

## Entwicklung neuer Elektronik für ortsauflösende Microchannelplate-Detektoren

Lothar Ph. H. Schmidt, Sven Schößler, Achim Czasch, Ottmar Jagutzki, Reinhard Dörner

In aktuellen Experimenten der Atomphysik mit der COLTRIMS-Methode wird die Fragmentation von Molekülen, Dimeren und Clustern untersucht. Dazu müssen zum Teil mehrere Teilchen fast gleichzeitig auf einem Microchannelplate (MCP) Detektor mit Laufzeitanode (Delayline) nachgewiesen werden. Die mit dem Detektor erreichte Orts- bzw. Zeitauflösung bestimmt die Qualität der Messdaten.

Ein Detektor liefert, je nach Bauart, 5 bis 7 Signale: einen positiven Puls am MCP und für jede der 2 bzw. 3 Ebenen der Laufzeitanode zwei Signale. Diese Signale mit einer Amplitude von unter 10 mV müssen aus dem Vakuumsystem herausgeführt und dann von der Hochspannung entkoppelt werden. Die Laufzeitanode liefert auf einem Leitungspaar Differenzsignale, welche per Pulstransformator in ein Single-Ended-Signal konvertiert werden und dann per Koaxialleitung in einen Verstärker mit Verstärkung 100 überführt wird. Die resultierenden Signale haben eine statistische Pulshöhenverteilung, welche je nach verwendetem MCP einen dynamischen Bereich von mehr als zwei Größenordnungen haben kann. Zur Extraktion der Zeitinformation aus diesen Pulsen wird deshalb ein Constant-Fraction-Discriminator (CFD) verwendet, welcher ein von der Pulshöhe weitgehend unabhängiges genormtes Zeitsignal erzeugt, welches dann mit einem Mult-Hit-fähigen TDC digitalisiert wird.

Diese Signalverarbeitung hat einige Schwachstellen:

- Reflexionen im Signalweg
- Bei der Signalübertragung vom Detektor zum Verstärker werden leicht Störsignale eingefangen. Besonders kritisch sind hier schlecht funktentstörte Schaltnetzteile, HF-Lecks an Hochfrequenzbeschleunigern und schnell geschaltete Hochspannungen, wie sie z. B. in Pockels-Zellen und Ionenstrahlpulsern am Beschleuniger verwendet werden.
- Bei Nachweis mehrerer Teilchen kann es auf der Laufzeitanode zu Überlagerungen der Signale verschiedener Ereignisse kommen, welche dann zu einer falschen Orts-Zeit-Bestimmung führen können.

Die beschriebenen Probleme sollen durch zwei neue Entwicklungen reduziert werden:

- a) Vollständige differentielle Signalübertragung bis zum Verstärker zur Reduktion der Reflexionen und Störungen.
- b) Messung der Pulshöhe mit den vorhandenen TDC-Systemen, um in der Offline-Analyse Signalüberlagerungen erkennen zu können und bei unzureichender Auflösung die Ereignisse mit hohem Signal-zu-Rausch-Verhältnis extrahieren zu können (natürlich auf Kosten der Statistik)

### a) Entwicklung einer differentiellen Übertragung der Delay-Line-Signale bis zum Verstärker

Für die Übertragung digitaler Signale werden heute überwiegend geschirmte Twisted-Pair-Kabel verwendet. Beim 10-Gigabit-Ethernet haben sich Kabel mit 4 einzeln geschirmten Paaren (CAT-6a) durchgesetzt, welche noch mit den recht

preisgünstigen Modularsteckern (umgangssprachlich RJ-45) ausgestattet werden können.

Um die Übertragung analoger Detektorsignale mit diesen Kabeln testen zu können, wurden entsprechende sogenannte Trommeln aufgebaut, welche den atmosphärenseitigen Stecker der Vakuumdurchführung, die Hochspannungsentkopplung der Signale und die Impedanzanpassung an die Leitung beinhalten. Die Impedanz der Laufzeitanode liegt je nach Anodentyp zwischen 130 und 180 Ohm, während CAT-6a Kabel 100 Ohm besitzen. Die Anpassung erfolgt durch geeignete Potentiometer im Signalweg.

Passend zu diesen Kabeln wurden mehrere Prototyp-Differenzverstärker aufgebaut. Dabei erfolgt die Differenzbildung entweder mittels Pulstransformator oder alternativ mit einem schnellen Operationsverstärker. Letztere Methode hat den Vorteil, dass ein Balanceabgleich möglich ist, mit dem eventuelle Störungen minimiert werden können.

Neben Prototypen in teilweise „fliegender Verdrahtung“ wurde ein Platinenlayout erstellt, auf dem beide Varianten realisiert werden können. Dieses bietet weiterhin die Möglichkeit der Bestückung mit Bandpassfiltern bis zur 3. Ordnung und einer Einstellung der Verstärkung per Potentiometer. Ein NIM-Modul mit Differenzbildung im Operationsverstärker wurde auf dieser neu designten Platine aufgebaut.

