

**Entwicklung schneller Elektronik
für das
HADES - Flugzeitsystem**

DIPLOMARBEIT VON CARSTEN LICHTBLAU
aus Reiskirchen, OT. Saasen

II. Physikalisches Institut
der Justus-Liebig-Universität Gießen

24. Juni 1999

Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurde eine schnelle Elektronik zur Diskriminierung und Verteilung der HADES¹ Start- und Vetodetektorsignale entwickelt. Der Startdetektor dient zur Festlegung des Zeitnullpunktes für die Flugzeitmessung der Teilchen. Zweck der Flugzeitmessung ist eine Identifizierung der Teilchen, wobei die gesamte Flugzeitmessung eine gute Zeitauflösung besitzen muß, um Elektronen von Protonen und Pionen hinreichend gut trennen zu können. Der Vetodetektor dient zur Registrierung aller Ereignisse bei dem die Strahlteilchen keine Reaktion mit dem Target hatten.

Da die Startdetektor-Signale direkt in die Zeitauflösung der Flugzeitmessung eingehen, sollte die gesamte Zeitauflösung von Startdetektor und Elektronik nicht größer als 60 ps sein. Weitere Anforderungen an die Elektronik ergeben sich durch die für Start- und Vetodetektor verwendeten Diamant-Detektoren. Diese erzeugen Signale mit Anstiegszeiten von 200 ps bis 500 ps und Signalbreiten von etwa 1 ns (FWHM). Hinzu kommen hohe Strahlintensitäten von bis zu 10^8 Teilchen/s.

Um die Auswirkungen des Diskriminatortyps auf die Zeitauflösung zu untersuchen, wurde zunächst ein aus schnellen ECL-Komponenten bestehendes VME²-Modul mit „Leading-Edge“-Diskriminatoren entwickelt, welches nach Messungen obige Anforderungen voll erfüllt. Um realistische Signale für Messungen verwenden zu können, wurde ein Testsystem zur Erzeugung von Diamant-Detektorsignalen mit α -Teilchen entwickelt. Auf Basis der Erkenntnisse mit dem Diskriminatoremodul wurde die Startdetektorelektronik (SDE) entwickelt, deren Aufgabe die koinzidente Kombination der diskriminierten Start- und Vetodetektorsignalen und anschließende Erzeugung des Startsignals ist. Hierbei wurden sowohl ECL-Komponenten, als auch Lattice CPLDs zur Kombination von Start und Veto verwandt. Zwecks kurzer Signallaufzeiten, wurden alle Leiterbahnen vollständig per Hand verlegt.

¹High Acceptance Di Electron Spectrometer

²Versa Module Eurocard

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Motivation	1
2	Das HADES-Spektrometer	7
2.1	Das Detektorsystem im Überblick	7
2.2	Die Detektorkomponenten	9
2.2.1	Start- und Vetodetektor	9
2.2.2	Der Magnet	10
2.2.3	Der RICH	12
2.2.4	Die Minidriftkammern	13
2.2.5	META	13
2.3	Der HADES-Trigger	16
3	Diamant-Startdetektoren	19
3.1	Eigenschaften von Diamant-Detektoren	19
3.2	Der HADES Diamant-Startdetektor	21
3.3	Messungen mit Diamant-Detektoren	22
4	Das SDE-Diskriminatoremodul	27
4.1	Entwicklung des SDE-Diskriminatoremoduls	28
4.1.1	Wahl des Diskriminatortypes	30
4.1.2	Designregeln bei ECL-Komponenten	30
4.2	Testsystem zum Erzeugen von Diamant-Detektor-Signalen	32
4.3	Messungen mit dem SDE-Diskriminatoremodul	34
4.3.1	Messung der Eingangsreflexions-Dämpfung	34
4.3.2	Messungen mit α -Teilchen	34

4.3.3	Messungen zur Zeitauflösung	37
5	Design der Startdetektorelektronik	39
5.1	Anforderungen und Aufgabenstellung	39
5.2	Konzeptionelles Design	41
5.3	Umsetzung des Konzeptes	44
5.3.1	Berechnung des notwendigen Delays	44
5.3.2	Aufbau der Haupt-Platine	45
5.3.3	Die Aufsteck-Platine	46
6	Ausblick	47
A	Schaltpläne der SDE	49

Kapitel 1

Einleitung und Motivation

Das HADES-Spektrometer [Kol94] wird derzeit an der Gesellschaft für Schwerionenforschung (GSI) in Darmstadt aufgebaut. HADES steht hierbei für **H**igh-**A**cceptance **D**i-**E**lectron **S**pectrometer. Die breitgefächerten physikalischen Ziele der HADES Kollaboration umfassen dabei sowohl die Bestimmung der invarianten Massen von in Schwerionenkollisionen erzeugten e^+e^- Paaren, als auch die Untersuchung elektromagnetischer Formfaktoren von Baryonen und Mesonen, z.T. mit Unterstützung des Photonendetektors TAPS (**T**wo **A**rm **P**hoton **S**pectrometer). Diese Einleitung soll dazu dienen, den physikalischen Hintergrund von HADES zu beleuchten, sowie die zentralen Anforderungen an das HADES- Spektrometer zu erläutern.

Normale Kernmaterie hat eine Dichte von $\rho_0 = 0,17 fm^{-3}$. Bei Schwerionenstößen der Beschleunigeranlage der GSI, dem SIS (**S**chwerionen**S**ynchrotron), kann man das 2-3 fache normaler Kernmateriedichte, bei Temperaturen von $T \approx 80 MeV$, für eine Zeit von ca. $10 fm/c$ ($\approx 3,3 \cdot 10^{-23} s$) erzeugen.

Interessiert man sich jetzt für die Eigenschaften der Hadronen wie Masse und Lebensdauer im hadronischen Medium, so bieten sich Leptonen, die innerhalb dieser heißen Zone erzeugt werden, als Sonden an. Diese können ungestört von der starken Wechselwirkung Informationen nach draußen tragen. Im Speziellen bieten sich die Zerfallskanäle der leichten Vektormesonen ρ, ω und ϕ an. Der Vorteil liegt hierbei in der kurzen Lebensdauer der Mesonen (siehe Tabelle 1.1) , wodurch ein Zerfall mit hoher Wahrscheinlichkeit noch innerhalb des hadronischen Mediums stattfindet. Über die Di-leptonenpaare ist dann eine Rekonstruktion der invarianten Massen und der Breiten der Vektormesonen möglich.

Meson	Masse [MeV/c ²]	Breite [MeV/c ²]	Lebensdauer [fm/c]	Dominanter Zerfall	Verzweigungsverhältnis $e^+e^-/hadr.$ Zerfälle
ρ	768	152	1.3	$\pi\pi$	$4.4 \cdot 10^{-5}$
ω	782	8.43	23.4	$\pi^+\pi^-\pi^0$	$7.2 \cdot 10^{-5}$
ϕ	1019	4.43	44.4	K^+K^-	$3.1 \cdot 10^{-4}$

Tabelle 1.1: *Fundamentale Eigenschaften leichter Vektormesonen [Cas98]*

Für HADES bietet sich hierbei zunächst nur das ρ -Meson mit seiner sehr kurzen Lebensdauer von ca. $1,3\text{fm}/c$ an, da alle anderen Mesonen eine zu große Lebensdauer besitzen (gemessen an der Lebensdauer der hadronischen Phase). Erzeugt man allerdings die ω -Mesonen rückstoßfrei, so kommen auch sie für Experimente in Frage. Dies ist ebenfalls für HADES geplant, unter Nutzung des an der GSI zur Verfügung stehenden Pionenstrahls.

