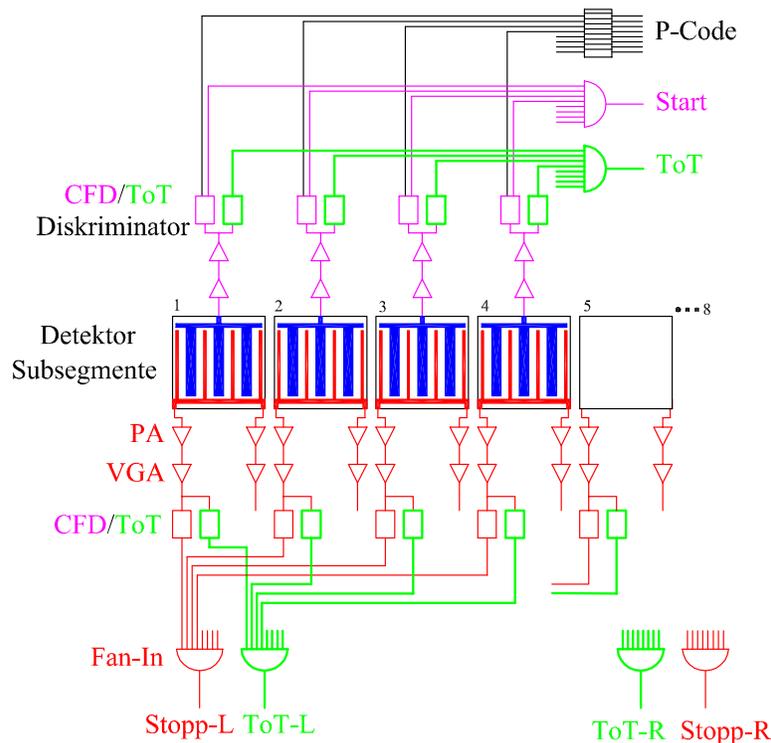


# 6 Signalverarbeitung und Datenaufnahmesystem

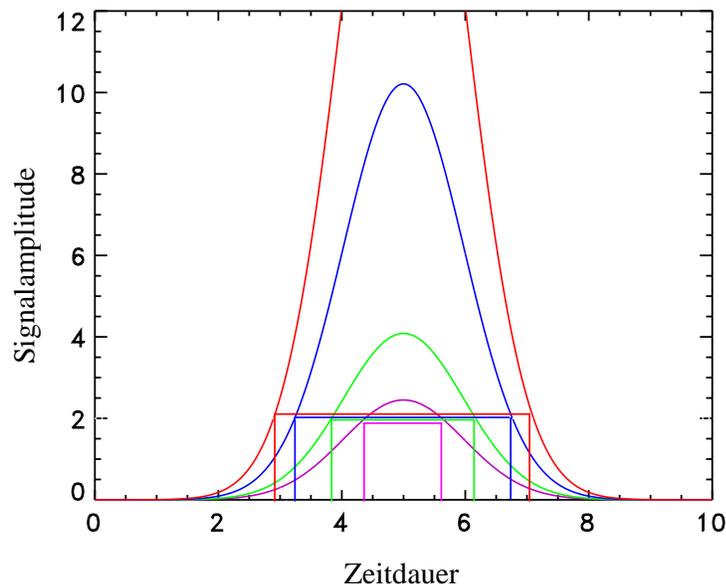
## 6.1 Signalverarbeitung

Mit dem Neutronendetektor wird zweidimensional die Position des Neutroneneinfangs in der  $^{157}\text{Gd}$ -Folie und die Flugzeit der Neutronen gemessen. Dazu werden von den Kathodenstreifen der Mikrostreifendetektoren und den Rückflüßstreifen der SCP unverzögerte Startsignale abgeleitet (siehe Abschnitt 5.1 und 4.4.5), und es werden die Stoppsignale von den Enden der Delay-Lines verwendet. Diese Signale werden durch Vorverstärker (Preamplifier, PA) und nachfolgend durch einen schnellen pulsformenden Verstärker mit variabler Verstärkung (Variable Gain Amplifier, VGA) zusätzlich verstärkt. Anschließend werden mit Hilfe sog. "Constant-Fraction"-Diskriminatoren (CFD) für den Zeitpunkt der Anstiegsflanke, bei dem ein bestimmter Prozentsatz ("Fraction") des Signalmaximums überschritten wird (Triggerpunkt) rechteckige Zeitsignale mit steiler Anstiegsflanke erzeugt. Die Signalverarbeitung unmittelbar hinter dem Detektor ist in Abbildung 6.1 für die Mikrostreifenebene eines MSGC-Segments schematisch dargestellt. Beide Ausleseebenen können bis zu achtfach subsegmentiert werden, um die Delay-Line zu verkürzen und die Auflösung und die Zählratenkapazität zu verbessern.



