

# I<sup>2</sup>C-AD-DA-Board

**Zahlreiche Aufgaben in der Meß- und Datentechnik sind bereits mit relativ geringem technischen Aufwand lösbar, so auch die Wandlung von digitalen in analoge Daten und umgekehrt. Eine solche Lösung zeigt unser Artikel, der ein kompaktes Board mit einem 4-Kanal-AD-Wandler und einen 1-Kanal-DA-Wandler in einem Chip beschreibt, das am PC-PC-Interface aus dem „ELVjournal“ 4/96 arbeitet. Bis zu acht dieser Boards sind an einem I<sup>2</sup>C-Bus anschließbar.**

## Allgemeines

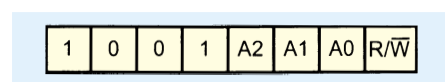
Viele elektronische Geräte basieren auf einer digitalen Steuerung, die heute oft mit einem Mikrocontroller realisiert ist. Die Verbindung zu analogen Schaltungsteilen erfolgt dabei über DA- und AD-Wandler, mit denen analoge Werte ausgegeben bzw. eingelesen werden können.

Da bei vielen Anwendungen an die Wandlergeschwindigkeit und die Auflösung keine besonderen Anforderungen gestellt werden, reichen preiswerte Wandler mit einer Auflösung von 8 Bit meist aus.

Ein Problem stellt dabei der große Platzbedarf der kompletten Wandler-schaltung auf der Leiterplatte dar. Die Schaltung benötigt oft mehrere externe und auch großvolumige Bauteile und muß über eine Viel-

zahl von Leitungen angesteuert werden. Man denke nur als einfaches Beispiel an die normale 7106-Umgebung.

Eine günstige Lösung dieses Problems stellt der hier vorgestellte Baustein PCF 8591 dar, der in einem nur 16poligen DIP-Gehäuse untergebracht ist und über einen 4-Kanal-AD-Wandler und einen 1-Kanal-DA-Wandler verfügt. Der PCF 8591 ist so konzipiert, daß er zur Funktion keine externen Bauteile und somit nur minimalen



**Bild 2: SLAVE-Adresse des PCF 8591**

Platz auf der Leiterplatte benötigt. Die Ansteuerung und das Auslesen des Wandlers vom Prozessorsystem aus erfolgt nach dem I<sup>2</sup>C-Protokoll über zwei Signalleitungen.

## PCF 8591 - intern

Die Anschlußbelegung des PCF 8591 ist dem Schaltbild (Abbildung 6) zu entnehmen. Das Blockschaltbild ist in Abbildung 1 dargestellt.

Die Verbindung zum I<sup>2</sup>C-Bus erfolgt über das I<sup>2</sup>C-Bus-Interface, wobei der Baustein durch seine SLAVE-Adresse (Abbildung 2) über den Bus eindeutig anzusprechen ist.

Die oberen 4 Bit sind fest vorgegeben; die unteren 3 Bit sind durch die Pegel der Adreßleitungen A0 bis A2 bestimmt. Somit kann man bis zu 8 unabhängige PCF 8591 an einem I<sup>2</sup>C-Bus betreiben. Das letzte Bit der SLAVE-Adresse bestimmt, ob im folgenden Daten gesendet oder ausgelesen werden sollen.

Das I<sup>2</sup>C-Interface ist mit den Registern des Wandlerbausteins verbunden, wobei über das Kontroll-Register die Konfiguration erfolgt und über die Datenregister die Ausgabe auf den DA-Wandler und das Einlesen über den AD-Wandler realisiert wird.

Ein interner Oszillator erzeugt den Takt für den AD-Wandler. Er ist aktiv, wenn der Pin „EXT“ mit Masse verbunden ist. Der Pin „OSC“ ist dann als Ausgang geschaltet, an dem die Oszillatorfrequenz anliegt.