Experimente zur Untersuchung von Hadronen bei großen Baryonendichten wurden bereits mit dem DLS (**D**i-**L**epton **S**pectrometer) [Por97] am BEVALAC (Berkley, USA) und mit CERES [Len98] am CERN in Genf gemacht. Die hierbei erhaltenen Meßwerte konnten mit den damals existierenden Theorien nicht vollständig erklärt werden. So sieht man beispielsweise in Abbildung 1.1, daß die CERES Daten bei p-Au-Stöße recht gut durch die Theorie beschrieben werden, wohingegen bei schwereren Systemen wie S-Au die Datenpunkte nicht mehr mit den theoretischen Werten [Len98] übereinstimmen, da die Zählrate bei kleineren invarianten Massen zunimmt.

Zu dieser Problematik existiert eine Vielzahl teilweise widersprüchlicher theoretischer Modelle (z.B. [Asa92] und [Her93]), mit denen man den Dileptonenüberschuß zu erklären versuchte. In Abbildung 1.2 sieht man hierzu eine neuere Rechnung [Wei94] basierend auf dem Nambu-Jona-Lasinio Modell.

Bei zunehmender Temperatur und Dichte sagt dieses Modell eine Abnahme vom Absolutbetrag des chiralen Kondensats $\langle q\bar{q} \rangle$ voraus, was bei $\langle q\bar{q} \rangle = 0$ genau der vollständigen Restauration der chiralen Symmetrie entsprechen würde. Eine teilweise Wiederherstellung der chiralen Symmetrie führt wiederum dazu, daß die Masse der Konstituentenquarks und somit die der Mesonen abgesenkt wird.

Auch neuere Experimente geben Hinweise, die diese Theorie bekräftigen. So stimmen beispielsweise die gemessenen K^+K^- Produktionswahrscheinlichkeiten in

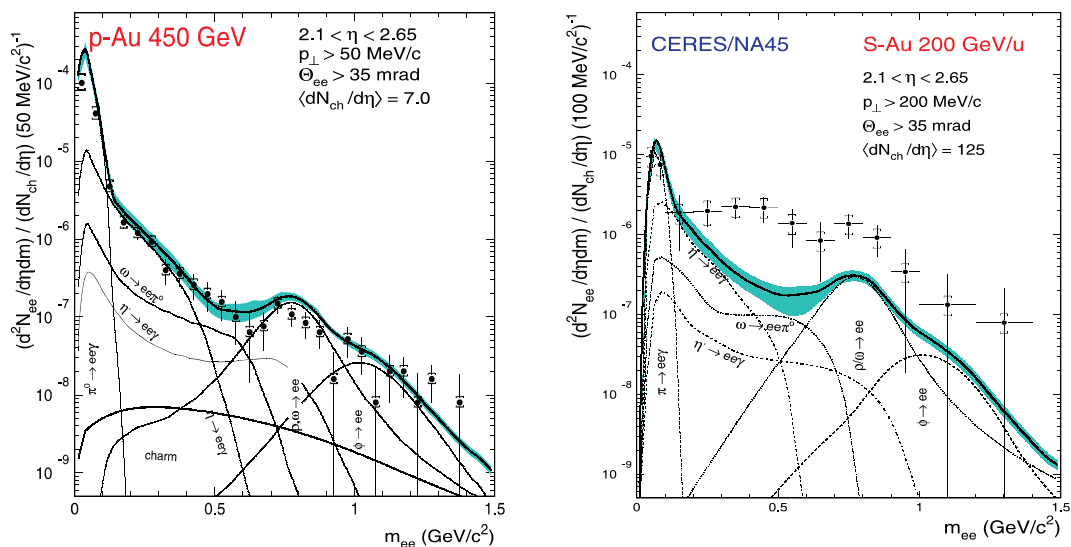


Abbildung 1.1: Ergebnisse vom CERES Experiment am CERN. Das linke Bild zeigt die Ergebnisse von p-Au-Stößen, das rechte Bild die von S-Au-Stößen. Wie man sieht, weichen die Messwerte des schwereren Systems deutlich von den theoretischen Vorhersagen ab [Len98].

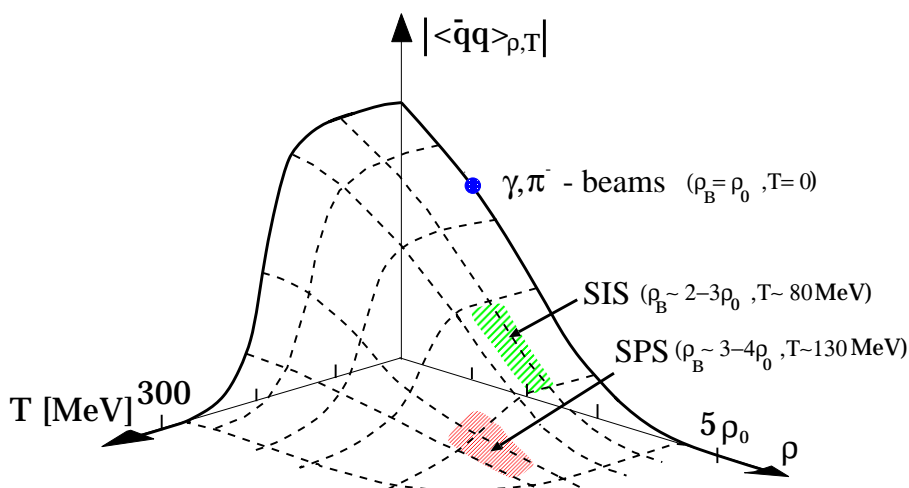


Abbildung 1.2: Modellrechnungen zum Erwartungswert des chiralen Kondensates in Abhängigkeit von Temperatur und Baryonendichte nach Nambu-Jona-Lassinio [Wei94]. Die schraffierten Flächen zeigen die am SIS, bzw. SPS zugänglichen Regionen.

Proton-Proton-Experimenten [Bal99] mit den theoretischen Vorhersagen [Sib97] überein (siehe Abbildung 1.3a). Bei Messungen in Schwerionen-Experimenten [Lau99] zeigt sich jedoch eine dramatische Erhöhung der K^- Produktionswahrscheinlichkeiten.

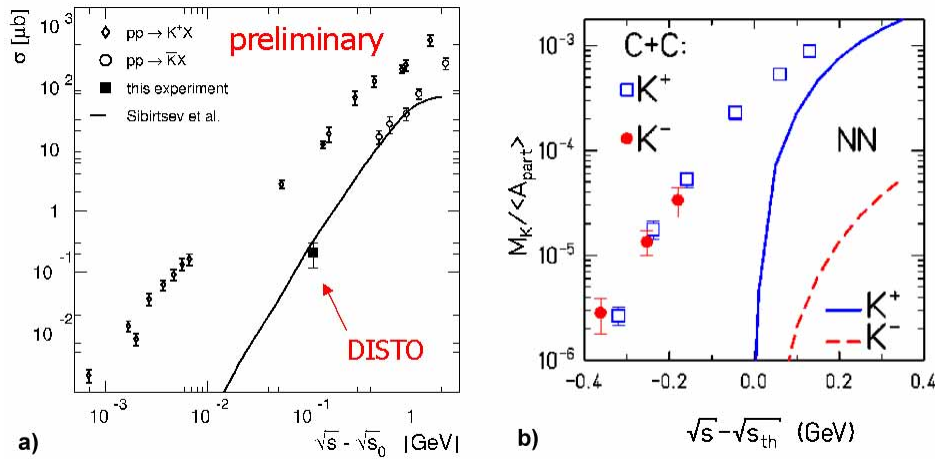


Abbildung 1.3: Experimente zur Produktion seltsamer Teilchen. Unter a) sieht man die in p - p -Experimenten gemessenen K^+K^- Wirkungsquerschnitte und den theoretischen Wirkungsquerschnitt von K^- [Sib97], der gut mit den Messwerten übereinstimmt. Unter b) sieht man die gemessene Produktionswahrscheinlichkeiten von K^+K^- in Schwerionen-Experimenten [Lau99], die für K^- wesentlich höher als erwartet sind.