Ohne Optimierung konnte sofort die Signalqualität der bis jetzt verwendeten Geräte erreicht werden. Für weitere Tests wurde eine erste Kleinserie von 10 Geräten zur externen Fertigung gegeben. Diese können dann mit wenig Aufwand zum Test verschiedener Bestückungsvarianten modifiziert werden. Der erste Einsatz der neuen Geräte ist bei der Strahlzeit am BESSY im April 2010 geplant.

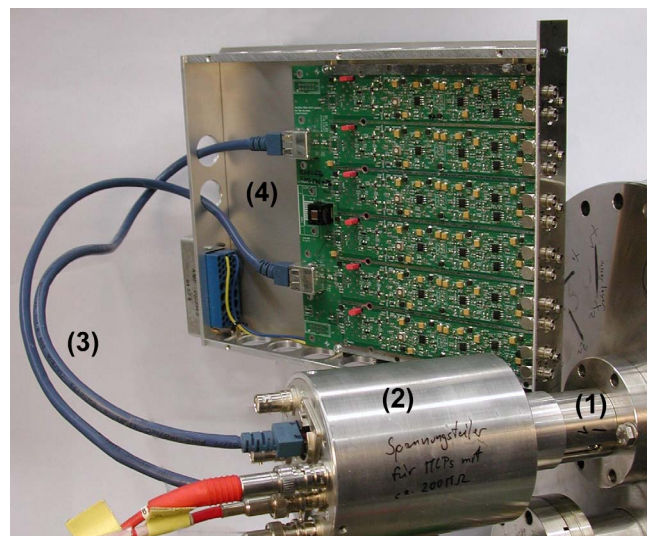


Abb. 1: Neue Signalauskopplung mit differentieller Signalübertragung über CAT-6a-Kabel (3) zwischen Vakuumdurchführung (1), Vakuumapparat und NIM-Verstärkermodul (4). Die sogenannte Trommel (2) enthält die Signalauskopplung.

## b) Entwicklung eines Pulshöhen-nach-Zeit-Konverters (PhTC)

Die langsame Digitalisierung von analogen Informationen erfolgt meist mit einem ADC, der nach der Rampenmethode arbeitet. Dabei werden durch ein Triggersignal eine Rampe und ein Zähler gestartet. Erreicht die Rampe den Analogpegel, wird der Zähler angehalten, d.h., der Zähler misst die Laufzeit der Rampe. Ein solcher ADC ist somit eine Kombination aus einem Rampengenerator und einem TDC.

Zur Auslese unserer Detektoren verwenden wir ein TDC-System mit mindestens 16 Kanälen und einer Auflösung von ca. 50 ps. Daran angepasst soll ein Rampengenerator entwickelt werden, der die Pulshöhe der Detektorsignale (bis ca. 2 V, Pulsbreite 3 bis 10 ns FWHM) mit einer Auflösung von ca. 5 % in eine Zeit von 0 bis höchstens 15 ns konvertiert. Die Verarbeitungszeit sollte unter 25 ns liegen, denn die vorhandenen CFD und TDC haben eine Totzeit von ca. 15 ns, und dieser Wert soll näherungsweise auch mit dem PhTC erreicht werden.

Obwohl sich das zu konvertierende Analogsignal während der Laufzeit der Rampe ändert, soll der PhTC ohne ein vorgeschaltetes Sample-and-Hold auskommen. Deshalb wurde hier ein Schaltungskonzept verfolgt, welches von dem üblicher ADCs abweicht.

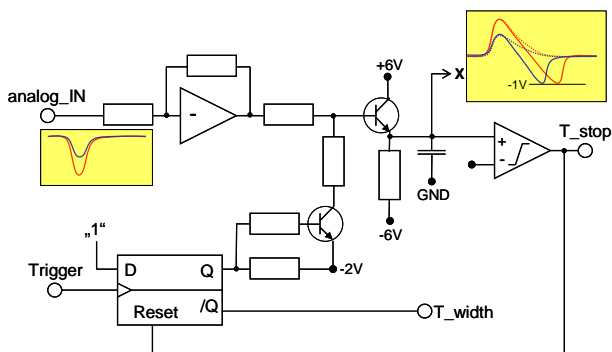


Abb. 2: Schaltungsprinzip des PhTCs. Das Triggersignal wird aus dem Analogsignal mit Hilfe eines CFDs erzeugt, der in das Gerät integriert ist (hier nicht dargestellt). Die Rampenspannung X ist sowohl für Signale mit Trigger (volle Linie) als auch ohne Trigger (Punkte) dargestellt.