Um den PCF 8591 mit einem externen Takt zu versorgen, muß der Pin „EXT“ mit V<sub>cc</sub> verbunden werden. Der Pin „OSC“ ist so als Eingang geschaltet und dient zum Einspeisen des externen Taktes.

Die Signale der 4 analogen Eingänge gelangen an einen Multiplexer, der jeweils einen Kanal auswählt und auf den AD-Wandler durchschaltet.

Der Wandler selbst arbeitet nach der Methode der sukzessiven Approximation. Dieses Verfahren wird in vielen AD-Wandlern eingesetzt und basiert auf Vergleich zwischen der Meßspannung und Referenzwerten.

In diesem Fall wird der Referenzwert durch den internen DA-Wandler erzeugt, über einen Komparator mit der Meßspannung verglichen und anschließend der Referenzwert in Richtung der Meßspannung ange nähert.

Dieser Vorgang wird solange wiederholt, bis der Referenzwert dem Wandlerwert entspricht.

Die Ausgabe eines Analogwertes erfolgt über den internen DA-Wandler, dessen Ausgangssignal auf ein Halteglied gelangt und über einen Puffer auf den Ausgangspins „AOUT“ geschaltet ist.

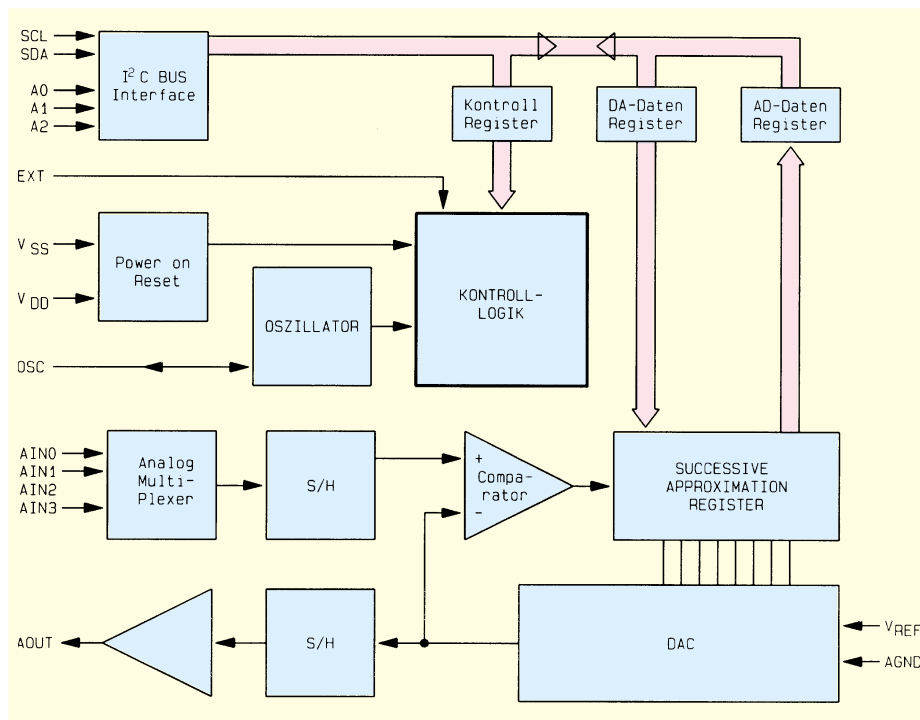


Bild 1: Blockschaltbild des PCF 8591

## PCF 8591 - die Steuerung

Die Steuerung des PCF 8591 erfolgt über das Kontroll-Register. Die Bedeutung seiner einzelnen Bits ist in Abbildung 3 dargestellt.

Die unteren 2 Bits (D0 und D1) bestimmen, welcher der 4 analogen Eingänge ausgewählt ist.

Durch Setzen des 3. Bits (D3) kann der Auto-increment-Mode aktiviert werden, bei dem nach jeder AD-Wandlung automatisch ein Umschalten auf den nächsten Analogeneingang erfolgt.