Eine mögliche Erklärung ist das Absenken der K^- -Masse in dichter Kernmaterie, wodurch bei gleicher verfügbarer Energie mehr K -Mesonen produziert werden könnten. Hierzu existieren Modellrechnungen [Sch97] (siehe Abbildung 1.4) die bei zunehmender Kernmateriedichte eine Absenkung der K^- -Masse bei gleichzeitiger Zunahme der K^+ -Masse vorhersagen. Legt man diese Modellrechnungen zu Grunde, ergibt sich eine gute Übereinstimmung der theoretischen- und der gemessenen Produktionswahrscheinlichkeiten.

Die Frage bleibt allerdings, ob diese Massenabsenkung auf eine teilweise Wiederherstellung der chiralen Symmetrie zurückzuführen ist.

Zur Klärung dieser Fragestellung wurde das HADES-Spektrometer als „Experiment der zweiten Generation“ konzipiert. Im Unterschied zu den Experimenten der ersten Generation, wie das bereits erwähnte DLS, besitzt HADES eine höhere Massenauflösung und Akzeptanz, sowie eine hohe Untergrundunterdrückung. Geplant ist eine Massen-

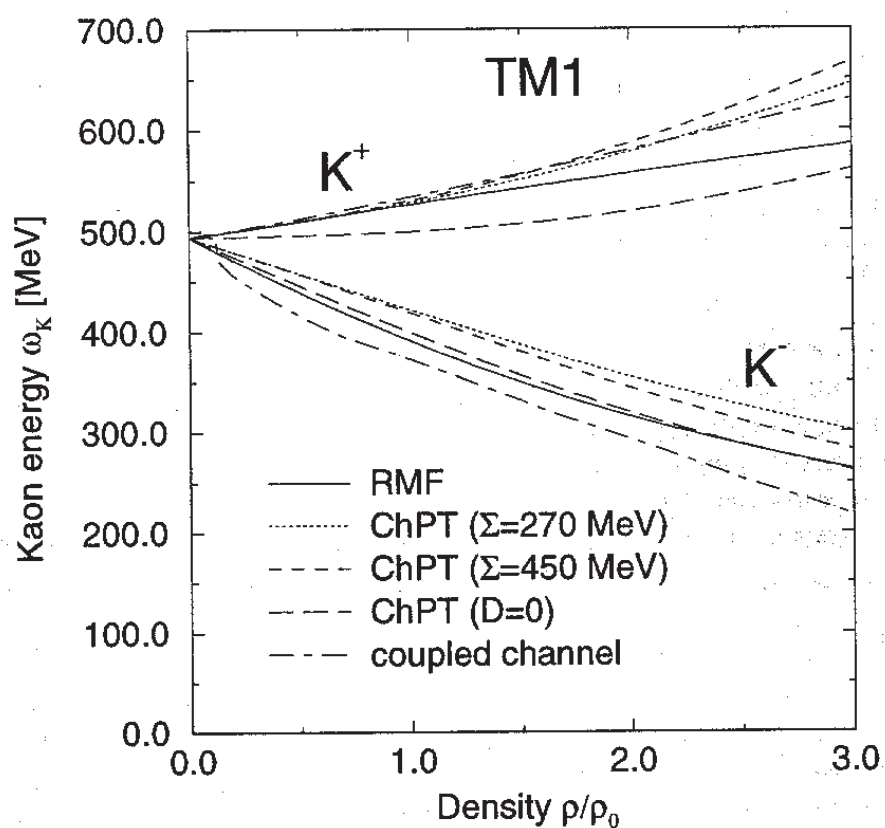


Abbildung 1.4: Modellrechnung zur Absenkung der K^- -Masse in dichter Kernmaterie [Sch97]. Aufgetragen ist die Ruheenergie der Kaonen in Abhängigkeit der Kernmateriedichte in Einheiten von ρ_0 . Wie man sieht, nimmt bei zunehmender Kernmateriedichte die K^- -Masse ab, wohingegen die K^+ -Masse zunimmt. Die Summe der K^+K^- -Massen nimmt jedoch bei zunehmender Kernmateriedichte ab.

auflösung von unter 1% und eine Akzeptanz von ca. 40% (zum Vergleich: DLS besaß 1983-1993 nur eine Massenauflösung von 12% und eine Akzeptanz von ca. 1%). Die hohe Massenauflösung ist erforderlich, um später im Massenspektrum ρ - und ω - Mesonen eindeutig voneinander trennen zu können.

In Abbildung 1.5 sieht man hierzu die mit Monte-Carlo-Simulationen [Sch95] untersuchten Eigenschaften von HADES bei zentralen Au-Au-Stößen bei 1 AGeV.

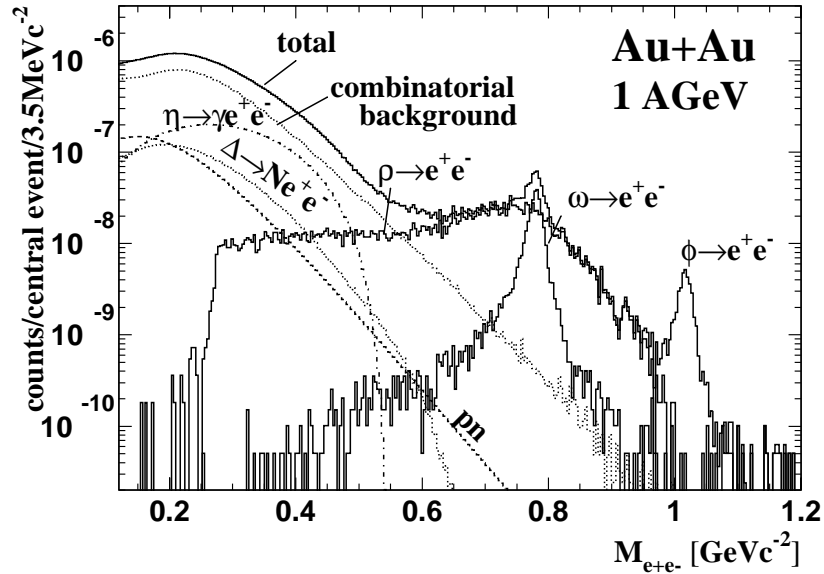


Abbildung 1.5: *Simuliertes Dileptonenspektrum für zentrale Au+Au-Kollisionen bei 1 AGeV. Wie man sieht, wird das Spektrum unterhalb von $500 \text{ MeV}/c^2$ hauptsächlich von den η und Δ -Dalitz-Zerfällen, sowie von der pn -Bremsstrahlung dominiert. Oberhalb von $500 \text{ MeV}/c^2$ hingegen dominieren die dileptonischen Zerfallskanäle der leichten Vektormesonen ρ , ω , ϕ .*

Kapitel 2

Das HADES-Spektrometer

2.1 Das Detektorsystem im Überblick

Das HADES-Spektrometer besteht aus mehreren Detektorkomponenten, die symmetrisch um die Strahlachse angeordnet sind (siehe Abbildung 2.1). Jede Detektorkomponente ist dabei in 6 Segmente unterteilt, wobei jedes Segment 60° des Azimut-Winkels abdeckt. Durch eine konusförmige Anordnung der einzelnen Detektorkomponenten erreicht man eine Abdeckung der Polarwinkel zwischen 18° und 85° , bei voller Abdeckung des Azimutalwinkels. Berücksichtigt man weiterhin die relativistische Kinematik typischer Ereignisse (Lorentz Boost), so erreicht man eine effektive geometrische Akzeptanz von nahezu 2π .