**Abbildung 6.1:** Schematische Darstellung der Signalauswertung einer Koordinate eines Mikrostreifendetektorsegments, die in bis zu acht Delay-Line-Subsegmente aufgeteilt werden kann. Die einzelnen Komponenten werden im Text erläutert.

Zusätzlich zur ‘Fraction’ für den Triggerpunkt kann im CFD eine untere Schwelle für die akzeptierten Signalamplituden eingestellt werden. Diese wird i.d.R. möglichst niedrig (oberhalb des Rauschens) eingestellt, so daß trotz der Amplitudenverteilung in den Lawinen (vgl. Abb. 4.12 auf Seite 69) nur wenige Ereignisse verloren gehen. Da andererseits z.B. in den Delay-Lines eine ortsabhängige Signalabschwächung stattfindet, ist es vorteilhaft, die Signalamplituden ebenfalls zu messen und die Triggerschwelle in Abhängigkeit von anderen Meßparametern per Software festzulegen. Eine Amplitudenmessung ist besonders an den Subsegmentgrenzen unterteilter Delay-Lines wichtig, um anhand der auf die Subsegmente entfallenden Amplitudenanteile den Ort des Neutrons zwischen den Subsegmenten interpolieren zu können. Die Amplitude kann aber nicht mit einem ADC (Analog to Digital Converter) bestimmt werden, da dieser die Pulse nicht schnell genug verarbeiten kann. Eine sehr elegante und schnelle Methode zur Bestimmung unterschiedlicher Pulshöhen, beruht auf der Verwendung eines “Time-over-Threshold”-Diskriminators (ToT). Dieser erzeugt ein konstantes Ausgangssignal mit einer variablen zeitlichen Länge, welches beginnt, sobald ein bestimmter Schwellenwert überschritten wird und endet, wenn dieser wieder unterschritten wird. Die Länge dieses Signals ist ein i.d.R. nichtlineares Maß für die Amplitude des analysierten Pulses. Mit ToT-Diskriminatoren kann also durch Kombination mit einem TDC (Time to Digital Converter) eine Amplitudenmessung vorgenommen werden, da die verwendeten TDCs die Zeitdifferenz zwischen der ansteigenden und der abfallenden Flanke (bzw. umgekehrt bei negativen Signalen) desselben Signals messen können. In Abbildung 6.2 sind die ToT-Signale für Pulse mit unterschiedlicher Amplitude dargestellt. Der nichtlineare Zusammenhang zwischen Pulsamplitude und Zeitdauer des ToT-Signals ist für die gezeigte Signalform deutlich sichtbar. Wenn das Amplitudenmaximum in der Nähe eines im ToT-Diskriminator eingestellten Hardware-Schwellenwertes liegt, ist die ToT-Methode sehr empfindlich, während bei großen Pulshöhen die zeitliche Länge des ToT-Signals sich nur noch gering ändert. Daher ist diese Methode sehr gut geeignet, um den optimalen Triggerpunkt zu bestimmen; sie wird



**Abbildung 6.2:** Prinzip der Amplitudenmessung mit dem ToT-Diskriminator. Die Länge der Ausgangssignale entspricht dem Zeitintervall, für welches eine im ToT-Diskriminator eingestellte Amplitudenschwelle überschritten wird.

gleichermaßen für die Start- und Stoppsignale verwendet. Das analoge Signal am Ausgang der VGA wird deshalb aufgeteilt und an die CFD und die ToT-Diskriminatoren weitergeleitet.

Da die Delay-Line für die Bestimmung einer Ortskoordinate bis zu achtfach subsegmentiert werden kann (je nach Anforderung an den Detektor), ist weitere Elektronik erforderlich. Die von den Kathoden des Mikrostreifendetektorsegments abgeleiteten Startsignale werden ebenfalls verzweigt. Die einen Signale werden mit den Startsignalen der anderen Subsegmente zu einem ‘Oder’-Signal zusammengefaßt, und mit diesem wird die Flugzeit der Neutronen bestimmt und die Auswertung der übrigen Pulse gestartet. Aus den anderen Signalen wird die Information gewonnen, in welchem der Delay-Line-Subsegmente das Startsignal erzeugt wurde. Dies geschieht mit Hilfe eines Positionszählers (P-Code), der die Subsegmentnummer wiedergibt. Die ToT-Signale werden ebenfalls zu einem einzigen Oder-Signal zusammengefaßt.