Die Bits D4 und D5 bestimmen die Funktionsweise der Eingangspins „AIN0“ bis „AIN3“, die als normale Eingänge (bezogen auf Masse) oder als Differenz-Eingänge geschaltet werden können.

Durch Setzen des Bits D6 wird der DA-Wandler aktiviert, dessen analoge Ausgangsspannung an Pin „AOUT“ anliegt.

Der PCF 8591 benötigt an Pin 14 eine Referenzspannung, die die Auflösung des DA- und AD-Wandlers festlegt.

Der Baustein bietet eine Auflösung von 8 Bit, bei der sich ein Spannungsauflösung von

$$U_{\text{step}} = U_{\text{ref}} / 256$$

ergibt.

Am Analogausgang liegt dann eine Ausgangsspannung, die nach der Formel

$$U_{\text{AOUT}} = U_{\text{step}} \times \text{Digitalwert}$$

berechnet werden kann.

Die Werte des AD-Wandlers sind abhängig davon, ob die Eingänge als normale

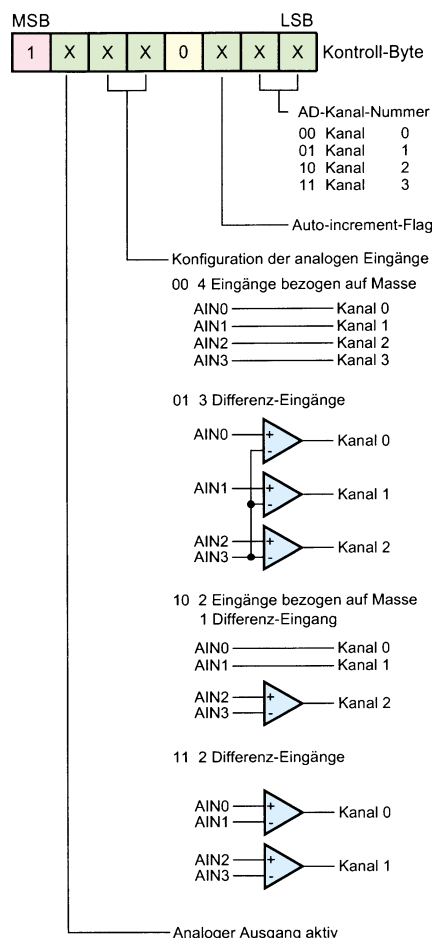


Bild 3: Bedeutung des Kontroll-Registers des PCF 8591

Eingänge oder als Differenz-Eingänge geschaltet sind.

Sind die Eingänge als normale Eingänge konfiguriert, so ergibt sich der Wandlerwert mit

$$\text{Digitalwert} = U_{\text{AIN}} / U_{\text{step}}$$

Wenn die Eingänge als Differenzeingänge konfiguriert sind, errechnet sich der Wandlerwert mit

$$\text{Digitalwert} = \frac{U_{\text{AIN+}} - U_{\text{AIN-}}}{U_{\text{step}}}$$

Daraus folgen negative Digitalwerte, die im Zweierkomplement dargestellt werden, so daß die Werte -1 bis -128 den Digitalwerten 255 bis 128 und die Werte 0 bis 127 direkt den Digitalwerten 0 bis 127 entsprechen.

## Der PCF 8591 am I2C-Bus

Das I2C-Übertragungsprotokoll zum PCF 8591 ist in Abbildung 4 dargestellt.

Die Übertragung wird vom MASTER gestartet, indem dieser eine START-Bedingung generiert und anschließend die SLAVE-Adresse sendet, die der SLAVE bestätigt.

Daraufhin sendet der MASTER das Kontroll-Byte, das ebenfalls vom SLAVE zu bestätigen ist. Will man nur das Kontroll-Byte übertragen, so kann daraufhin der MASTER eine STOPP-Bedingung generieren, um die Übertragung zu beenden.