Um nun die in Kapitel 1 beschriebenen Dileptonenmassen bestimmen zu können, geht man grob gesprochen folgendermaßen vor: Um bei der Vielzahl der am Target entstehenden Teilchen selektiv auf zu untersuchenden Teilchen zu sein, verwendet man zunächst die Detektorkomponenten RICH und META zur Teilchenidentifikation. Mittels der vor und hinter dem supraleitenden Magneten befindlichen MDC's ist es möglich, durch Rekonstruktion der Teilchenbahnen (sogenanntes Tracking), die Impulse der geladenen Teilchen zu bestimmen. Zur weiteren Teilchenidentifizierung sind weiter außerhalb noch die Detektorkomponenten TOF und SHOWER vorhanden. Im folgenden sollen die einzelnen Detektorkomponenten kurz vorgestellt werden.

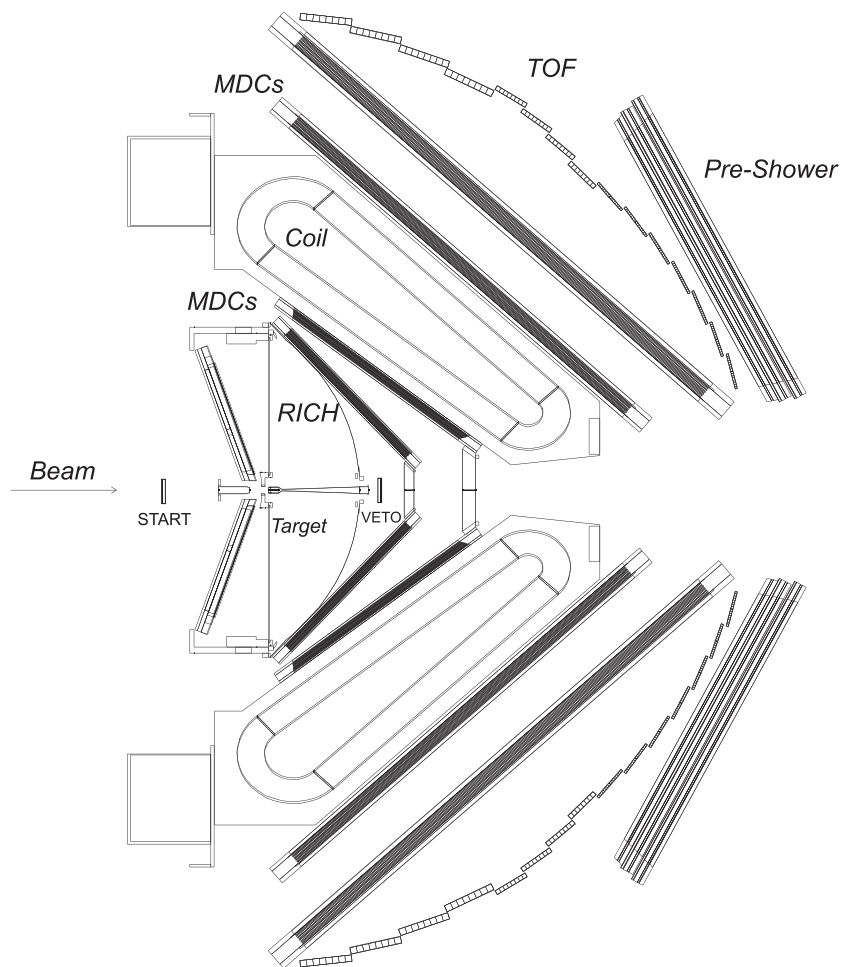


Abbildung 2.1: Das HADES Detektorsystem im Schnitt entlang der Strahlachse (Beam). Der von links kommende Strahl durchläuft zunächst den Start-Detektor (START), bevor er auf das Target trifft. Es folgt der RICH-Detektor im Zentrum des Aufbaus für eine erste Leptonenidentifizierung, sowie der Veto-Detektor (VETO) zur Unterdrückung von Strahlteilchen, die keine Reaktion mit dem Target hatten. Dahinter befinden sich je zwei Lagen Mini-Drift-Kammern (MDCs) vor und hinter des supraleitenden Magneten (Coil) zur Impulsbestimmung. Weiter außerhalb befinden sich die aus schnellen Plastiksintillatoren bestehende Flugzeitwand (TOF) und unter kleineren Polarwinkeln zusätzlich der SHOWER-Detektor. Beide dienen zur Identifizierung von Teilchen.

2.2 Die Detektorkomponenten

2.2.1 Start- und Vetodetektor

Die Aufgabe des HADES Startdetektors liegt darin, jedes Strahlteilchen nachzuweisen, welches eine Reaktion mit dem Target hatte, um daraus den Zeitnullpunkt für die Flugzeitmessung zu bestimmen. Prinzipiell gibt es zwei Möglichkeiten, dies zu realisieren:

- Man kann die Fragmente der Reaktionen von Strahlteilchen mit dem Target nachweisen und darauf triggern. Der Vorteil liegt darin, daß die Rate eines solchen Triggers nicht größer als die Reaktionsrate der Strahlteilchen ist (bei 10^8 Strahlteilchen pro Sekunde und einer 1%igen Wechselwirkung mit dem Target beispielsweise, ergibt dies eine Triggerrate von 10^6 pro Sekunde). Der Nachteil liegt zum einen darin, daß man einen solchen Detektor in der Nähe des Targets platzieren müßte, zum anderen muß ein solcher Detektor einen großen Raumwinkel abdecken und benötigt somit viel Platz in der Nähe des Targets.
- Ein „*In-Beam-Detektor*“ wird vor dem Target in den Strahl gestellt und weist die Strahlteilchen direkt nach. Er ist unabhängig vom Reaktionstyp und kann sehr kompakt gebaut werden. Dafür muß er unempfindlich gegen hohe Strahlenbelastung sein, sowie bei hohen Triggerraten arbeiten. Eine sehr kleine Wechselwirkungswahrscheinlichkeit mit den Strahlteilchen und ein sehr guter Signal-Rausch-Abstand werden ebenfalls vorausgesetzt.

Bei HADES verwendet man einen „In-Beam-Startdetektor“. Ist der Strahl so fokussiert, daß der Strahlfleck komplett auf der Detektorfläche liegt, weist der Startdetektor im Idealfall jedes ihn passierende Strahlteilchen nach.

Zum Nachweis der Strahlteilchen, die keine Reaktion mit dem Target hatten existiert der sogenannte Vetodetektor. Die Anordnung von Start- und Vetodetektor ist in Abbildung 2.2 zu sehen. Der Vetodetektor ist vom gleichen Typ wie der Startdetektor und befindet sich hinter dem Target. In einer externen Logik werden dann die Signale beider Detektoren so kombiniert, daß der Vetodetektor Signale des Startdetektors unterdrückt, sofern auch er Strahlteilchen nachgewiesen hat. Hierbei muß natürlich die Flugzeit der Strahlteilchen berücksichtigt werden. Durch den Vetodetektor wird eine Reduktion der Zählrate von 10^8 auf unter 10^7 Teilchen/s erwartet.

