Endstufe

# Konzept und Funktion

Um die Komplexität des Systems zu reduzieren haben ich mich auf folgende Konzepte reduziert:

* 2x analoge Eingänge mit 3,5mm Klinke
* SPIDF 2x optische und 2x Coax Eingänge
* Stereo Ausgang 2x50 Watt
* Subwoofer Ausgang 1x100 Watt
* Externes Netzteil für Stromversorgung 24V

Als Mixer der ganzen Eingänge wird ein PCM9211 verwendet. Die analogen Eingänge werden mithilfe des PCM1865 zusammengeführt und über I²S zum PCM9211 geleitet. Die optischen Signale werden direkt an den PCM9211 angeschlossen

Nach dem PCM9211 sitzen zwei PCM5122, einer davon zuständig für das Crossover. Nach diesen folgen TPA3116D2 zum Verstärken des Signals, wo dann die Lautsprecher angeschlossen werden.

# Inhalt

[Konzept und Funktion 1](#_Toc153980617)

[Inhalt 1](#_Toc153980618)

[Eingang 2](#_Toc153980619)

[Analoge Eingänge mit PCM1865 2](#_Toc153980620)

[S/PDIF Eingänge und Mixing mit PCM9211 4](#_Toc153980621)

[Ausgang 6](#_Toc153980622)

[Digitales Crossover und DAC mit PCM5122 6](#_Toc153980623)

[Verstärker IC TPA3116D2 7](#_Toc153980624)

[Steuerung mit RP2040 8](#_Toc153980625)

[Pinbelegung 8](#_Toc153980626)

[Spannungsversorgung 9](#_Toc153980627)

[3V3 ICs Stromverbrauch 9](#_Toc153980628)

[3V3 Spannung mit LM1085 9](#_Toc153980629)

[Bauteile 10](#_Toc153980630)

# Eingang

## Analoge Eingänge mit PCM1865

Website des ICs: <https://www.ti.com/product/de-de/PCM1865>

JLCPCB#C181312

IC im Master Mode, d.h. er gibt LRCK und BCK aus. Clock Quelle ist SCKI (Falls das später nicht funktioniert ist der Crystal auch noch da)

### I²C Interface

Um dies zu konfigurieren ist folgendes nötig:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Pin | Nr. | Konfiguration |
| MD0 | 26 | Verbindung zu GND => I²C Modus |
| MD1 / AD | 25 | Verbindung zu GND => [I²C Adresse: 0x94](https://www.ti.com/lit/ds/symlink/pcm1865.pdf?ts=1700984204389&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FPCM1865%253Futm_source%253Dgoogle%2526utm_medium%253Dcpc%2526utm_campaign%253Dasc-null-null-GPN_EN-cpc-pf-google-eu%2526utm_content%253DPCM1865%2526ds_k%253DPCM1865%2526DCM%253Dyes%2526gad_source%253D1%2526gclid%253DEAIaIQobChMIvf6C9pPhggMV4Z2DBx12GQ0vEAAYASAAEgK1GvD_BwE%2526gclsrc%253Daw.ds#%5B%7B%22num%22%3A143%2C%22gen%22%3A0%7D%2C%7B%22name%22%3A%22XYZ%22%7D%2C0%2C548.4%2C0%5D) |
| SCL | 24 | I²C Clock |
| SDA | 23 | I²C Data |

Es wird die I²C Spezifikation 2.0 verwendet.

### I²S Ausgang zu PCM9211

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Pin | Nr. | Konfiguration |
| DOUT | 18 | Verbindung zu PCM9211 |
| BCK | 17 | Verbindung zu PCM9211 |
| LRCK | 16 | Verbindung zu PCM9211 |
| SCKI | 15 | Verbindung zu PCM9211 |