Andernfalls können weitere Bytes folgen, die dann umgewandelt und auf dem analogen Ausgang des PCF 8591 ausgegeben werden. Das I2C-Übertragungsprotokoll für das Lesen aus dem PCF 8591 ist in Abbildung 5 dargestellt.

Auch hier leitet der MASTER die Übertragung mit einer START-Bedingung ein, woraufhin die SLAVE-Adresse folgt, die den PCF 8591 zum Lesen anspricht. Daraufhin können die Bytes vom MASTER gelesen werden, der bis auf das letzte Byte alle bestätigen muß. Auch hier beendet der MASTER durch eine STOPP-Bedingung die Übertragung.

Auf eine Besonderheit ist beim AD-Wandler zu achten. Dieser startet zu Anfang einer Leseoperation vom MASTER stets erst eine neue AD-Wandlung. Dabei wird der zuvor gewandelte Wert übertragen.

Wenn zum Beispiel der erste Analogeneingang (AIN0) und die Auto-increment-Funktion aktiviert sind und dann die erste Leseoperation erfolgt, so wird die Wandlung für den ersten Analogeneingang gestartet und der vorherige Meßwert übertragen, der in diesem Fall ungültig ist.

Bei der nächsten Leseoperation erfolgt

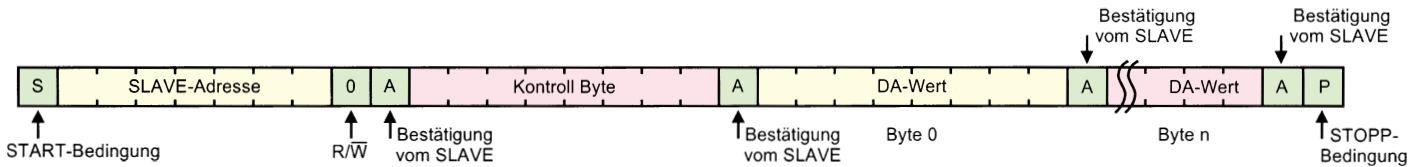


Bild 4: I<sup>2</sup>C-Protokoll zum Schreiben in den PCF 8591

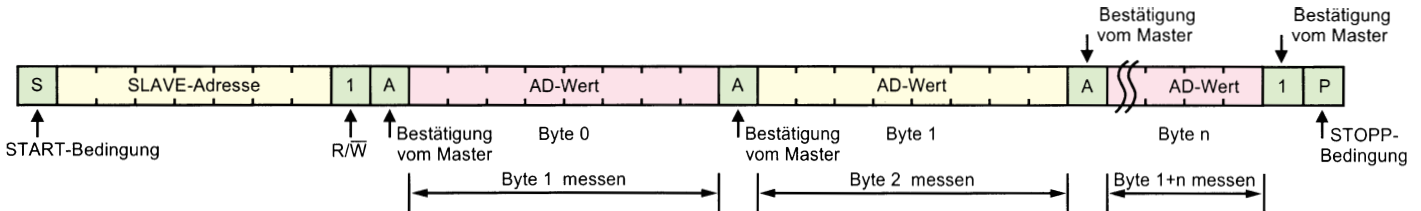


Bild 5: I<sup>2</sup>C-Protokoll zum Lesen aus dem PCF 8591

das Wandeln für den zweiten Analogeingang (AIN1) und die Übertragung des vorherigen Meßwertes von AIN0.

Um alle 4 Eingänge zu lesen, sind also insgesamt 5 Bytes auszulesen, von denen das erste ungültig ist. Sollen die Eingänge daraufhin erneut ausgelesen werden, so sind dann nur 4 Bytes zu lesen, da das erste gelesene Byte noch von der letzten Wandlung vorliegt und dem Wert von AIN0 entspricht.

### Schaltung

Die Schaltung des I<sup>2</sup>C-AD-DA-Boards ist in Abbildung 6 dargestellt. Die Verbindung zum I<sup>2</sup>C-Bus erfolgt über die Buchse BU 1 und den Stecker BU 2 (beide parallelgeschaltet). Sie versorgen das Board mit Betriebsspannung und führen die SCL- und SDA-Leitungen mit sich.

