

5. Halbleiterdetektoren

Ein, ziemlich neue Art Detektor um ionisierende Strahlung zu messen ist der Halbleiterdetektor. Ähnlich wie in einem Gas durch die Strahlung freie Elektronen und Ionen erzeugt werden, entstehen in einem Halbleiter Elektronen-Lochpaare. Diese Ladungsträger können in angebrachten Elektroden gesammelt und gemessen werden.

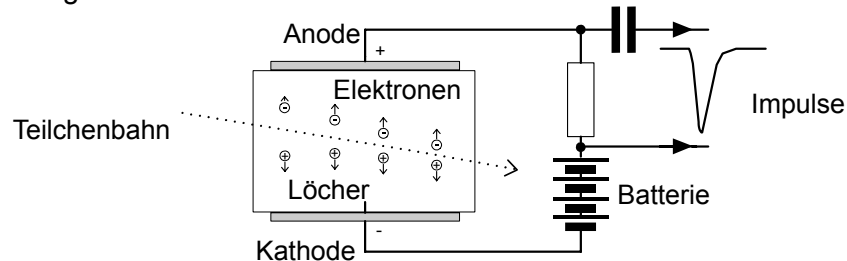


Abb. 1: Halbleiterzähler

Da die Dichte eines Halbleiters wesentlich größer ist als die eines Gases genügen sehr kleine Volumen um ein Teilchen vollständig zu absorbieren und dessen gesamte Energie zu erfassen. Halbleiterdetektoren werden deshalb hauptsächlich für spektrometrische Messungen verwendet. Obwohl schon seit längerer Zeit bekannt war das ionisierende Strahlung das Verhalten von Halbleitern ändert war es erst mit der Entwicklung der modernen Halbleitertechnik möglich die Eigenschaften der Detektoren voraus zu bestimmen und reproduzierbar zu fertigen. Deshalb werden diese Detektoren meist aus den üblichen Halbleitern wie Germanium und Silizium gefertigt. Der Aufbau eines Halbleiterdetektors ähnelt dem einer Fotodiode. Bei einer Fotodiode werden die Ladungsträger durch Photonen generiert, beim Halbleiterdetektor geschieht das durch radioaktive Strahlung. Halbleiterdetektoren werden von einigen Firmen hergestellt, sind aber wegen der kleinen Stückzahlen ziemlich teuer. Die erwähnte Ähnlichkeit mit Fotodioden bietet eine billige Alternative.

5.1. Halbleiterzähler mit Fotodiode

Findige Experimentatoren entdeckten das auch billige Fotodioden zur Messung radioaktiver Strahlung zweckentfremdet werden können ^(xxx). Besonders günstige Ergebnisse erhält man mit so genannten PIN-Dioden. Bei diesen ist zwischen P- und N-

Schicht der Diode eine nicht dotierte I-Schicht. Das dadurch gebildete größere Volumen ergibt eine höhere Nachweiseffizienz. Die von Infineon/Osram gefertigte PIN-Diode BPX 61 eignet sich gut für Zählzwecke, ist leicht erhältlich und mit etwa 10 Euro (Conrad) nicht allzu teuer. Die von Halbleiterzähler abgegebenen Impulse sind klein sodass ein leistungsfähiger Vorverstärker notwendig ist um die Signale auswerten zu können. Vorteilhaft ist es den Vorverstärker direkt an der Diode anzubringen um Störeinstrahlung in die Verbindungsleitungen zu vermeiden. Halbleiterdetektoren werden meist mit ladungsempfindlichen Verstärkern betrieben. Die Ausgangsspannung des Verstärkers ist der in seinen Eingang fließenden Ladung proportional. Schaltungstechnisch wird das durch eine Kapazität in der Gegenkopplung des Verstärkers erreicht.