Bei den Stoppsignalen werden die jeweils linken und rechten CFD und ToT-Signale der einzelnen Subsegmente zusammengefaßt und an einen TDC und einen DSP (digitalen Signalprozessor) zu weiteren Auswertung weitergeleitet. Es kann allerdings vorkommen, daß das Ereignis gerade im Bereich zwischen zwei Delay-Line-Subsegmenten stattgefunden hat. In diesem Fall wird ein Teil des Signals in die eine und der andere Teil in die benachbarte Delay-Line eingekoppelt. Eine Doppelzählung des Ereignisses wird durch den Positionszähler vermieden, da dieser aus beiden Subsegmenten ein zeitgleiches Startsignal erhält; damit wird registriert, daß die Aufteilung eines Ereignisses auf zwei Subsegmente erfolgt ist. Um die Position des Ereignisses genauer bestimmen zu können, muß dessen Anteil in der jeweiligen Delay-Line gemessen werden. Dies geschieht ebenfalls mit Hilfe des ToT-Diskriminators. Das linke ToT-Signal der einen Delay-Line und das rechte ToT-Signal der benachbarten Delay-Line beginnen nahezu gleichzeitig, da sie nicht durch die Delay-Lines verzögert sind. Beide Signale haben aber unterschiedliche zeitliche Längen, die vom Anteil des auf diese Delay-Line influenzierten Pulses abhängen. Aus diesen Zeitunterschieden kann der Anteil des influenzierten Pulses auf den beiden Subsegmenten durch Vergleich mit Eichmessungen bestimmt werden.

## 6.2 Zählratenkapazität

Werden die Delay-Lines zur Auslese der beiden Ortskoordinaten eines Mikrostreifendetektorsegments nicht subsegmentiert, so beträgt die gesamte Verzögerungszeit der jeweiligen Delay-Line näherungsweise  $1 \mu\text{s}$ . Bei einer Datenaufnahme, die nur die Start- und Stoppsignale eines Ereignisses innerhalb dieser Zeitspanne verarbeiten kann, beträgt der nicht akzeptierte Zählratenanteil bei  $10^5$  Ereignissen pro Sekunde ca. 9%. Bei einem zeitlichen Abstand der Ereignisse, bei dem mehrere Ereignisse, die i. allg. an verschiedenen Orten eintreffen, gleichzeitig auf einer Delay-Line laufen, können diese mit einer solchen Datenaufnahme nicht korrekt erfaßt werden und müßten verworfen werden.

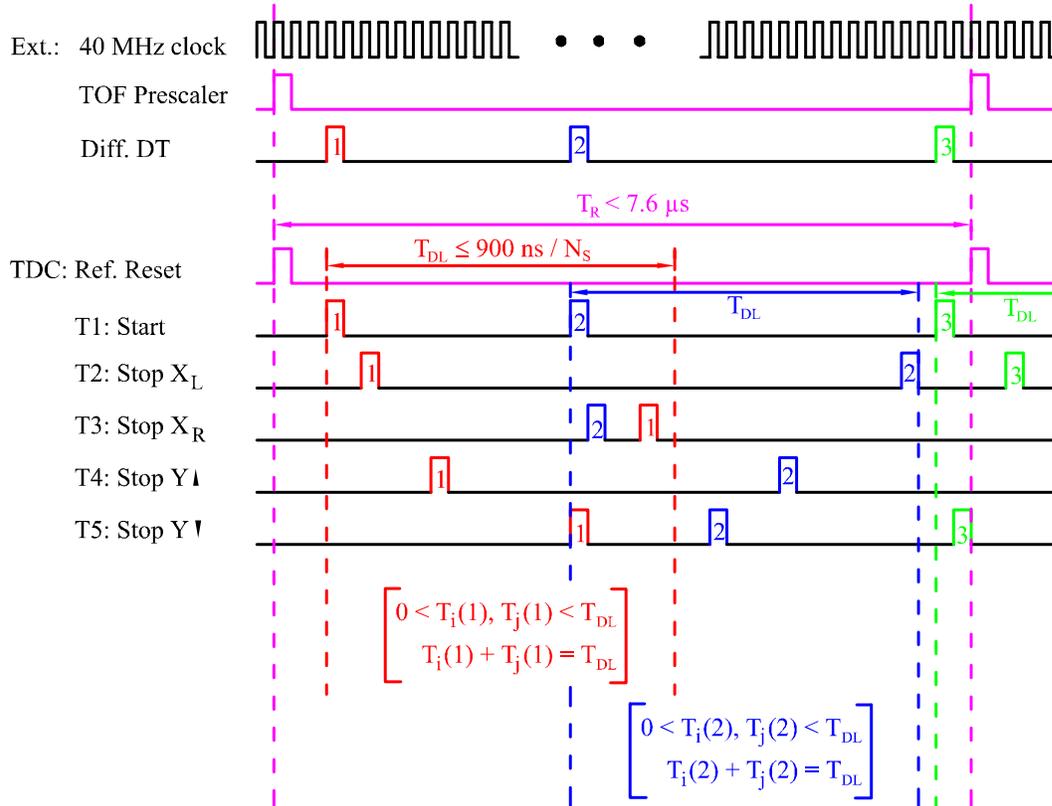
Für den Neutronendetektor wurde daher ein neues Datenaufnahmesystem konzipiert, das in der Lage ist, die Start- und Stoppsignale mehrerer Ereignisse, die gleichzeitig auf einer Delay-Line laufen, zu verarbeiten (siehe Abschnitt 6.3). Dabei ergibt sich die Schwierigkeit, daß die zu einem Ereignis gehörenden Start- und Stoppsignale identifiziert werden müssen. Diese Zuordnung ist möglich, wenn die Gültigkeit der nachfolgend genannten Bedingungen schnell genug “online” überprüft werden kann. Dies geschieht mit Hilfe eines DSPs (Digital Signal Processor), der im nächsten Abschnitt genauer beschrieben wird.