### Spannungsversorgung

Es wird eine einzige 3V3 Versorgung benützt. Die Pins sind wie folgt anzuschließen:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Pin | Nr. | Konfiguration |
| AVDD | 8 | Verbindung zu 3V3, 0.1µF und 10µF Kondensatoren zu AGND |
| DVDD | 13 | Verbindung zu 3V3, 0.1µF und 10µF Kondensatoren zu DGND |
| IOVDD | 14 | Verbindung zu 3V3 |
| LDO | 11 | 2.2µF Kondensator in Serie zu GND |
| VREF | 6 | 2.2µF Kondensator in Serie zu GND |
| DGND | 12 | Verbindung zu GND |
| AGND | 7 | Verbindung zu GND |

Siehe [„12. Layout“ im Datenblatt](https://www.ti.com/lit/ds/symlink/pcm1865.pdf?ts=1700984204389&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FPCM1865%253Futm_source%253Dgoogle%2526utm_medium%253Dcpc%2526utm_campaign%253Dasc-null-null-GPN_EN-cpc-pf-google-eu%2526utm_content%253DPCM1865%2526ds_k%253DPCM1865%2526DCM%253Dyes%2526gad_source%253D1%2526gclid%253DEAIaIQobChMIvf6C9pPhggMV4Z2DBx12GQ0vEAAYASAAEgK1GvD_BwE%2526gclsrc%253Daw.ds#%5B%7B%22num%22%3A164%2C%22gen%22%3A0%7D%2C%7B%22name%22%3A%22XYZ%22%7D%2C0%2C720%2C0%5D) für Information über Routing von Analog/Digital Signale.

### Clock

SCKI wird an SCKO vom PCM9211 angeschlossen. Somit werden SCKI vom PCM1865, SCKO und ASCKI0 vom PCM9211 und SCK verbunden.

Zur Vorsicht wird trotzdem ein Crystal verbaut. 24.576Mhz JLCPCB#C2901683 -> 30pF Kondensatoren

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Pin | Nr. | Konfiguration |
| XO | 9 | Crystal Oscillator Output |
| XI | 10 | Crystal Oscillator Input |

### Analog Input

Single-Ended weil Klinke genutzt wird. Mit Anti Aliasing Filter, weil warum nicht. Der 0.01µF sollte ein „film-type“ Kondensator sein. Er sollte so nahe wie möglich zu den Pins platziert werden.

Ein Bild, das Text, Screenshot, Schrift, Diagramm enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Pin | Nr. | Konfiguration |
| VINL1 | 3 | Analog Input 1, Links |
| VINR1 | 4 | Analog Input 1, Rechts |
| VINL2 | 1 | Analog Input 2, Links |
| VINR2 | 2 | Analog Input 2, Rechts |
| VINL4 | 27 | NC |
| VINR4 | 28 | NC |
| VINL3 | 29 | NC |
| VINR3 | 30 | NC |

### Weiter Pins

GPIO-Verbindungen eventuell zu RP2040 verbinden und Breakout.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Pin | Nr. | Konfiguration |
| MICBIAS | 5 | NC |
| GPIO3/INTC | 19 | NC |
| GPIO2/INTB/DMCLK | 20 | NC |
| GPIO1/INTA/DMIN | 21 | NC |
| GPIO0/DMIN2 | 22 | NC |

## S/PDIF Eingänge und Mixing mit PCM9211

Website des ICs: <https://www.ti.com/product/PCM9211>

### S/PDIF Eingänge

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Pin | Nr. | Konfiguration |
| RXIN0 | 37 | Coax Anschluss S/PDIF 1 |
| RXIN1 | 35 | Coax Anschluss S/PDIF 2 |
| RXIN2 | 33 | Optischer Anschluss S/PDIF 1 |
| RXIN3 | 32 | Optischer Anschluss S/PDIF 2 |

Wie werden diese Signale nach außen geführt? Im Fall von den optischen Anschlüssen mithilfe von speziellen LEDs und möglicherweise weiteren Sachen. Im Fall von Coax noch nicht bekannt.

### I²C Interface

ADR0 und ADR1 sind willkürlich zu 0 gewählt, daraus ergibt sich die [I²C Adresse 0x80](https://www.ti.com/lit/ds/symlink/pcm9211.pdf?ts=1701027898967&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FPCM9211#%5B%7B%22num%22%3A300%2C%22gen%22%3A0%7D%2C%7B%22name%22%3A%22XYZ%22%7D%2Cnull%2C433.881%2Cnull%5D).