Zur Auswahl der SLAVE-Adresse dienen die Jumper J 1 bis J 3, die die Adreßleitungen mit „high“ oder „low“ belegen. Die I<sup>2</sup>C-Leitungen sind über die Schutzwiderstände R 1 und R 2 geführt.

Die Analogeingänge AIN0 bis AIN3 und die Masse sind auf die Lötstifte ST 1 bis ST 5 geführt und je nach gewünschter Anwendung zu beschalten, wobei darauf zu achten ist, daß die Eingangsspannungen nicht höher als die Betriebsspannung sein dürfen.

Der analoge Ausgang ist über den Operationsverstärker IC 2 A vom Typ TLC 272 gepuffert, dessen Ausgangssignal an ST 6 und ST 7 anliegt.

Die Referenzspannung von 1,24 V wird über die Z-Diode IC 3 vom Typ LM385 erzeugt. Der Operationsverstärker IC 2 B puffert diese Spannung.

Die Verstärkung des OPs ist über den

Trimmer R 5 im Bereich von 1 bis 3,13 veränderbar, womit auch die Referenzspannung im Bereich von 1,24 V bis 3,88 V einstellbar ist.

Zusätzlich besteht die Möglichkeit, die Referenzspannung extern zuzuführen, indem diese an ST 8 und ST 9 angelegt und der Jumper J 4 entsprechend gesteckt wird.

### Nachbau und Inbetriebnahme

Der Nachbau des I<sup>2</sup>C-AD-DA-Boards gestaltet sich sehr einfach, da nur wenige Bauteile zu bestücken sind, die auf einer einseitigen Leiterplatte mit den Abmessungen 80 x 51 mm Platz finden. Die Bestückung erfolgt in gewohnter Weise anhand der Stückliste und des Bestückungsplanes, wobei die Bauteile eingesetzt, verlötet und die überstehenden Drahtenden mit einem Seitenschneider abgeschnitten werden, ohne dabei die Lötstellen zu beschädigen.

Die Jumper J 1 bis J 3 sollten in die Stellung „0“ gesteckt sein, wenn sich nur ein PCF 8591 am I<sup>2</sup>C-Bus befindet. Der Jumper J 4 ist in die Stellung „int.“ zu stecken.

Damit ist der Aufbau bereits abgeschlossen, und es erfolgt der Abgleich der Referenzspannung.

Dazu ist die Schaltung zunächst mit ihrer Betriebsspannung zu versorgen, indem das Board an das I<sup>2</sup>C-Interface angeschlossen oder direkt über BU 1 oder BU 2 mit 5V versorgt wird.

Mit einem Multimeter mißt man jetzt die Referenzspannung an Pin 7 des IC 2 B und stellt diese mit dem Trimmer R 5 auf 3,0 V ein.

Die Einstellung kann später bei Bedarf geändert werden, sollte aber zum Test so

realisiert sein, da die Testsoftware auf diese Spannung abgestimmt ist.

### Software

Die Grundroutinen zur Ansteuerung des I<sup>2</sup>C-AD-DA-Boards liegen als Quellcode in den Programmiersprachen C und PASCAL vor.

Ein kleines Beispielprogramm zeigt die Anwendung der Routinen in Verbindung mit dem I<sup>2</sup>C-PC-Interface.

Es stehen 3 grundsätzliche Funktionen zur Verfügung, die es ermöglichen, Daten über den DA-Wandler auszugeben, einen AD-Kanal oder alle 4 AD-Kanäle einzulesen.

Mit der Funktion „DA\_OUT (Byte);“ kann ein Byte in den DA-Wandler geschrieben werden, um es über den analogen Ausgang des Boards auszugeben.