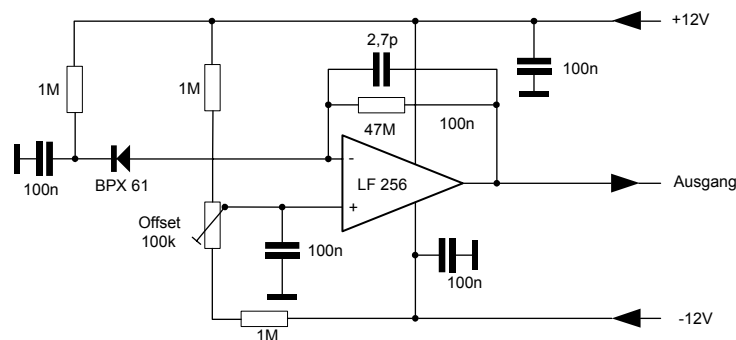


Abb. 2: Die Beschaltung des Detektors

Die Schaltung verwendet einen FET-Operationsverstärker vom Typ LF 256. Da die Verstärkung sehr hoch gewählt wird muss der Sperrstrom der Fotodiode und der Offset des Verstärkers kompensiert werden. Dies geschieht durch ein Offset-Poti am nicht invertierenden Eingang des Verstärkers mit dem die Ausgangsspannung auf etwa Null Volt eingestellt wird. Die Fotodiode BPX 61 hat im Vergleich zu speziellen Halbleiterdetektoren trotz PIN-Aufbau eine dünne aktive Schicht. Aus diesem Grund kann sie vor Allem zur Detektion von Alpha-Teilchen die eine kurze Reichweite haben, verwendet werden. Die Elektronen der Betastrahlung werden wenig absorbiert und ergeben nur sehr kleine Signale. Bevor die Fotodiode als Alpha-Strahlungsdetektor verwendet werden kann muss das Glasfenster des Gehäuses entfernt werden. Das Fenster würde

die Strahlung vollkommen absorbieren und so verhindern dass sie die Sperrschicht der Diode erreicht. Dieser Eingriff kann auf etwas brutale Weise mit einem Seitenschneider erfolgen oder etwas vorsichtiger mit einer kleinen Trennscheibe (Dremel). Auf keinen Fall darf man aber die Oberfläche des Siliziumkristalls berühren oder den hauchdünnen Bonddraht beschädigen. Ist das Fenster entfernt sollte man die Diode auch vor schädlichen Umwelteinflüssen wie Staub und Feuchtigkeit schützen. Am Besten baut man sie schnellstens in ein dichtes Gehäuse ein. Auf jeden Fall muss die Diode in einem lichtdichten Gehäuse betrieben werden, da sie nach wie vor auf Licht reagiert. Der Verfasser verwendete dazu ein Aluminiumdöschen in dem die Diode zusammen mit dem Vorverstärker eingebaut wurde. Diese Dose gewährleistet einen lichtdichten Verschluss, eine gute elektrische Abschirmung und ist zudem gasdicht.



Abb. 3: Die Fotodiode mit Vorverstärker

Die Diode und der Verstärker sind in den Deckel der Dose eingebaut. Natürlich muss das zu messende Präparat auch in der Dose untergebracht werden. Da Alphateilchen auch schon von Luft erheblich absorbiert werden ist es sinnvoll die Dose im Betrieb auf einen niedrigen Druck abzupumpen.