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Pin | Nr. | Konfiguration |
| MODE | 27 | Verbindung zu DGND => I²C Modus |
| ADR0 | 23 | Verbindung zu GND |
| SDA | 24 | I²C Data |
| SCL | 25 | I²C Clock |
| ADR1 | 26 | Verbindung zu GND |

### I²S Schnittstelle zu PCM1865

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Pin | Nr. | Konfiguration |
| ADIN0 | 28 | AUXIN0, DIN |
| ALRCHKI0 | 29 | AUXIN0, LRCKI |
| ABCKI0 | 30 | AUXIN0, BCKI |
| ASCKI0 | 31 | AUXIN0, SCKI, Siehe PCM1865#Clock |

### I²S Schnittstelle zu PCM1522

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Pin | Nr. | Konfiguration |
| DOUT | 17 | Main output port, serial digital audio data output |
| LRCK | 18 | Main output port, LR clock output |
| BCK | 19 | Main output port, bit clock output |
| SCKO | 20 | Main output port, system clock output, Clock Signal für PCM1865 und PCM5122 |

### Spannungsversorgung

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Pin | Nr. | Konfiguration |
| DGND | 21 | Verbindung zu GND |
| DVDD | 22 | Verbindung zu 3V3 |
| VDDRX | 36 | Verbindung zu 3V3 für RXIN0/1 |
| GNDRX | 38 | Verbindung zu GND für RXIN |
| AGND | 41 | Verbindung zu GND |
| VCC | 42 | Verbindung zu 3V3 |
| VCOM | 44 | Entkoppeln mit 10µF und 0.1µF Kondensator |
| AGNDAD | 45 | Verbindung zu GND |
| VCCAD | 46 | Verbindung zu AGND ODER AGNDAD |

Die Supply-Pins sollten mithilfe von 10µF und 0.1µF Kondensatoren verbunden zum jeweiligen GND entkoppelt werden.

### Clock

Crystal sollte 24.576Mhz sein. Dies ist ein vielfaches von 8, 32, 48, 96, 192 und 384kHz. JLCPCB#C2901683 -> 30pF Kondensatoren

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Pin | Nr. | Konfiguration |
| XTI | 39 | Verbindung zu einem Crystal |
| XTO | 40 | Verbindung zu einem Crystal |

### Weitere Pins

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Pin | Nr. | Konfiguration |
| ERROR/INT0 | 1 | Verbindung zu RP2040; Breakout; Nutzung für Erkennung von Signal |
| NPCM/INT1 | 2 | NC oder Verbindung zu RP2040; Breakout |
| MPIO\_A0 | 3 | Breakout |
| MPIO\_A1 | 4 | Breakout |
| MPIO\_A2 | 5 | Breakout |
| MPIO\_A3 | 6 | Breakout |
| MPIO\_C0 | 7 | Breakout |
| MPIO\_C1 | 8 | Breakout |
| MPIO\_C2 | 9 | Breakout |
| MPIO\_C3 | 10 | Breakout |
| MPIO\_B0 | 11 | Breakout |
| MPIO\_B1 | 12 | Breakout |
| MPIO\_B2 | 13 | Breakout |
| MPIO\_B3 | 14 | Breakout |
| MPO0 | 15 | Breakout |
| MPO1 | 16 | Breakout |
| RST | 34 | Reset input, active low mit internem Pull Down von 50k (-> Standardmäßig aus). Verbindung zum RP2040 + Breakout |
| FILT | 43 | Siehe [Datenblatt 7.3.8.6.3](https://www.ti.com/lit/ds/symlink/pcm9211.pdf?ts=1701258730670&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FPCM9211#%5B%7B%22num%22%3A751%2C%22gen%22%3A0%7D%2C%7B%22name%22%3A%22XYZ%22%7D%2Cnull%2C717%2Cnull%5D) |
| VINL | 47 | NC |
| VINR | 48 | NC |