Die zu einem Ereignis gehörenden Start- und Stoppsignale sind durch folgende Bedingungen gekennzeichnet:

$$0 < T_L(n) < T_{DL}, \quad 0 < T_R(n) < T_{DL} \quad \text{und} \quad T_L(n) + T_R(n) = T_{DL} \quad (6.1)$$

Dabei sind  $T_L(n)$  bzw.  $T_R(n)$  die Zeitdifferenzen zwischen dem ortsunabhängigen Startsignal und den Stoppsignalen vom linken Ende bzw. rechten Ende der Delay-Line für das  $n$ -te Ereignis und  $T_{DL}$  die gesamte Verzögerungszeit der Delay-Line.

Durch Überprüfen dieser Bedingungen können diejenigen Signale identifiziert werden, die zu einem Ereignis gehören. Dies ist auch dann noch möglich, wenn die Start- und Stoppsignale weiterer zeitlich überlappender Ereignisse vorhanden sind. Dieses Prinzip ist im unteren Teil von Abbildung 6.3 dargestellt.



**Abbildung 6.3:** Identifikation der Signale bei Mehrfachereignissen auf einer Delay-Line und Prinzip der Flugzeitmessung (Time of Flight, TOF).  $N_s$  ist dabei die Anzahl der Delay-Line-Subsegmente pro Ortskoordinate, und  $T_R$  ist der Zeitbereich des TDCs.

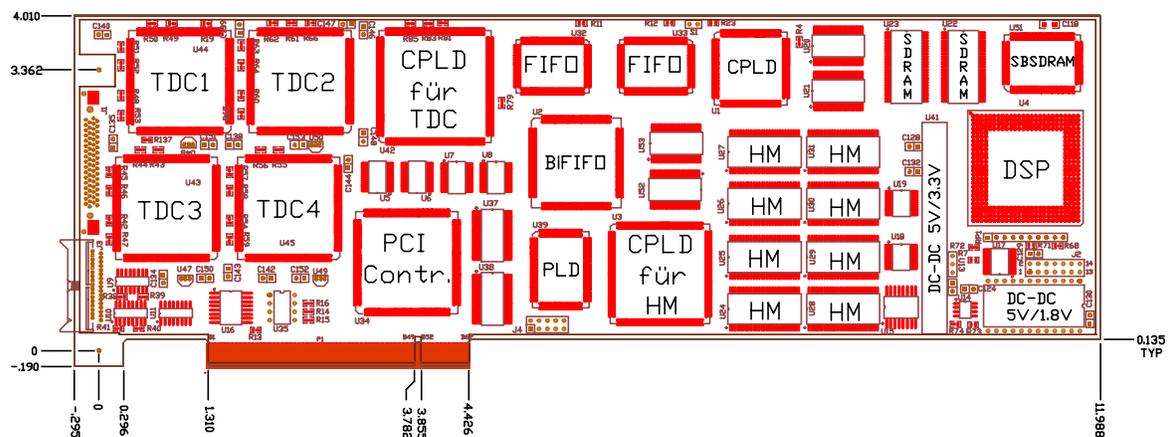
Die von den CFDs erzeugten Start- und Stoppsignale werden an einen TDC weitergeleitet. Dieser TDC bestimmt die Zeitdifferenzen zwischen den Start- und Stoppsignalen, und das Ergebnis wird an den DSP übermittelt. Wenn innerhalb der Verzögerungszeit der Delay-Line  $T_{DL}$  mehrere Ereignisse an verschiedenen Orten detektiert werden, so kann es vorkommen, daß die Stoppsignale nicht in der richtigen zeitlichen Reihenfolge eintreffen, da ihre Laufzeit zum Vorverstärker ortsabhängig ist. In Abbildung 6.3 kommt beispielsweise das Stoppsignal  $X_R$  des zweiten Ereignisses vor dem Stoppsignal  $X_R$  des ersten Ereignisses. Der DSP überprüft die Gültigkeit der Bedingungen 6.1 und ordnet dadurch die Signale dem richtigen Ereignis zu.