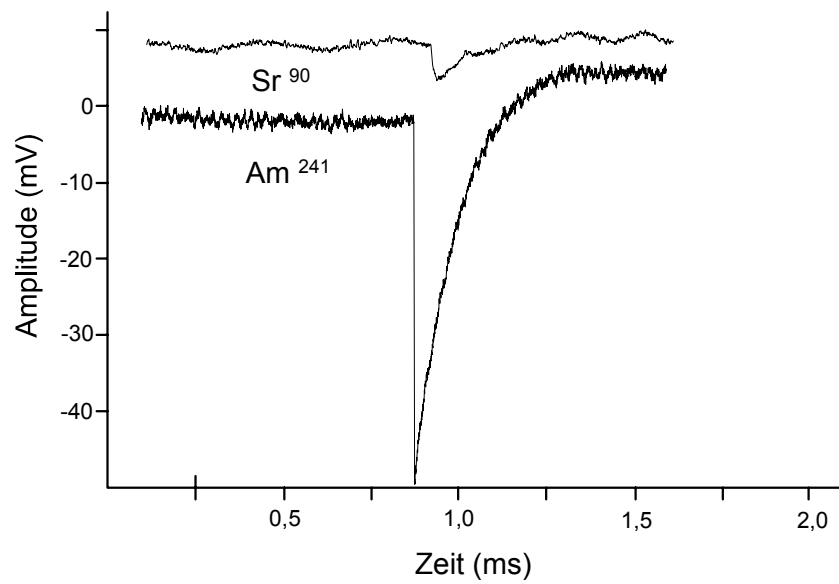


Abb. 4: Die Zählpulse am Ausgang des Vorverstärkers

Die Alphateilchen des Americium 241 Präparats ergeben Pulse von 50 mV am Ausgang des Vorverstärkers während sich die Pulse der Betastrahlung (Sr^{90}) kaum vom Untergrund abheben.

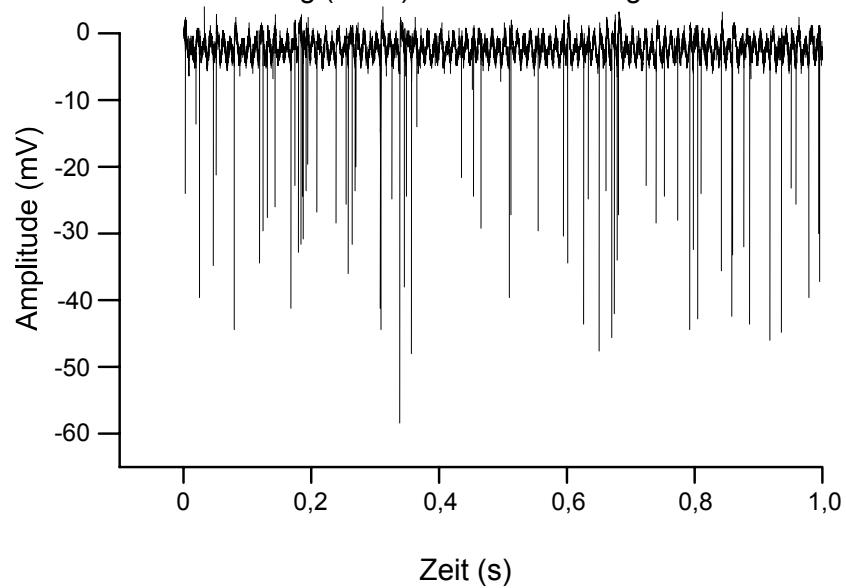


Abb. 5: Impulse von Americium

Die Abbildung xxx zeigt die Impulsreihe die von einem Americium 241 Strahler während einer Sekunde erzeugt werden. Eigentlich sollten alle Impulse etwa die gleiche Amplitude aufweisen, da die Alpha-Linien von Americium alle eine Energie um die 5 MeV haben. Durch die Luftschicht zwischen dem Präparat und dem Detektor werden die Alphateilchen aber unterschiedlich gebremst. Für ein unverfälschtes Spektrum muss also die Luft abgepumpt werden. Zur Aufnahme des Spektrums benötigt man einen Fensterdiskriminator oder besser einen Vielkanalanalysator. Einfache Geräte dieser Art werden im Kapitel Elektronik beschrieben.