# Ausgang

## Digitales Crossover und DAC mit PCM5122

Website des ICs: <https://www.ti.com/product/PCM5122>

Programmierreferenz: <https://www.ti.com/lit/ds/slase12a/slase12a.pdf?ts=1701348480293>

### I²C Verbindung

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Pin | Nr. | Konfiguration |
| SDA | 11 | I²C Data |
| SCL | 12 | I²C Clock (input) |
| ADR2 | 16 | Verbindung zu GND |
| MODE1 | 17 | Verbindung zu GND (Low) |
| MODE2 | 18 | Verbindung zu 3V3 (High) |
| ADR1 | 24 | Hochpass IC: Verbindung zu GND; Tiefpass IC: Verbindung zu 3V3 |

I²C Adressen: 0x98 (Hochpass IC); 0x9A (Tiefpass IC)

### I²S Verbindung von PCM9211

Die Clock für das System sollte vom SCK Eingang automatisch generiert werden. Siehe [Datenblatt 8.3.6.2](https://www.ti.com/lit/ds/symlink/pcm5122.pdf?ts=1701272694856&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FPCM5122#%5B%7B%22num%22%3A1083%2C%22gen%22%3A0%7D%2C%7B%22name%22%3A%22XYZ%22%7D%2C0%2C575.3%2C0%5D)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Pin | Nr. | Konfiguration |
| SCK | 20 | System Clock Input |
| BCK | 21 | Audio data bit clock input (slave) |
| DIN | 22 | Audio data input |
| LRCK | 23 | Audio data bit clock input (slave) |

### DAC-Ausgang

Mit Low-Pass-Filter. Siehe [Datenblatt 8.3.5.2](https://www.ti.com/lit/ds/symlink/pcm5122.pdf?ts=1701272694856&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FPCM5122#%5B%7B%22num%22%3A166%2C%22gen%22%3A0%7D%2C%7B%22name%22%3A%22XYZ%22%7D%2C0%2C587.4%2C0%5D)

Ein Bild, das Diagramm, Text, Reihe, Screenshot enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Pin | Nr. | Konfiguration |
| OUTL | 6 | Linker Kanal Ausgang zu Verstärker |
| OUTR | 7 | Rechter Kanal Ausgang zu Verstärker |

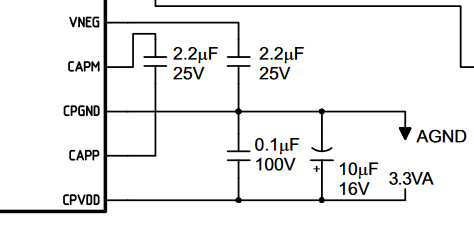
### Spannungsversorgung

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Pin | Nr. | Konfiguration |
| CPVDD | 1 | Siehe unten |
| CAPP | 2 | Siehe unten |
| CPGND | 3 | Siehe unten |
| CAPM | 4 | Siehe unten |
| VNEG | 5 | Siehe unten |
| AVDD | 8 | Verbindung zu 3V3, sollte nie unter 3V2 gehen |
| AGND | 9 | Verbindung zu GND |
| VCOM | 10 | Verbindung zu GND (VREF Mode) |
| LDOO | 26 | Interne Spannung; Entkoppeln |
| DGND | 27 | Verbindung zu GND |
| DVDD | 28 | Verbindung zu 3V3; Entkoppeln |

Die Supply-Pins sollten mithilfe von 10µF und 0.1µF Kondensatoren verbunden zum jeweiligen GND entkoppelt werden.

#### Charge-Pump Schaltung

Es wird in meinem Design ein 50V statt einem 100V 0.1uF Kondensator verwendet.