Durch diese Methode der Datenaufnahme erhöht sich (ohne Subsegmentierung) die Zählratenkapazität auf mehr als  $10^6$  Ereignisse pro Sekunde bei einer Gesamtverzögerungszeit der Delay-Line  $T_{DL}$  von ca.  $1 \mu s$ .

## 6.3 Das Datenaufnahmesystem

Für die Auslese und Weiterverarbeitung der Signale des Neutronendetektors wurde ein neues Datenaufnahmesystem konzipiert. Dieses basiert auf einer PCI-Bus-Karte, von denen bis zu vier Karten in einem PC verwendet werden können (dies entspricht der Datenaufnahme eines vollständigen  $0.57 \times 0.57 \text{ m}^2$  großen, in jeder der beiden MSGC-Ebenen vierfach-segmentierten Detektors). In modifizierter Form als CPCI-(Compact PCI)-Karten können bis zu 16 Karten in einem externen Gehäuse untergebracht werden, das mit dem PCI-Bus des PCs verbunden wird. Eine Karte ist für die Datenaufnahme von zwei sich auf beiden Seiten des Konverters gegenüberliegenden MSGC-Segmenten von  $285 \times 285 \text{ mm}^2$  Größe notwendig (diese zwei Mikrostreifendetektoren messen die gleiche Ortskoordinate).

Auf einer PCI-Bus-Karte befinden sich vier TDC-Chips vom Typ F1 [Bra99] der Firma acam, von denen jeder acht Kanäle mit einer Zeitaufösung von 120 ps hat, ein Histogrammspeicher für zweidimensionale Spektren und ein sehr schneller DSP (TMS320C6701 von Texas Instruments). Das Layout dieser Karte ist in Abbildung 6.4 dargestellt und wurde in Zusammenarbeit mit dem Frank Laboratory of Neutron Physics im Joint Institute for Nuclear Research in Dubna (nahe Moskau) entworfen. Die TDCs haben die Aufgabe, die Zeitinformation der CFD und ToT in digitale Signale umzuwandeln. Zur Steuerung der vier TDCs ist ein CPLD-(Complex Programmable Logic Device)-Chip notwendig, der in unmittelbarer Nähe der TDCs angeordnet ist. Für die Übertragung der Daten von den TDCs zum DSP, der aus diesen Zeitsignalen den Ort und die Flugzeit der Neutronen bestimmt, sind zwei FIFO-(First In First Out)-Chips auf der Karte vorhanden. Diese werden ebenfalls von einem CPLD gesteuert. Die vom DSP erzeugten Daten können auf bis zu 256 MByte internem Arbeitsspeicher (HM) zwischengespeichert werden, bevor sie über den PCI-Bus an den PC weitergeleitet werden, der die vom Experimentator gewünschten Korrelationen graphisch darstellt und alle Daten auf einer Festplatte speichert.



**Abbildung 6.4:** Layout der PCI-Bus-Karte zur Datenaufnahme. Dabei ist der interne Speicher der Karte für zweidimensionale Spektren mit HM (Histogramming Memory) bezeichnet und kann bis zu 256 MByte betragen. Dieser Speicher wird, wie auch die TDCs, von einem CPLD (Complex Programmable Logic Device) gesteuert. Ein solcher Chip kontrolliert auch die Funktion der FIFOs (First In First Out), die für den Datentransfer zwischen TDCs und DSP notwendig sind. Weitere Informationen finden sich im Text.