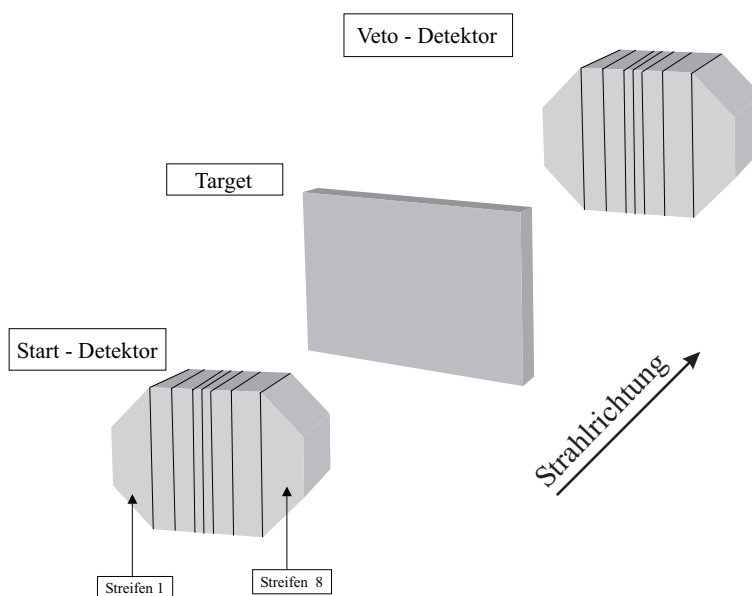


Abbildung 2.2: Anordnung des HADES Start- und Vetodetektor. Der Startdetektor befindet sich in Strahlrichtung gesehen vor dem Target, der Vetodetektor dahinter.

Die so erhaltenen Signale werden unter anderem als Startsignale für die Flugzeitmessung verwendet (siehe Kapitel 5.1).

Da Start- und Vetodetektor von zentraler Bedeutung für die vorliegende Arbeit sind, werden sie in Kapitel 3 eingehender beschrieben.

2.2.2 Der Magnet

Zentraler Bestandteil des HADES-Spektrometers ist der supraleitende Magnet mit toroidaler Geometrie, den man in Abbildung 2.3 sehen kann. Der Vorteil einer Toroidgeometrie liegt im wesentlichen darin, daß das Magnetfeld auf den Bereich zwischen den MDCs, also innerhalb des Toroids, beschränkt bleibt. Dies ist wichtig, um insbesondere die Teilchenbahnen innerhalb des RICH nicht zu beeinflussen. Um eine gute Impuls- und Massenauflösung zu erreichen, müssen die Teilchen eine große Ablenkung in polare Richtung im Magnetfeld erfahren. Das Feld darf jedoch nicht zu hoch sein, so daß auch der Nachweis niederenergetischer e^+ - und e^- -Teilchen möglich wird.

Um einen guten Kompromiß aus Impulsauflösung und Akzeptanz zu erreichen, liegt die Feldstärke bei etwa 0,5 T. Der HADES Magnet besteht dabei aus supraleitenden

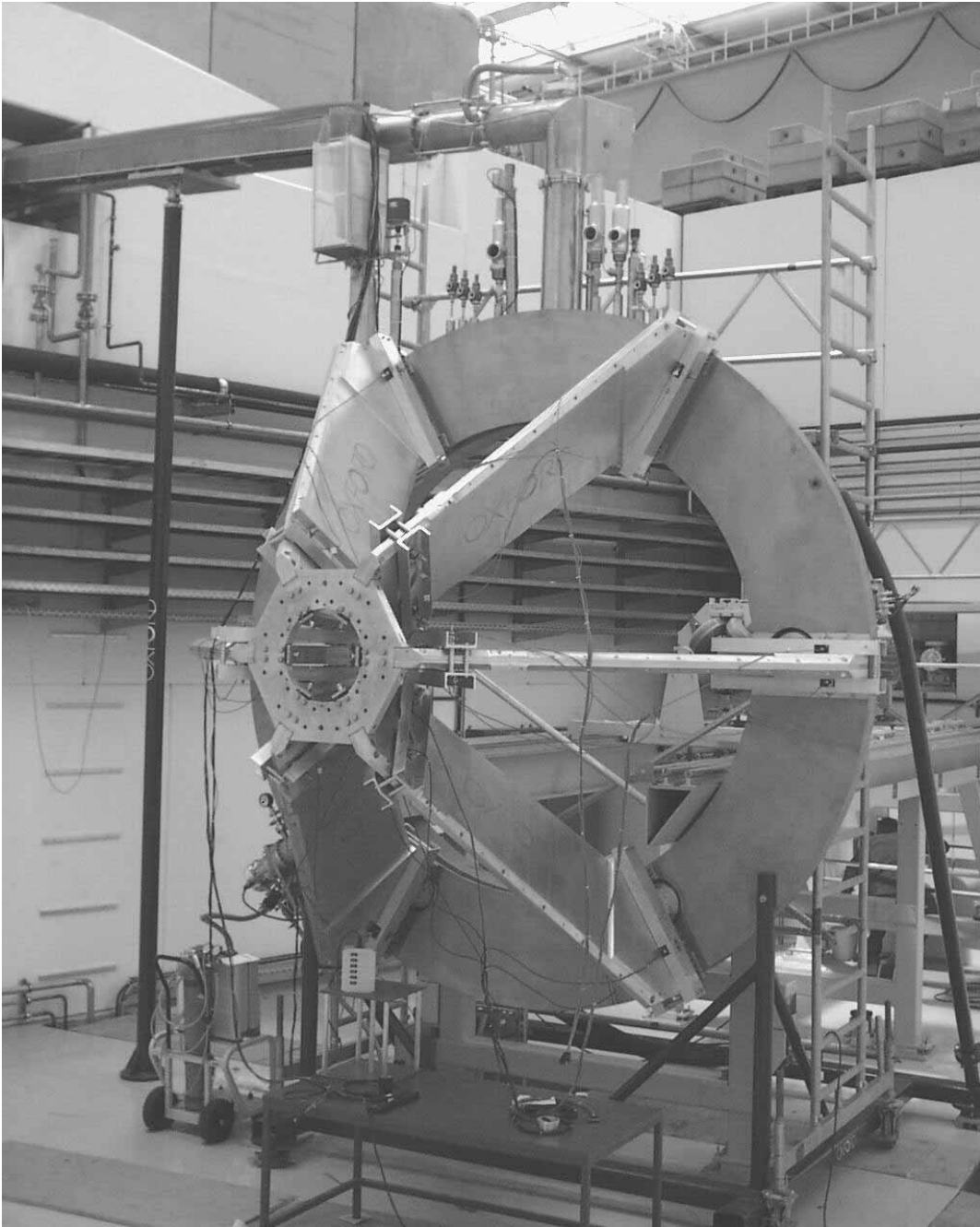


Abbildung 2.3: *Der supraleitende HADES Magnet mit toroidaler Geometrie. In Strahlrichtung gesehen zeigt das Bild die rückwertige Ansicht des Magneten, mit dem Strahlaustrittsrohr in der Mitte und der oben angebrachten Zufuhr für die Kühlung der supraleitenden Spulen.*

Spulen, um den Toroid bei dieser Feldstärke möglichst klein und kompakt bauen zu können.

2.2.3 Der RICH

Der RICH (**R**ing **I**maging **C**herenkov) Detektor dient zur Unterdrückung des auftretenden hadronischen Untergrunds (≈ 200 geladenen Teilchen pro Kollision). Er ist dabei wie folgt aufgebaut. Ein Rahmengestell umfaßt einen mit Perfluorbutan (C_4F_{10}) gefüllten Gas-Radiator, in dem sich das Target befindet. An den Rahmenenden befinden sich ein sphärischer Spiegel (strahlabwärts vom Target) und ein Photonendetektor (strahlaufwärts), welcher durch ein CaF_2 -Fenster vom Radiatorgas getrennt ist.