### Weitere Pins

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Pin | Nr. | Konfiguration |
| GPIO5 | 13 | Eventuell Breakout |
| GPIO4 | 14 | Eventuell Breakout |
| GPIO3 | 15 | Eventuell Breakout |
| GPIO6 | 19 | SDOUT (muss konfiguriert werden) |
| XSMT | 25 | Verbindung zu RP2040 + Breakout |

## Verstärker IC TPA3116D2

Website des ICs: <https://www.ti.com/product/TPA3116D2>

Kühlkörper des EVM: <https://www.qats.com/Search/HeatSink/3464.aspx>

Schaltung wie in „Typical Application“ im Datenblatt 8.2. Ein paar Sachen sind anders:

Die Eingänge sind Single-Ended. 1µF am positiven Eingang und negativen Eingang. Der positive Eingang nach dem Kondensator wird mit der Quelle (PCM5122) verbunden. Der negative Eingang nach dem Kondensator sollte so Nahe wie möglich an der Audioquelle mit GND verbunden sein (nicht direkt am TPA3116D2). Leitung sollten gleich lang sein, weil differenziell.

Für Powerlimit ein Poti zwischen GVDD, PLIMIT, GND. Unbedingt ein Messpunkt für den PLIMIT Eingang. Maximale Ausgangsspannung ist circa 4x die Spannung an PLIMIT.

Gain sollte 20dB sein, um ~2VRMS vom PCM5122 auf über 17.9VRMS setzten zu können. Dies ist beim Beispiel im Datenblatt bereits so eingestellt.

### SDZ und FAULTZ

SDZ kann man verwenden, um bei High die Lautsprecher Ausgänge einzuschalten, und bei Low die Ausgänge auf High Z zu stellen.

Faultz ist ein Ausgang. Wenn High ist der Zustand normal, wenn Low ist irgendetwas falsch.

# Steuerung mit RP2040

Datenblatt: <https://datasheets.raspberrypi.com/rp2040/rp2040-datasheet.pdf>

## Pinbelegung

### GPIOS

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| RP2040 Pin Name | Nr. | Verbunden mit Pin | Verwendung |
| GPIO0 |  | I2C0 SDA |  |
| GPIO1 |  | I2C0 SCL |  |
| GPIO2 |  | PCM9211 RST | Reset |
| GPIO3 |  | PCM9211 INT0 | Interrupt von PCM9211 |
| GPIO4 |  | PCM5122A XSMT | Soft Mute Satelliten |
| GPIO5 |  | PCM5122B XSMT | Soft Mute Subwoofer |
| GPIO6 |  | TPA3116D2 SDZA | Satelliten Ein/Aus |
| GPIO7 |  | TPA3116D2 FAULTZA | Fehler Ja/Nein |
| GPIO8 |  | TPA3116D2 SDZB | Subwoofer Ein/Aus |
| GPIO9 |  | TPA3116D2 FAULTZB | Fehler Ja/Nein |

### Spannungsversorgung

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Pin | Nr. | Konfiguration |
| IOVDD | 1 | Verbindung zu 3V3 |
| IOVDD | 10 | Verbindung zu 3V3 |
| IOVDD | 22 | Verbindung zu 3V3 |
| DVDD | 23 | Verbindung zu +1V1 von VREG\_VOUT. Entkoppeln. Interne Spannung. |
| IOVDD | 33 | Verbindung zu 3V3 |
| IOVDD | 42 | Verbindung zu 3V3 |
| ADC\_AVDD | 43 | Verbindung zu 3V3 |
| VREG\_VIN | 44 | Verbindung zu 3V3 |
| VREG\_VOUT | 45 | Verbindung zu den DVDD-Pins. Ausgang der internen +1V1 Spannung. |
| USB\_VDD | 48 | Verbindung zu 3V3 |
| IOVDD | 49 | Verbindung zu 3V3 |
| DVDD | 50 | Verbindung zu +1V1 von VREG\_VOUT. Entkoppeln. Interne Spannung. |

### Flash

Es wird der W25Q128JVS (JLCPCB#C97521) Flash verwendet. Versorgung vom Flash entkoppeln.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Pin | Nr. | Flash Anschluss / Info |
| QSPI\_SD3 | 51 | IO3 |
| QSPI\_SCLK | 52 | CLK |
| QSPI\_SD0 | 53 | DI(IO0) |
| QSPI\_SD2 | 54 | IO2 |
| QSPI\_SD1 | 55 | DO(IO1) |
| QSPI\_SS\_N | 56 | CS / 10k Pull Up, 1k zu Taster (Taster Verbindung zu GND; Für USB Boot) |