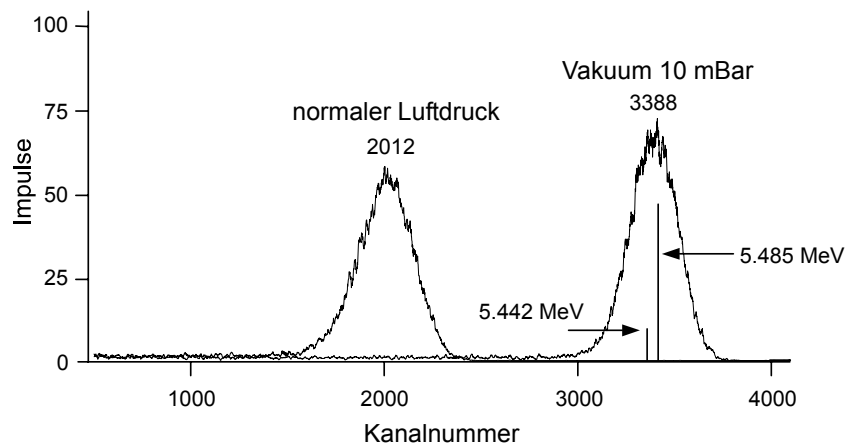


Abb. 6: Spektrum des Americium 241

Die Messungen mit dem MCA (Multichannelanalyzer, Vielkanalanalysator) zeigen dass bei normalem Luftdruck in der Zählkammer die Alphateilchen über zwei Drittel ihrer Energie verlieren bevor sie den Detektor erreichen. Das zeigt wie wichtig eine Evakuierung der Messkammer ist. Leider könnten bei der Messung die verschiedenen Alpha-Linien des Americiums nicht aufgelöst werden. Die beiden Hauptlinien bei 5,442 MeV und 5,485 MeV die zusammen mehr als 90 % der Emission ausmachen liegen zu eng zusammen.

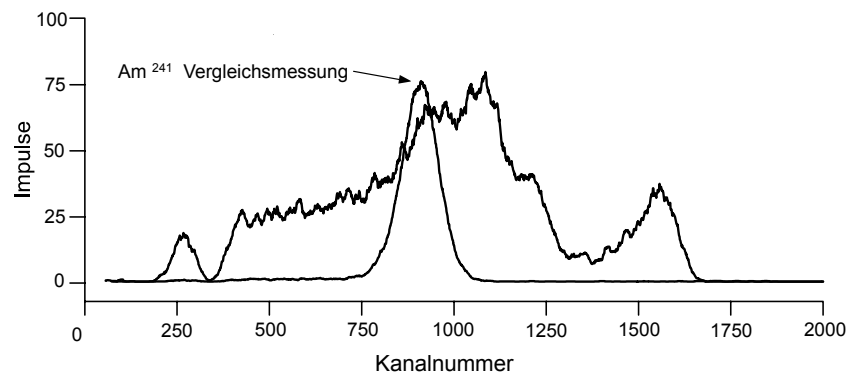


Abb. 7: Spektrum eines Leuchtzeigers

Die nächste Messung wurde mit dem Leuchtzeiger einer alten Uhr unternommen. Das Spektrum zeigt die Alphastrahlung des Radiums und seiner Folgeprodukte.

8.2.3 Vielkanalanalysator

Im Gegensatz zum Fensterdiskriminator wird beim Vielkanalanalysator jeder Puls entsprechend seiner Amplitude gezählt und das Spektrum muss nicht sukzessive abgearbeitet werden. So können die Messungen beim Vielkanaler in wesentlich kürzerer Zeit erfolgen. Zur Pulshöhenmessung werden hauptsächlich drei Schaltungstechniken angewendet.

1. Direkte Messung des Pulses mit einem schnellen A/D-Wandler. Die einzelnen Messwerte des ADC's werden gespeichert und anschließend per Software ausgewertet und das Maximum bestimmt.
2. Speicherung der maximalen Pulshöhe in einem Spitzenwertgleichrichter und anschließende langsame Analogdigitalwandlung
3. Speicherung der maximalen Pulshöhe mit einer Sample/Hold-Schaltung nach geeigneter Verzögerung und langsame Analogdigitalwandlung

Die direkte, erste Methode scheitert für den Bastler oft an den notwendigen sehr schnellen A/D-Wandlern mit schneller Speicherung der Daten. Derartige Schaltungen sind nicht leicht

zu bauen und erfordern umfangreiche Messmittel zu ihrer Inbetriebnahme.

Auch eine schnelle Spitzenwertgleichrichtung ist nicht unproblematisch, will man nicht den Fehler, der durch eine einfache Gleichrichterdiode entsteht, in Kauf nehmen.

Der folgende Schaltungsvorschlag arbeitet nach der dritten Methode, da die verwendeten Bauteile billig und leicht erhältlich sind. Ein Nachteil dieser Schaltung ist die notwendige Zeitverzögerung nach der Erkennung des Impulses bis zur Triggerung der Sample/Hold-Schaltung. Je nach Anstiegszeit des Impulses muss diese Verzögerung unterschiedliche Werte annehmen. Bei nicht zu langsamen Anstiegszeiten wird aber diese Zeit von dem vorfolgendem Verstärkern bestimmt und ist deshalb unabhängig vom verwendeten Detektor konstant.