Durchqueren nun geladene Teilchen, mit einer Geschwindigkeit $\beta \geq \beta_{thr}$, das Radiatorgas, so wird das sogenannte Čerenkov-Licht emittiert. Hierbei ist

$$\beta_{thr} = \frac{1}{n(\omega)} = \sqrt{1 - \frac{1}{\gamma_{thr}^2}}$$

(n : Brechungsindex des Mediums; ω : Frequenz des Lichts; γ_{thr} : Lorentz-Faktor) die Phasengeschwindigkeit elektromagnetischer Felder im Medium (hier C_4F_{10}). Die Hadronenunterdrückung erfolgt nun durch den hohen Lorentz-Faktor des Radiatorgases ($\gamma_{thr} \approx 18,3$), da kein Proton und nahezu kein Pion bei SIS-Energien die nötige Schwellengeschwindigkeit überschreitet.. Wird jedoch Čerenkov-Licht emittiert, so geschieht dies unter einem geschwindigkeitsabhängigem Öffnungswinkel von

$$\cos(\theta_C) = \frac{1}{n(\omega) \cdot \beta} \quad , \quad \text{mit} \quad \beta = \frac{v}{c}$$

(rotationssymmetrisch) zur Bewegungsrichtung des Teilchens [Cer34].

Durch den in Flugrichtung der Teilchen befindlichen Spiegel, wird das erzeugte Licht fokussiert und auf den Photonendetektor geworfen, wo die Čerenkov Photonen eines Teilchens durch einen Ring ($\varnothing \sim \theta_C$) auf den Detektorpads abgebildet werden. Abbildungsfehler des Spiegels werden durch eine positionsabhängige Anpassung der Detektorpads weitgehend kompensiert. Vereinfachend kommt hinzu, daß man lediglich Elektronen und Positronen im RICH detektieren will. Sie bewegen sich mit ultrarelativistischer Geschwindigkeit ($v \approx c$), wodurch man aufgrund des sich dann ergebenden Čerenkov-Winkel θ_C nur nach Ringen mit einem konstanten Durchmesser suchen muß.

2.2.4 Die Minidriftkammern

Jeweils zwei Ebenen MDCs (**M**ini **D**rift **C**hamber) befinden sich vor und hinter dem Magnetfeld der supraleitenden Magnetspulen. Mit Hilfe der MDCs können die Teilchenbahnen zwischen den MDC Ebenen rekonstruiert werden und mit der bekannten Feldstärke des Magnetfeldes die Teilchenimpulse bestimmt werden. Daraus kann man wiederum die invariante Masse der ρ -Mesonen bestimmen [Sch95]:

$$m_{inv} \simeq 2 \sin\left(\frac{\alpha_{e^+e^-}}{2}\right) \sqrt{p_{e^+} p_{e^-}}$$

($\alpha_{e^+e^-}$ ist der Winkel unter dem das (e^+e^-) -Paar auseinanderfliegt)

Zwecks guter Ortsauflösung besteht jede MDC Ebene aus 6 hintereinanderliegenden und gegeneinander verdrehten Driftkammern mit einem an die Teilchenmultiplizität angepaßten Drahtabstand. Durch die Drahtebenen ergibt sich so eine Redundanz, um zu verhindern, daß Informationen durch Doppeltreffer in einer Zelle verlorengehen. Treffen nämlich zur gleichen Zeit zwei Teilchen einen Draht, so sind diese Ereignisse nicht mehr zu trennen. Mit diesen Maßnahmen erreicht man in den MDCs eine maximale Ortsauflösung von $80 \mu m$, wodurch man bei der Impulsbestimmung und damit auch bei der Massenbestimmung die geforderte Genauigkeit von 1% erreicht.

2.2.5 META

Unter META (**M**ultiplicity **E**lectron **T**rigger **A**rray) versteht man die Kombination aus Flugzeitwand (TOF) und Schauerdetektor (SHOWER). META ermöglicht eine weitere Möglichkeit zur Leptonenidentifizierung. Bei großen Polarwinkeln geschieht dies mittels Flugzeitmessung (TOF), bei Polarwinkeln unter 45° jedoch ist aufgrund des Lorentz-Boosts keine eindeutige Trennung von Hadronen und Elektronen mehr möglich. Der TOF dient weiterhin zur Erzeugung des *First Level Triggers*. Dies geschieht mittels der sogenannten MTU (**M**ultiplicity **T**rigger **U**nit), die anhand bestimmter Teilchenmultiplizitäten im TOF *First Level Trigger* Entscheidungen generiert (siehe Kapitel 2.3).

Zu diesem Zweck besteht die HADES Flugzeitwand (TOF) aus insgesamt 1056 einzelnen Plastikszintillatoren (BC408) verschiedener Größe, die hexagonal und symmetrisch um die Strahlachse angeordnet sind. Die Szintillatoren werden an beiden Enden über Lichtwellenleiter mit Photomultipliern ausgelesen, wodurch eine Ortsbestimmung

des Teilchens im Szintillator möglich wird. Um Elektronen von Pionen und Protonen bei einer durchschnittlichen Flugstrecke von 2 Metern hinreichend gut unterscheiden zu können, benötigt der TOF-Detektor eine sehr gute Zeitauflösung. Simulationen des TOF [Bok97] zeigen, daß bei einer Zeitauflösung von 100 ps Elektronen von Pionen mit bis zu 0,5 GeV/c und von Protonen mit bis zu 2 GeV/c, unterschieden werden können (siehe Abbildung 2.4).

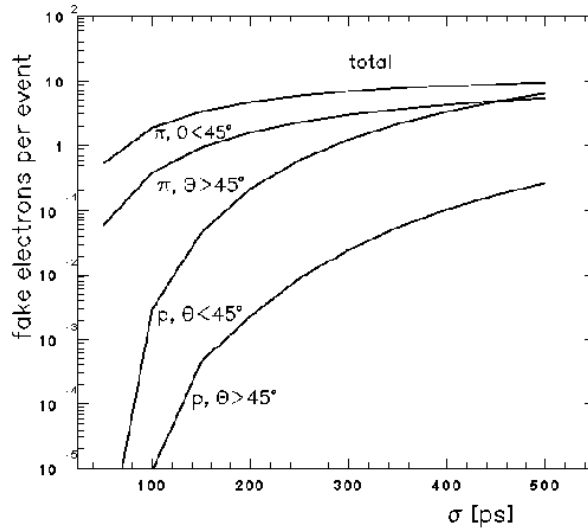


Abbildung 2.4: *Simulation des TOF, basierend auf einem BUU-Modell zur Teilchenerzeugung [Bok97]. Aufgetragen ist die erwartete Anzahl der falsch erkannten Elektronen pro Ereignis in 1 AGeV Au+Au-Kollisionen, als Funktion der Zeitauflösung. Die Verteilungen für Protonen und Pionen sind getrennt aufgeführt.*

Messungen am TOF-Detektor [HAD98], mit verschiedenen Photomultipliern zeigen, daß die gewünschte Zeitauflösung erreicht wird (siehe Abbildung 2.5).