Solange kein Trigger anliegt, wird mit einer Emitterfolgeschaltung die „Rampenspannung“ (X in Abb. 2) permanent der Eingangsspannung nachgeführt. Der Trigger wird mit einem CFD im Maximum des analogen Eingangspulses erzeugt und setzt ein ECL-D-Flip-Flop auf „1“. Dieses zieht mit einer einfachen Transistorschaltung die Ansteuerung des Emitterfolgers auf -2V, und somit beginnt die Rampe (X) zu fallen. Beim Erreichen einer Stopp-Spannung von ca. -1V wird der D-Flip-Flop wieder in den Anfangszustand zurückgesetzt.

Es wurde zunächst ein Prototyp der beschriebenen Schaltung auf einer Löttrasterplatine aufgebaut (Abb. 3g). Dieser beinhaltet einen CFD entsprechend früher entwickelter Module (Abb. 3a). Später konnte auch ein erster Prototyp mit einer neu designten Platine (Abb. 3f) erfolgreich getestet werden.

Zum Test der Pulshöhenauflösung des PhTCs wurde der Ausgang eines Schwellenkomparators (umgebauter CFD1a, Abb. 3h) auf einen freien TDC-Kanal gegeben. Für Er-

eignisse, welche die Schwelle überschritten haben, müssen die von PhTC erzeugten Zeitsignale oberhalb des entsprechenden Wertes liegen. Die Schwellenspannung wurde langsam variiert und mittels eines ebenfalls neu entwickelten Analog-Zeit-Konverters (ATC), der Gleichspannungen in eine Start-Stop-Sequenz zwischen 100 und 250 ns konvertiert (Abb. 3e), mit dem TDC-System digitalisiert. Abb. 4a zeigt als Funktion der Komparatorschwelle den Zeitausgang des PhTCs. Die Kante des mit Ereignissen gefüllten Bereiches ist die Eichgerade des PhTCs mit einer Steigung von ca. 0.2 V/ns. Oberhalb einer Pulshöhe von 2 V treten Sättigungseffekte bei den verwendeten Verstärkern auf, was zu einem Abknicken der Eichgeraden führt.

Der PhTC kann z.B. genutzt werden, um die ortsabhängige Pulshöhenverteilung eines MCP-Detektors zu vermessen. Abb. 4b+c zeigen für verschiedene Pulshöhen das Ortsbild eines Detektors, der in der Mitte durch zu hohe Teilchenrate geschädigt wurde. Dort treten quasi keine Pulse über 400 mV mehr auf (Abb. 4c), während eine deutlich erhöhte Anzahl von niedrigen Pulsen (<200 mV) gemessen wird (Abb. 4b).

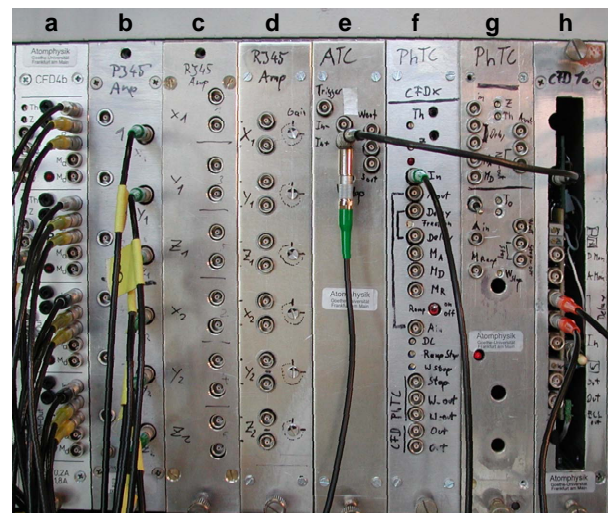


Abb. 3: Prototypen der Elektronikentwicklung: b,c,d) Verstärker mit 100 Ohm Differenzeingang für CAT-6a-Netzwerkkabel; e) Analog-nach-Zeit-Konverter (ATC) mit langsamer Rampe; f,g) Prototypen PhTC; a,h) CFDs früherer Entwicklung, die zum Test des PhTCs verwendet wurden.

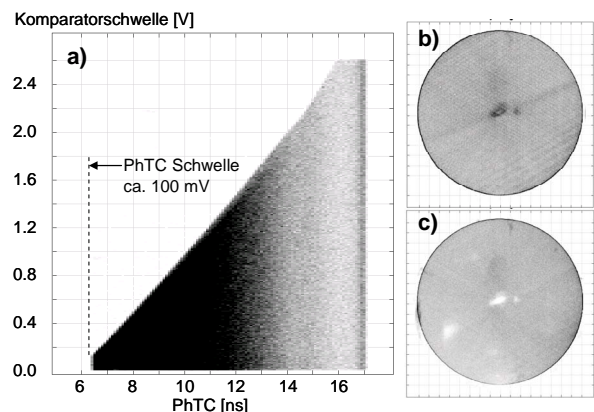


Abb. 4: Test eines MCP-Detektors mit dem PhTC-Prototypen a) Komparatorschwelle gegen PhTC-Ausgang und Ortsbild des Detektors für b) niedrige und c) große Pulshöhen.