Die Karte kann unter vier verschiedenen Modi betrieben werden. Diese unterscheiden sich u.a. durch den Weg, den die Signale auf der Karte nehmen müssen. Um diese verschiedenen Signalwege zu ermöglichen, wird ein bidirektionaler FIFO verwendet. Folgende vier

Betriebsarten sind möglich:

1. Die von den TDCs erzeugten Daten werden direkt an die CPU des PCs weitergeleitet. Bei diesem Modus ist kein DSP notwendig und die Umrechnungen werden von der CPU des PCs vorgenommen. Ein solcher Betriebsmodus ist bei kleinen Zählraten und zum Testen neuer Programmteile zur Datenauswertung sinnvoll.
2. Über den PCI-Bus werden simulierte Meßdaten an den DSP übertragen und von diesem ausgewertet. Dieser Modus dient zum Testen der in den DSP geladenen Auswerteprogramme. Diese sind sehr leicht austauschbar und können daher an die jeweiligen Experimentanforderungen anpaßt werden.
3. Die von den TDCs bestimmten Zeitinformationen werden an den DSP weitergeleitet. Nach Auswertung der Daten im DSP werden diese aber nicht im HM zwischengespeichert, sondern direkt an den Arbeitsspeicher des PCs transferiert. Dieser Modus hat den Vorteil, daß kein Arbeitsspeicher auf der Karte notwendig ist. Dieser spezielle Speicher ist schneller als der des PCs, aber auch teurer. Bei hohen Zählraten ist dieser Modus nicht mehr anwendbar, da sonst die Totzeit durch die vielen Datentransfers über den PCI-Bus und die Weiterverarbeitung im PC zu groß wird.
4. Es findet die gleiche Signalverarbeitung wie in Modus Nr. 3 statt, aber die Daten werden bei diesem Modus zu Spektren sortiert und im HM zwischengespeichert. Bei der Erzeugung der Spektren können verschiedene Parameter gegeneinander dargestellt werden, und die dafür notwendigen Transformationen werden vom DSP vorgenommen (siehe Abschnitt 6.3.2). Diese Betriebsart nutzt das volle Potential der Karte, und es können hohe Zählraten verarbeitet werden.

Die Signale eines der beiden gegenüberliegenden Mikrostreifendetektorsegmente werden auf zwei TDCs aufgeteilt, und diese Verteilung ist in Tabelle 6.1 genauer aufgeschlüsselt. Bei 10% bis 20% aller Ereignisse wird der Ort des Neutrons auf beiden Seiten der Konverterfolie gemessen, und aus diesen beiden Messungen muß ein gemeinsamer Ort berechnet werden. Daher ist eine Verarbeitung der Signale dieser beiden gegenüberliegenden Mikrostreifendetektorsegmente auf einer Karte sinnvoll, und die Karte enthält daher vier TDC-Chips, jedoch zur gemeinsamen Verarbeitung der Signale einen DSP und einen gemeinsamen Histogrammspeicher. Es fällt auf, daß nicht alle acht TDC-Kanäle verwendet werden. Die freien

	T1	T2	T3
TDC1	Start X	Stopp $X_L$	Stopp $X_R$
TDC2	ToT (Start X)	ToT (Stopp $X_L$ )	ToT (Stopp $X_R$ )

	T4	T5	T6
TDC1	Start Y	Stopp $Y_{\uparrow}$	Stopp $Y_{\downarrow}$
TDC2	ToT (Start Y)	ToT (Stopp $Y_{\uparrow}$ )	ToT (Stopp $Y_{\downarrow}$ )

**Tabelle 6.1:** Aufteilung der Signale eines Mikrostreifendetektorsegments auf zwei TDCs. Jeder TDC hat acht Kanäle T1 bis T8, wobei bei dieser Verteilung nur sechs Kanäle verwendet werden.

Kanäle stehen für eine spätere Ergänzung durch weitere Signale zur Verfügung. Die Verwendung von zwei unabhängigen Startsignalen für die gekreuzten X- und Y-Ebenen, d.h. für die Mikrostreifen- und SCP-Ebene, ist notwendig zur Subsegmentierung der zugehörigen Delay-Lines, da u.a. von diesen unabhängigen Startsignalen der Subsegmente die Zuordnung zum jeweiligen Subsegment abgeleitet wird (Position-Code). Die Startsignale jeder Ebene werden danach durch ein Oder-Glied verbunden und einem gemeinsamen TDC-Kanal zugeführt.

Da sowohl der TDC als auch der DSP erst seit Mitte 1999 auf dem Markt sind und beide herausragende Eigenschaften haben, wird ihre Funktion genauer erläutert.