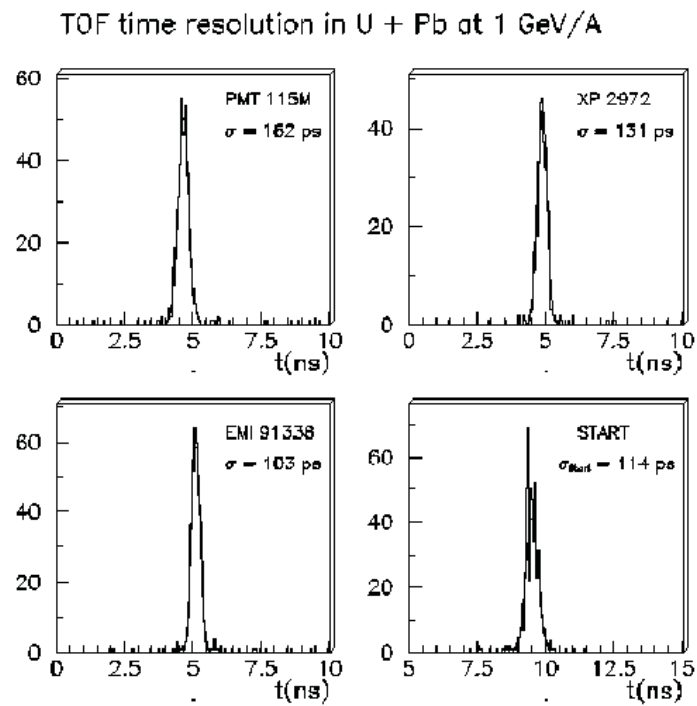


Abbildung 2.5: Messungen der Zeitauflösung eines 2,3 Meter langen Plastikszintillators mit verschiedene Photomultipliern.

2.3 Der HADES-Trigger

Die Funktionsweise des Shower-Detektors basiert auf der Eigenschaft, daß geladene Teilchen beim Abstoppen in Materie Bremsstrahlung emittieren. Da die Strahlungsintensität umgekehrt proportional zur quadratischen Teilchenmasse ist, kann man die Anteile für Protonen und Pionen vernachlässigen und kann Elektronen anhand der im Schauer entstehenden Teilchen identifizieren. Zu diesem Zweck besteht der Shower Detektor aus drei Vieldrahtkammern mit jeweils einem Bleikonverter zwischen den hintereinander angeordneten Vieldrahtkammern. Eine Drahtebene besteht aus 32×32 Pads, die jeweils individuell ausgelesen werden können. Bei insgesamt drei Ebenen und 6 Segmenten ergibt das eine Gesamtzahl von 18432 auszulesenden Pads. Die e^\pm -Identifizierung erfolgt jetzt durch einen Vergleich der integrierten Ladung in den beiden hinteren Drahtkammern mit der in der ersten Kammer gemessenen Ladung. Damit die von durchfliegende Teilchen erzeugten Ladungsmengen unabhängig von deren Energieverlust im Detektor sind, wird die Drahtkammer im sogenannten **Self Quenching Streamer Mode** (SQS-Mode) betrieben. Zu den oben beschriebenen Anforderungen an das HADES-Spektrometer kommt hinzu, daß bei einer Strahlintensität von 10^8 pps (Teilchen pro Sekunde) ca. 3 GByte/s an Detektordaten anfallen würden. Eine Speicherung der Daten ist heutzutage zwar theoretisch technisch realisierbar, jedoch in anbetracht langer Meßzeiten für eine genügend gute Statistik praktisch unmöglich. Für HADES wurde deswegen der Ansatz gewählt, die während des Experiments anfallenden Daten in drei Triggerstufen online zu reduzieren, um dann die so gewonnenen Daten auf Band schreiben zu können.

Der physikalische Hintergrund von HADES bietet sich bei diesem Konzept hervorragend an, da man bei 10^8 pps und einem Target mit 1% Wechslewirkungslänge im Mittel nur 0,1 Dileptonen mit $m_{inv} > 500 \text{ MeV}/c^2$ erzeugt. Die Gründe dafür liegen zum einen daran, daß bei 10^6 Stößen pro Sekunde (bei 10^8 pps) nur etwa jeder zehnte Stoß zentral ist, zum anderen sind die dileptonischen Zerfallskanäle um den Faktor α^2 ($\alpha \approx 1/137$) unterdrückt. (Zentrale Stöße tragen den größten Anteil an der Produktion der gesuchten leichten Vektormesonen.) Einen schematischen Überblick des HADES Triggersystems ist in Abbildung 2.6 dargestellt.

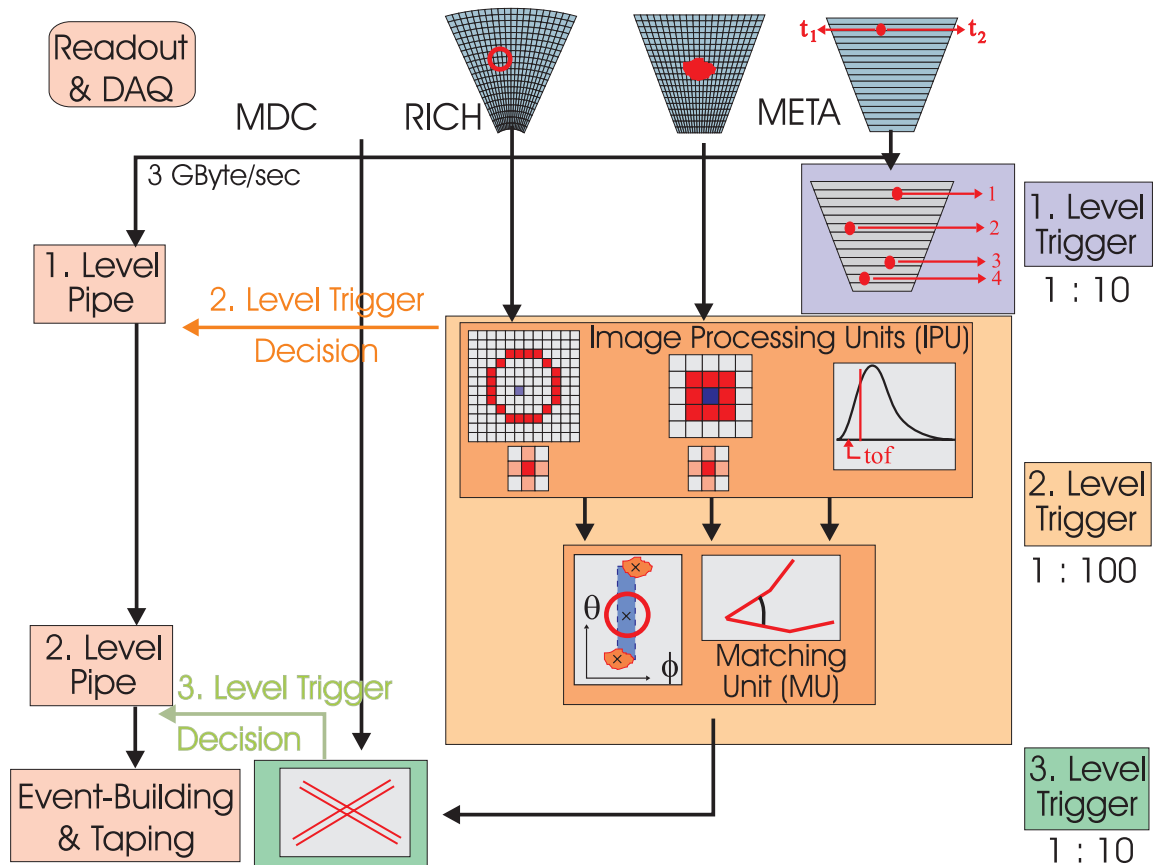


Abbildung 2.6: Das HADES Trigger System im Überblick: Vorgesehen sind drei Trigger Stufen, wovon zur Zeit zwei realisiert sind. Der erste Stufe-Trigger beruht auf der Messung von Teilchenmultiplizitäten im TOF mittels der MTU und reduziert die Detektordaten im Verhältnis 1:10. Den größten Anteil, mit einer Datenreduktion von 1:100, hat der zweite Stufe-Trigger, welcher zusätzlich die Informationen des RICH und des SHOWER mit Hilfe der verschiedenen IPU's (Image Processing Units und der Matching Unit kombiniert. Die so reduzierten Daten werden anschließend auf Band geschrieben.