Die Schaltung arbeitet nach dem Sample/Hold-Prinzip. Auf ein Potentiometer zur Einstellung der Verstärkung folgt ein zweistufiger Verstärker. Beide Stufen, die zur Vermeidung von Offsetproblemen AC-gekoppelt sind, verwenden den Fet-Operationsverstärker LF 256. Die erste Stufe verstärkt 50-fach, die zweite Stufe kann zwischen 5 und 50-fach umgeschaltet werden. Auf den Verstärker folgt der Komparator LM 311. Die Schwellenspannung für den Komparator wird von einem Digitalanalogwandler AD 558 bereitgestellt. Der Ausgangsimpuls des Komparators triggert einen Monoflop 74 LS 123. Nach Ablauf der einstellbaren Verzögerungszeit (nominal $4\mu\text{s}$) die der Anstiegszeit des Messpulses entsprechen muss wird ein zweiter Monoflop gestartet. Dessen Ausgang schaltet den Sample/Hold-Baustein AD 585 in den Holdzustand und löst gleichzeitig wird im Mikroprozessor ein Interrupt aus.

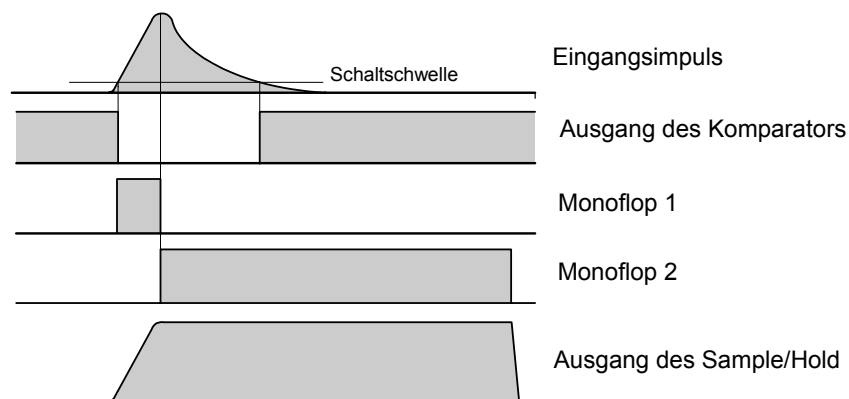


Abb. 8: Pulsabläufe im Eingangsteil

Die Pulshöhe bleibt somit bis zum Ablauf des Monoflops 2 gespeichert und kann auch durch langsamere Analogdigitalwandler verarbeitet werden.