### 6.3.1 Funktion des F1 TDC-Chips

Der F1 TDC-Chip wurde in Zusammenarbeit zwischen der Universität Freiburg und der Firma acam-messelectronic für das COMPASS-Experiment am CERN entwickelt. Für dieses Experiment waren 6000 dieser TDCs notwendig.

Dieser TDC-Chip hat im normalen Acht-Kanal-Betriebsmodus eine Zeitauflösung von  $\Delta T \approx 120$  ps (digitization bin size) und einen dynamischen Bereich von ca.  $7.6 \mu\text{s}$  (16 Bit). Dieser Betriebsmodus wird auch bei der Datenaufnahme des Neutronendetektors verwendet. Es ist aber auch möglich, einen hochauflösenden Modus zu wählen, bei dem pro TDC vier Kanäle mit einer Zeitauflösung von  $\Delta T \approx 60$  ps zur Verfügung stehen. Diese höhere Auflösung wird durch eine Zusammenfassung von zwei Kanälen erreicht, wobei der eine Kanal gegen den anderen zeitlich um 60 ps verschoben wird. In beiden Kanälen wird das Signal mit 120 ps Zeitauflösung detektiert, aber durch die Verschiebung ergibt sich die höhere Genauigkeit.

Der TDC hat einen "Resolution-Adjust"-Modus, bei dem die Zeitauflösung innerhalb von -9% bis +30% konstant gehalten wird. Dies geschieht durch Vergleich des aktuellen Zeitbins mit einer Referenzzeit, die durch 19 Verzögerungselemente in Verbindung mit einem 40 MHz Generator und einem asymmetrischen Ringoszillator erzeugt wird. Dieser interne Kalibrierungsmodus steht für beide Zeitauflösungen (60 ps bzw. 120 ps) zur Verfügung.

Außerdem verfügt der F1 TDC über eine Doppelpulsauflösung von 20 ns im gleichen TDC-Kanal, d.h. Pulse deren zeitlicher Abstand größer ist, können verarbeitet werden. Pulse in zwei verschiedenen Kanälen des TDCs können gleichzeitig detektiert werden. Die Umwandlung der Zeitsignale in digitale Pulse erfolgt ohne Totzeit, und die Auslesedauer ist nur durch die Auslesegeschwindigkeit von 24 Bit/20 ns beschränkt. Diese ist auch der einzige limitierende Faktor für die Verarbeitung von mehreren Ereignissen in einem Kanal (multihit capability). Der Ereignisspeicher (Hit Buffer) beträgt 16 Ereignisse (Hits) mit 16 Bit pro Kanal im Acht-Kanal-Modus.

Mit Hilfe der TDCs soll auch die Flugzeit der Neutronen bestimmt werden. Das Prinzip dieser Flugzeitmessungen ist im oberen Teil der Abbildung 6.3 veranschaulicht. Das Startsignal für die Flugzeitmessung wird im HMI von einem sog. Chopper abgeleitet und das dazugehörige Stoppsignal ist das Startsignal des Mikrostreifendetektorsegments, das das Neutron nachweist. Am HMI sind typische Neutronenflugzeiten im Bereich von 1 – 40 ms. Der TDC hat aber nur einen programmierbaren Zeitbereich von max.  $T_R \approx 7.6 \mu\text{s}$ . Um den Zeitmeßbereich in den Bereich von ms zu erweitern, wird ein zusätzlicher Intervallzähler (Prescaler) verwendet. Dieser Prescaler wird durch einen 40 MHz Generator gesteuert, der gleichzeitig die Zeitmessung im TDC synchronisiert. Der Prescaler zählt, wie oft der Zeitbereich des TDCs durchlaufen wird. Die Flugzeit der Neutronen ergibt sich somit aus der Anzahl  $k$  der TDC-Zeitbereiche  $T_R$  plus der Zeit  $T_s$  im aktuellen TDC-Zeitbereich, in dem das Neutronensignal gemessen wird. Für die Flugzeit des  $n$ -ten Neutrons ergibt sich also die Gleichung:

$$T_k(n) = k \cdot T_R + T_s(n)$$

Da die Zeitmessung im TDC bei dem verwendeten Modus mit einer Genauigkeit von 120 ps erfolgt, hängt die Flugzeitauflösung des Detektorsystems von der  $^{157}\text{Gd}$ -Konverterdicke ab. Bei thermischen Neutronen und einer Schichtdicke von insgesamt  $3\ \mu\text{m}$  für die beiden Gd-Schichten, die durch eine  $6\ \mu\text{m}$  dicke Trägerfolie getrennt sind, ergibt sich eine Zeitauflösung von weniger als 4 ns FWHM (vgl. Abschnitt 3.1.3).

