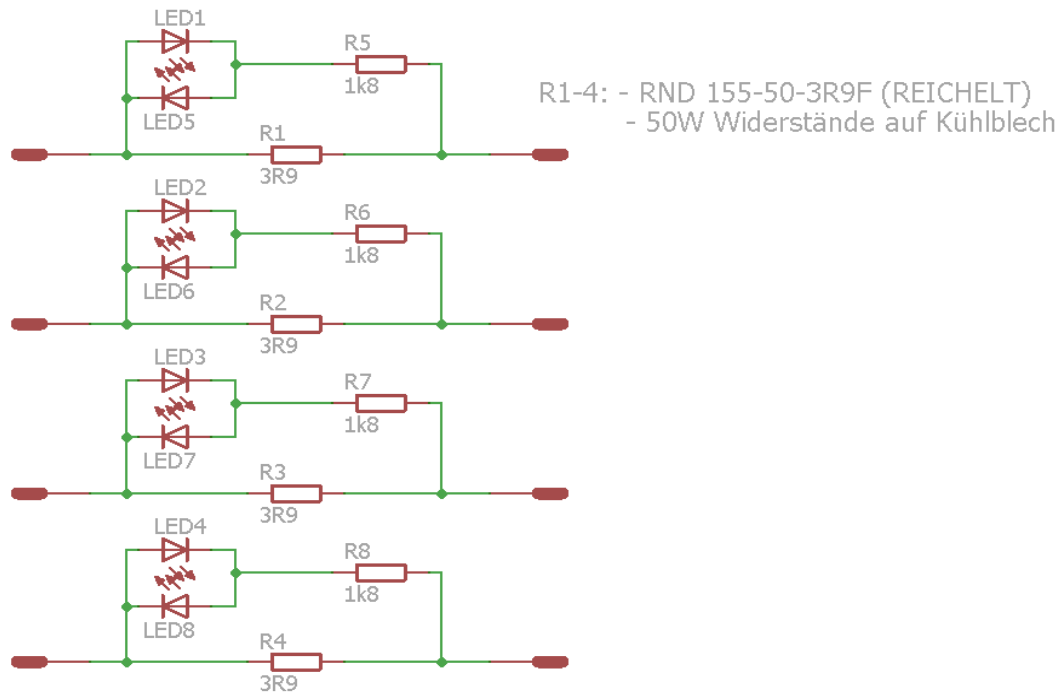
Achtung beim Einbau: Die beiden Kühlbleche sind jeweils mit -OUT bzw. +OUT verbunden, Kurzschlussgefahr!

Einstellung des Moduls

Es muss der maximale Ausgangsstrom eingestellt werden, damit später bei den vielen Kondensatoren nicht die 15A-Sicherung auslöst (Das passiert sonst tatsächlich!!!). Grob einstellen lässt sich das mithilfe eines 12 V Akkus und einer H4-KFz Lampe, bei der beide Wicklungen in Reihe geschaltet werden → ca. 4,5 Ohm. Bei einer Eingangsspannung von etwa 12V stellt man den Wandler mittels CV-Adjust zunächst ohne Last auf eine ungefähre Ausgangsspannung von 22 V und CC-Adjust auf Linksanschlag ein. Dann die H4-Lampe am Ausgang des Wandlers anschließen. Die Ausgangsspannung sollte nun stark einbrechen. Nun kann man den maximalen Strom mittels CC-Adjust auf 4,2 A hochregeln. Die Ausgangsspannung wird dann etwa bei 19,3 V liegen. Abschließend wird die Last entfernt und die Ausgangsspannung des Moduls auf 35V eingestellt. Eine bessere Einstellung der Strombegrenzung erreicht man bei 35 V mit einem Leistungswiderstand (Lautsprecherlast) wie in Anlage 5.8. beschrieben. Dabei entsprechen die vorher grob eingestellten 4,2 A bereits einer Begrenzung auf 3,9 A bei besagten 35V. Mittels ohmscher Last von 7,8 Ohm stellt sich dabei eine Spannung von 30,4 V ein ($30,4 V = 7,8 \text{ Ohm} * 3,9 A$). Letztlich kann der Wandler dann bei 35 V 3,9 A bzw. 136,5 W liefern.

5.8. Ohmsche Last als Chassis-Imitation

Für Entwicklung und Test von Lautsprecherboxen/Verstärkern lohnt sich ein Hilfsmodul, mit dem man anstelle von Lautsprecher-Chassis ohmsche Widerstände einsetzen kann. Das Fehlen der induktiven Komponente ist für Leistungsmessungen nicht so wichtig. Die Ersatz-Widerstände müssen in erster Linie die geforderte Leistung thermisch umsetzen können. Sinnvoll sind vier 4-Ohm Widerstände, die per Lüsterklemmen-leiste je nach Anwendung zusammengeschaltet werden. Damit man die anliegende Spannung auch optisch sehen kann, sind LEDs parallelgeschaltet. Hier ein Eigenbau für 200W Nennleistung (kurzzeitig bis zu 600W):



6. Literaturquellen

- [1] <http://www.hifi-forum.de/viewthread-71-11890.html>, aufgerufen am 25.3.2020
- [2] <http://www.linkwitzlab.com/filters.htm#2>, aufgerufen am 25.3.2020
- [3] www.picosound.de/D_gehmat.htm aufgerufen am 27.3.2020
- [4] <http://www.hifi-forum.de/viewthread-331-458.html> aufgerufen am 27.3.2020
- [5] Doku TDA7498 von STMicroelectronics (9.9.2015) DocID16107 Rev 9
- [6] <http://www.freedsp.cc/> aufgerufen am 11.4.2020
- [7] <http://www.hifi-forum.de/viewthread-71-12581-8.html> aufgerufen am 12.4.2020
- [8] <https://www.elektronik-labor.de/HF/Lautsprecher/LS0.html>
- [9] <http://www.artalabs.hr/>