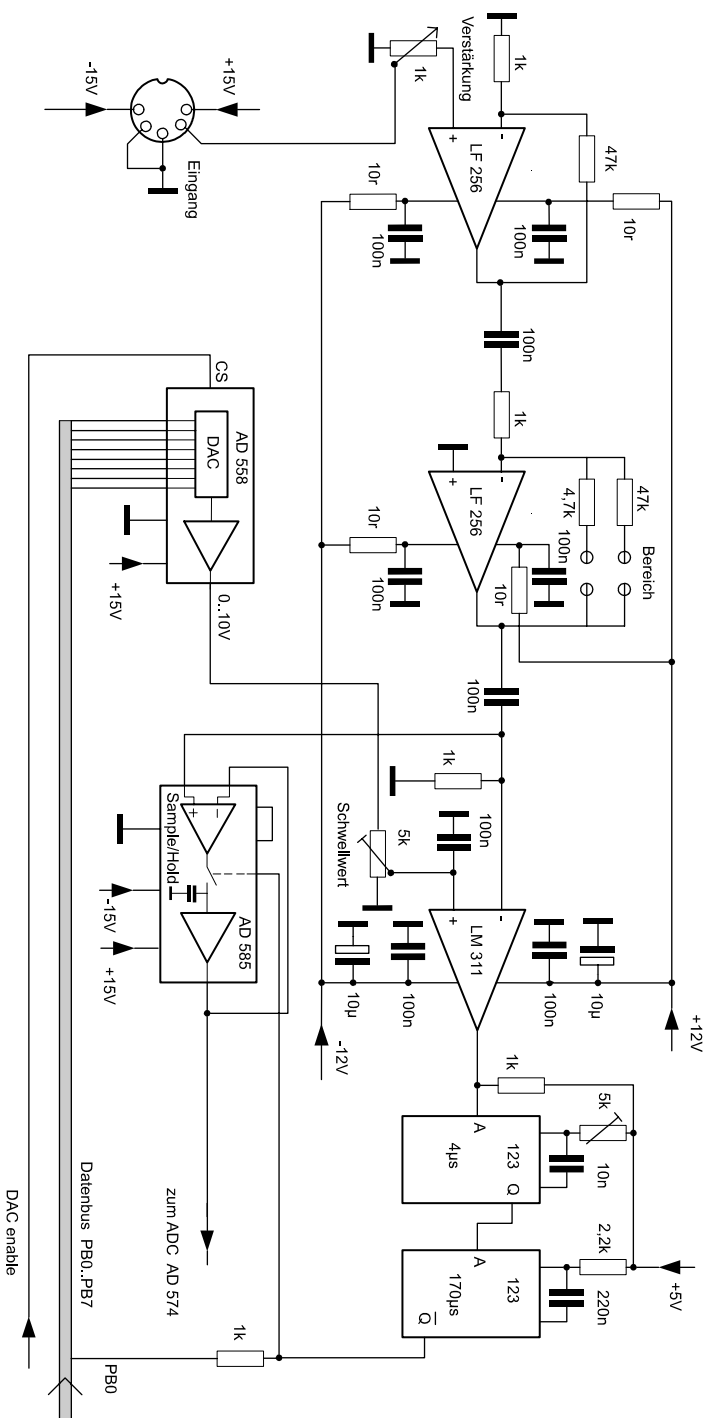


Abb. 9: Analogteil des Vielkanalanalysators

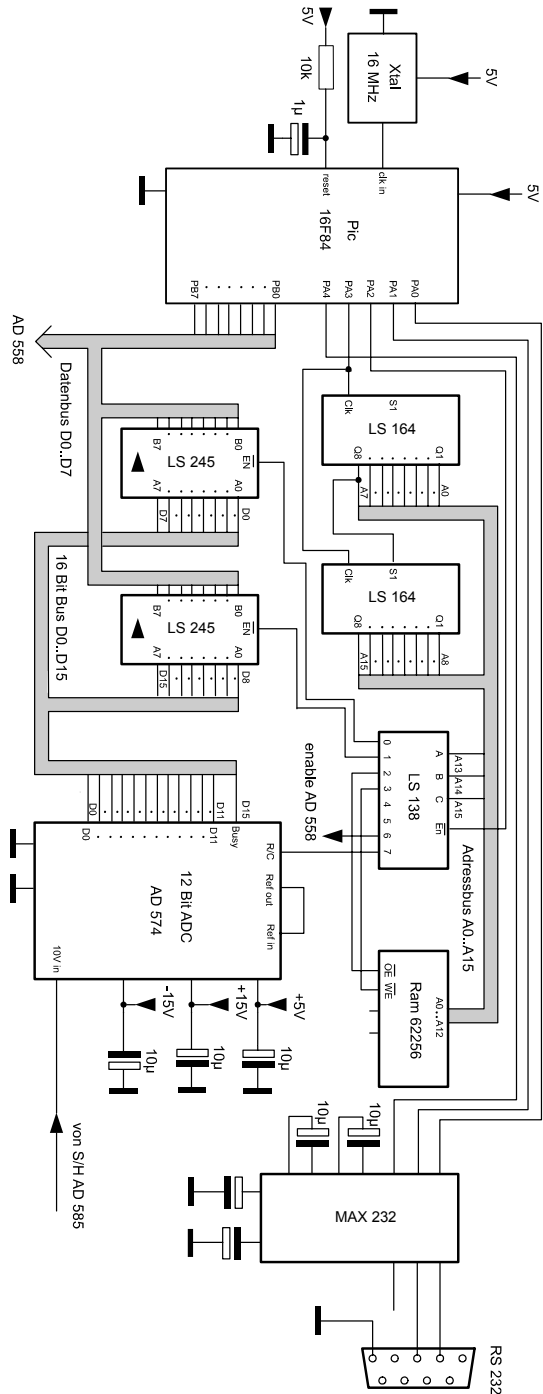


Abb. 10: Digitalteil des Vielkanalanalysators

Die weitere Verarbeitung des Signals übernimmt der Mikroprozessor vom Typ Pic 16 F 84. Durch das Interruptsignal ausgelöst startet ein Unterprogramm den ADC-Wandler. Dessen Ausgangsdaten werden zur Adressierung der Speicherzelle verwendet deren Inhalt dann erhöht wird. Nach Ablauf der Messzeit werden die Daten der einzelnen Speicherzellen über die RS 232 Schnittstelle dem PC zur weiteren Verarbeitung und Anzeige übertragen. Der AD-Wandler AD 574 (Analog Device) hat eine Auflösung von 12 Bit, deshalb muss zur vollen Ausnutzung der Auflösung der Additionsspeicher eine Kapazität von mindestens 4 kByte haben. Da der verwendete Prozessor nur einen kleinen internen Speicher enthält ist ein externer Speicher zugeschaltet. Der Adressbus mit 12 Bit