### 6.3.2 Umrechnung der Daten mit dem DSP

Die von den TDCs und dem Prescaler erzeugten digitalen Zeitsignale werden an den DSP weitergeleitet. Dieser hat die Aufgabe, die gemessenen Zeiten dem richtigen Ereignis zuzuordnen und dann aus diesen den Ort des Neutroneneinfangs zu berechnen. Sofern es sich um einen gepulsten Neutronenstrahl handelt, wird vom DSP die Flugzeit der Neutronen bestimmt. Der Vorteil dieses neuen DSPs besteht einerseits in seiner Schnelligkeit und andererseits kann 70% seiner Leistungsfähigkeit bereits mit Compiler-optimierten C-Programmen erreicht werden. Dadurch können vorhandene Programmstrukturen verwendet werden, und es ist leicht möglich, die Programme an neue Experimentanforderungen anzupassen.

Im DSP werden durch Auswertung der Gleichungen 6.1 die zu einem Ereignis gehörenden Signale identifiziert. Aus den gemessenen Zeitdifferenzen zwischen Start- und Stoppsignalen wird der Ort des Neutroneneinfangs bestimmt. Diese Ortsbestimmung erfolgt durch Vergleich der gemessenen Werte mit denen aus der Eichung. Falls die Position des Neutroneneinfangs auf beiden Seiten der Konverterfolie detektiert wurde, werden die gemessenen Positionen vom DSP zu einem einzigen Ort zusammengefaßt.

Es kann für den Experimentator hilfreich sein, wenn die gemessenen Orte und Flugzeiten während der Datenaufnahme in Streuwinkel oder Energie- und Impulstransfer umgerechnet werden. Diese Transformationen werden ebenfalls vom DSP "online" vorgenommen. Schließlich werden die sortierten Daten auf der Festplatte gespeichert. Auf diese kann die CPU des PCs zugreifen und die vom Experimentator gewünschten zweidimensionalen Spektren auf dem Monitor darstellen.

Da ein enormer Rechenaufwand zu leisten ist, wird der derzeit für diese Anwendung schnellste DSP auf dem Markt verwendet (TMS320C6701 von Texas Instruments). Dieser ist in der Lage  $10^9$  Gleitkommaoperationen pro Sekunde auszuführen (1 GFLOPs). Bis zum Jahre 2002 soll von Texas Instruments ein DSP folgen, der  $3 \cdot 10^9$  Gleitkommaoperationen pro Sekunde ausführen kann. Da dieser Nachfolgetyp in Beschaltung (Pin-Ausführung) und Programmstruktur (C-Code) mit dem jetzigen DSP identisch sein wird, kann bei Bedarf der neue Typ ohne weitere Änderungen verwendet werden.

Zum Schluß soll noch die Ursache für mögliche Totzeiten und deren Bestimmung betrachtet werden.

### 6.3.3 Bestimmung der Totzeit

Unter Totzeit werden solche Zeiten verstanden, in denen zwar Ereignisse vom Detektor gemessen, aber vom Datenaufnahmesystem nicht verarbeitet werden konnten. Ein Beispiel für einen solchen Fall ist das Ereignis Nummer 3 in Abbildung 6.3. Dieses dritte Ereignis hat kurz vor dem Ende des Zeitbereiches  $T_R$  des TDCs stattgefunden. Der TDC registriert zwar noch das Startsignal und ein Stoppsignal dieses Ereignisses, die restlichen Stoppsignale gehen aber durch das Rücksetzen des TDCs verloren. Daher kann auch im DSP nicht der Ort für dieses dritte Ereignis bestimmt werden.

Es ist notwendig, die Häufigkeit eines solchen Ereignisverlustes zu messen. Dazu befinden sich noch zwei weitere Zähler auf jeder PC-Karte. Beide bestimmen die Anzahl aller Startsignale. Der eine Zähler mißt die integrale Totzeit durch Vergleich der Zahl der Startsignale mit der vom DSP gespeicherten Ereignisanzahl. Daraus wird die Zahl der nicht verarbeiteten

Ereignisse bestimmt. Der zweite Zähler ist für Experimente mit Flugzeitmessung notwendig und ist im oberen Teil von Abbildung 6.3 veranschaulicht (Differential Dead Time, Diff. DT). Mit ihm wird ebenfalls die Zahl der Startsignale gemessen. Er wird aber nach Beendigung eines Flugzeitzyklus ausgelesen und zurückgesetzt. Auf diese Weise kann die differentielle Totzeit in Abhängigkeit von der Zählrate innerhalb des Flugzeitzyklus bestimmt werden.