Die Funktion „AD\_IN (Status, Kanal, Byte);“ wandelt den angegebenen analogen Eingangskanal (Kanal) und gibt das entsprechende Byte (Byte) zurück, wobei der Wert (Status) die Konfiguration der Eingänge bestimmt.

Das Einlesen aller 4 Analogeingänge erfolgt über die Funktion „DA\_IN\_4 (Status, daten[ ]);“, wobei hier nur die Konfiguration der Eingänge (Status) übergeben wird und das Zurückgeben eines Datenfeldes mit den 4 Meßwerten erfolgt.

Die Routinen sind übersichtlich und gut dokumentiert, so daß sie bei Bedarf einfach auf den jeweiligen Einsatzfall angepaßt werden können. Die Quellcodes liegen dem Bausatz des I<sup>2</sup>C-AD-DA-Boards auf einer Programmdiskette bei oder können über die ELV-Infobox per Modem kostenlos abgerufen werden, wobei nur die Telefongebühren anfallen. **ELV**

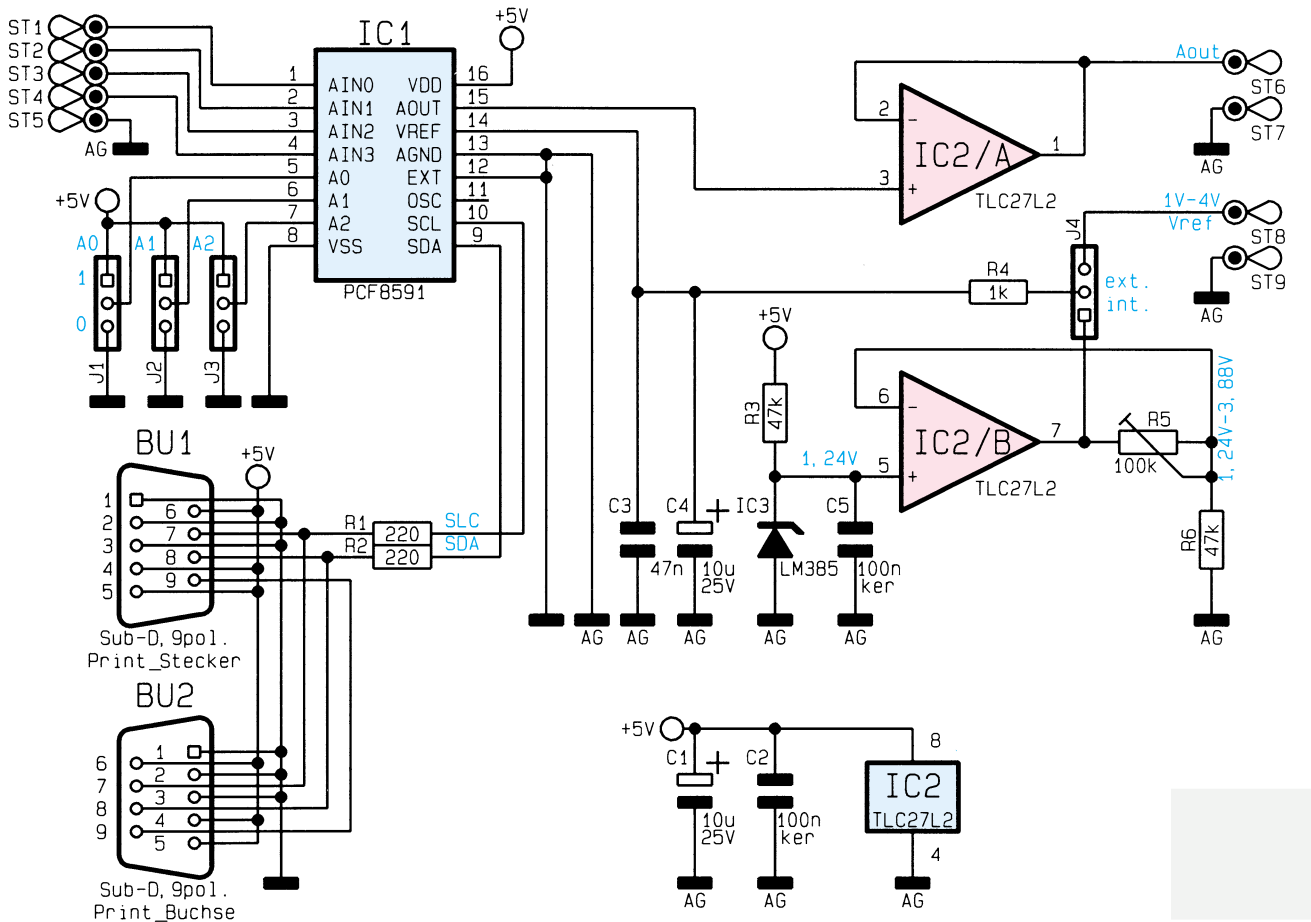


Bild 6: Schaltbild des I<sup>2</sup>C-AD-DA-Boards

**Stückliste:  
I<sup>2</sup>C-AD-DA-Board**

**Widerstände:**

220Ω .....	R1, R2
1kΩ .....	R4
47kΩ .....	R3, R6
Spindeltrimmer, 100kΩ .....	R5

**Kondensatoren:**

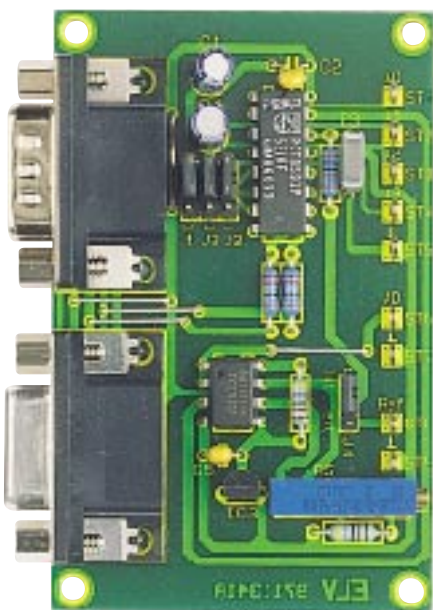
47nF .....	C3
100nF/ker .....	C2, C5
10μF/25V .....	C1, C4

**Halbleiter:**

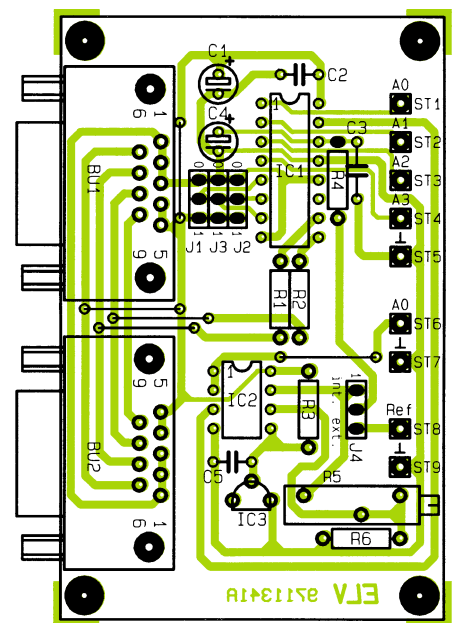
PCF8591 .....	IC1
TLC27L2 .....	IC2
LM385/1,2V .....	IC3

**Sonstiges:**

- Lötstifte mit Lötöse .....
- ST1-ST9
- Stiftleiste, 1 x 3 polig .....
- J1-J4
- SUB-D-Stiftleiste,  
9 polig, print .....
- BU1
- SUB-D-Buchsenleiste,  
9 polig, print .....
- BU2
- 4 Jumper
- 20cm Schaltdraht, blank, versilbert



Fertig bestückte Platine des I<sup>2</sup>C-AD-DA-Boards



Bestückungsplan des I<sup>2</sup>C-AD-DA-Boards