Breite zur Ansteuerung des Speichers wird von zwei Schieberegistern 74 LS 164 erzeugt, da der Prozessor auch nur wenige Ausgangsports hat. Bei Verwendung eines anderen Prozessors wie die C-Control Prozessoren (Conrad Elektronik) , mit größerem internem Ram und, oder internem AD-Wandler kann die Schaltung deutlich einfacher ausfallen. Die Software des PIC-Prozessors erhält ihre Anweisung über die RS-232 Schnittstelle. Es sind vier Befehle implementiert.

M	Start einer Vielkanalmessung. Rückgabewert: 4096 Bytes
C	Start einer Zählermessung. Rückgabewert: 2 Bytes
T X	Programmierung der Messzeit, X steht für den Byteparameter
B X	Programmierung der Komparatorschwelle, X steht für Byteparameter

Eine Art Handshake-Protokoll wird durch die Software erzeugt. Nach jedem Befehl sendet der Picprozessor zwei Bestätigungszeichen (A5 Hex, B6 Hex) zurück.

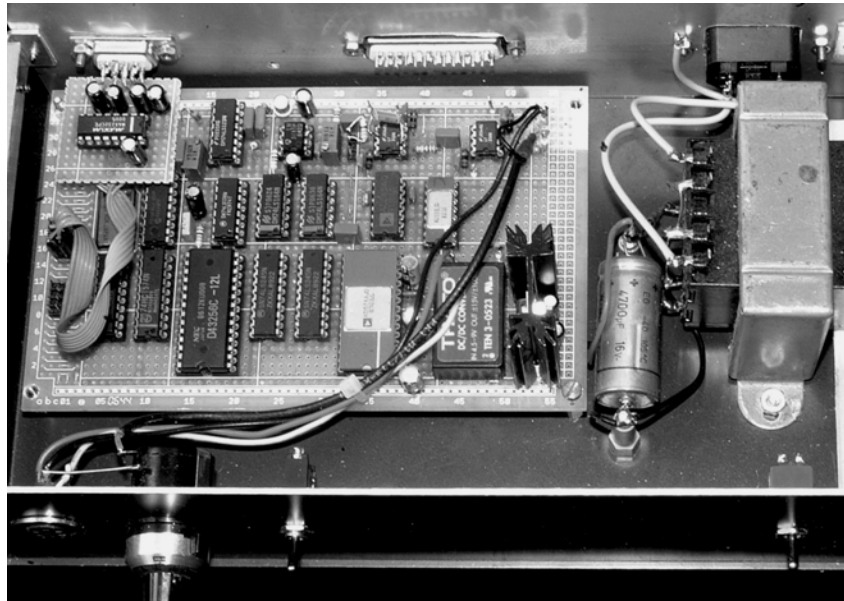


Abb. 11: Die Platine des Analysators