### Weitere Pins

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Pin | Nr. | Konfiguration |
| TESTEN | 19 | Verbindung zu GND |
| XIN | 20 | Crystal 12MHz (JLCPCB#C9002) mit 30pF |
| XOUT | 21 | Crystal, siehe XIN; 1k Widerstand zum Crystal |
| SWCLK | 24 | Debug Header Breakout |
| SWDIO | 25 | Debug Header Breakout |
| RUN | 26 | 10k Pull up, eventuell Knopf, Breakout |
| USB\_DM | 46 | USB Data + |
| USB\_DP | 47 | USB Data - |

# Spannungsversorgung

Das System wird von außen mit +24V und GND versorgt. Intern wird eine 3V3 Versorgung für fast alle ICs benötigt.

## 3V3 ICs Stromverbrauch

In der nachfolgenden Tabelle ist der Stromverbrauch von allen ICs aufgelistet, die an die 3V3 Versorgung angeschlossen sind.

|  |  |
| --- | --- |
| Bauteil / IC | Typischer Stromverbrauch [mA] |
| PCM1865 (4-channel) | 41,01mA |
| PCM9211 | 48,2mA |
| PCM5122 | 39mA |
| RP2040 (Max, Angen.) | 100mA |

## 3V3 Spannung mit TPS62933

Es wird der mit der TPS62933 verwendet (JLCPCB#C3200405). Die Schaltung wurde mit TI Webench erstellt. Rfbt sollte besser 31,3kOhm haben, da es für den PCM5122 besser ist eine höhere als niedrigere Spannung wie 3,3V zu haben (AVDD sollte nicht unter 3,2V fallen). Die anderen ICs stört das nicht, da sonst alle eine Toleranz im paar 100mV Bereich haben.

Ein Bild, das Diagramm, Reihe, Plan, technische Zeichnung enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

Für weitere Details siehe Dokument „WBDesign 24V to 3V3.pdf“.

# Bauteile

10uH 6A-7,5A Spule für Filter: JLCPCB#C2847553  
10nF 50V X7R MLCC Kondensator: JLCPCB#C60133 (für EMI Filter oder Entkoppeln)  
1nF 50V X7R MLCC Kondensator: JLCPCB#C77018 (für EMI Filter oder Entkoppeln)  
100nF 50V X7R MLCC Kondensator: JLCPCB#C476766 (für Entkoppeln)  
680nF 50V X7R MLCC Kondensator: JLCPCB#C1881  
220nF 50V X7R MLCC Kondensator: JLCPCB#C5378 oder C2167607 5% Toleranz  
2200uF 50V 28mOhm Kondensator: JLCPCB#C443034 (für Spannungsversorgung)  
3.3R 750mW Widerstand: JLCPCB#C159240  
1uF 50V X7R MLCC Kondensator: JLCPCB#C28323

Erkenntnis: 10uF 0402 ist am besten. 10uF ist überdimensioniert. Es wird kein weiterer Kondensator zum Entkoppeln benötigt. 100nF für hohe Frequenzen ist ein überbleibsel aus der Zeit von THT Komponenten, 0402 10uF ist von der Induktivität gleich gut wie 0402 1nF.

# Version 1

## Probleme

MUTE und SDZ von TPA3116D2 dürfen nicht verbunden sein. Mute ist active-high und SDZ active-low -> bei logisch 0 oder 1 ist der Ausgang leiste bzw. deaktiviert.

Zu überprüfen ist noch, ob die S/PDIF Eingänge von PCM9122 funktionieren. Falls ja -> weiterverwenden so.

Überlegung ist es für die Revision 2 den PCM5122 aufgrund der schwierigen Programmierbarkeit rauszuhauen, und durch den ADAU1701 von Analog Devices zu ersetzen. Dieser verspricht sehr gute DSP Fähigkeiten und 4