Die einzelnen Triggerstufen setzen sich dabei wie folgt zusammen:

- *Erste Trigger-Stufe:* Sie dient der Selektion zentraler Stöße. Dies geschieht über die Multiplizität geladener Teilchen in META (genauer in den Plastikszintillatoren des TOF). Die Diskriminierung der Teilchenmultiplizitäten wird in der zur Zeit noch nicht entwickelten MTU (**M**ultiplicity **T**rigg**e**r **U**nit) stattfinden. Sie soll weiterhin aus den Signalen des Startdetektors, des TOF und der CTU den *1. Level Trigger* generieren [Kön98a].
- *Zweite Trigger-Stufe:* Hier werden Dielektronenkandidaten in RICH und META gesucht. Diese Aufgabe erfordert einen parallelen Ablauf in mehreren IPU's (**I**mage **P**rocessing **U**nit) gleichzeitig:
 - Suche nach Ringen im RICH
 - Schauererkennung im META
 - Abfrage der Zeitfenster für die Szintillatoren des META

Die Ergebnisse der IPU's werden an die Matching Unit weitergereicht, welche die für HADES relevanten e^+e^- -Paare herausfiltert.

- *Dritte Trigger-Stufe:* Eine weitere Reduktion der Daten um den Faktor 10 verspricht die Analyse der Teilchenbahnen in den Minidriftkammern. Mit einem entsprechenden Algorithmus ist es möglich, falsche Zuordnungen von Teilchenbahnen und Drahtkammertreffern, die von Konversionspaar-Ereignissen stammen, zu eliminieren.

Um die große Datenmenge mittels schneller online Analyse der Daten reduzieren zu können, ist ein massiver Einsatz paralleler Prozesse vonnöten. Zusätzlich weisen die Algorithmen der Triggerprozessoren eine pipeline-artige Struktur auf, um die Kommunikation der Trigger-IPU's untereinander zu vereinfachen.

Kapitel 3

Diamant-Startdetektoren

3.1 Eigenschaften von Diamant-Detektoren

Um an modernen Beschleunigeranlagen Teilchen bei immer höheren Strahlintensitäten direkt messen zu können, mußte man neue Detektorkonzepte entwickeln. Auf dem Anforderungskatalog für einen solchen neuen Detektor standen deshalb unter anderem: Strahlungsresistenz, hohe Zeitauflösung, guter Signal-Rausch-Abstand, sowie die Fähigkeit, hohe Teilchenraten verarbeiten zu können. Unter dieser Maßgabe wurde am CERN [rd4] das erste Mal mit Diamant als neuem Detektormaterial experimentiert, da er sich aufgrund seiner intrinsischen Eigenschaften gut für obige Anwendung eignet.

In Tabelle 3.1 [Ber98b] sind hierzu einige Eigenschaften von Diamant im Vergleich zu Silizium, als häufig benutztem Ausgangsmaterial für Halbleiterzähler, aufgeführt. Einige der Eigenschaften von Diamant sollen in folgendem kurz diskutiert werden:

- Die Bandlücke von Diamant ist mit 5,45 eV wesentlich größer als die von Silizium. Dies führt zu einer viel kleineren intrinsischen Ladungsträgerdichte, wodurch man mit Diamant prinzipbedingt sehr rauscharme Festkörperdetektoren bauen kann, ohne sie dotieren oder kühlen zu müssen, wie dies bei Silizium der Fall ist.
- Die beim Durchfliegen geladener Teilchen erzeugten Elektron-Loch-Paare haben im Diamanten eine höhere Beweglichkeit, wodurch die Elektron-Loch-Paare in Verbindung mit einem hohen elektrischen Feld schneller „abgesaugt“ werden können. Hierdurch kann man mit Diamant-Detektoren ultraschnelle Zähler realisieren.

Physikalische Eigenschaften bei 300 K	Diamant	Silizium
Protonenzahl	6	14
Massendichte [$g \cdot cm^{-3}$]	3,5	2,33
Gitterkonstante [$10^{-10}m$]	3,57	5,43
Bandlücke [eV]	5,45	1,12
Intrinsische Ladungsträgerdichte [cm^{-3}]	$< 10^3$	$1,5 \cdot 10^{10}$
Energie zur Erzeugung eines e-h-Paares [eV]	13	3,6
Energie zum Entf. eines Atoms vom Gitterplatz [eV]	80	28
Wärmeleitfähigkeit [$Wcm^{-1}K^{-1}$]	20	1,27
Thermischer Expansionskoeffizient [K^{-1}]	$0,8 \cdot 10^{-6}$	$2,6 \cdot 10^{-6}$
Spezifischer Widerstand [$\Omega \cdot cm$]	$> 10^{11}$	$2,3 \cdot 10^5$
Maximale Feldstärke [V/cm]	10^7	$3 \cdot 10^5$
Elektronen-Beweglichkeit [cm^2/Vs]	2200	1500
Loch-Beweglichkeit [cm^2/Vs]	1600	600
Saturationsgeschwindigkeit [km/s]	220	82
Dielektrizitätskonstante	5,7	11,9

Tabelle 3.1: *Fundamentale Eigenschaften von Diamant und Silizium.*

- Die Energie, die nötig ist, um ein Kohlenstoffatom im Diamant von seinem Gitterplatz zu entfernen, beträgt 80 eV und ist damit ungefähr dreimal höher wie die Energie, die nötig ist um ein Siliziumatom von seinem Gitterplatz zu entfernen. Dies ergibt zusammen mit der guten Wärmeleitfähigkeit eine hohe Strahlenresistenz von Diamant-Detektoren.
- Bei Messungen der von Schwerionen im menschlichen Gewebe deponierten Energie, sind Diamant-Detektoren von Vorteil, da sie wie ein Großteil des Gewebes aus Kohlenstoff bestehen und so die Energiedeposition in guter Näherung angegeben werden kann. Solche Messungen werden beispielsweise im Tumor-Therapie-Projekt der GSI angewandt [Kra94].

Mit Diamant-Detektoren kann man somit strahlungsfeste ultraschnelle Zähler bei hohen Strahlungsintensitäten realisieren, die in einem Energiebereich zwischen 50 AMeV und 2 AGeV operieren können. Aus diesem Grund werden auch an der GSI die physikalischen Eigenschaften polykristalliner CVD- (Chemical Vapour Deposition) Diamanten untersucht, sowie entsprechend angepaßte Elektronik entwickelt. Dies geschieht in Zusammenarbeit mit der Kollaboration RD42 [rd4], deren Mitglied die GSI seit 1996 ist.

3.2 Der HADES Diamant-Startdetektor

Hergestellt werden CVD-Diamanten, indem man Wasserstoff (H_2) und Methan (CH_4) durch starkes Aufheizen aktiviert und durch einen speziellen Prozeß auf einem Silizium-Substrat wachsen läßt. Mit dieser Technik kann man Diamantschichten unterschiedlicher Dicke herstellen, die sowohl aus Kohlenstoff angeordnet in einer Diamantstruktur, als auch aus isotrop angeordneten Kohlenstoffen bestehen.

Trägt man auf Ober- und Unterseite dieser Diamantschicht eine Metallisierung mit elektrischen Kontakten auf, so entsteht der fertige Diamantzähler. Hierbei hat man die Möglichkeit, durch spezielle Wahl der Metallisierung (streifenförmige oder pixelartige Struktur) und der Dicke der Diamantschicht den Detektor speziellen Zwecken anzupassen.

Für den HADES-Startdetektor wurde aufgrund von Simulationen [Kön97] ein in acht Streifen segmentierter hexagonaler Diamant-Detektor mit 100 μm Dicke gewählt

(siehe Abbildung 3.1), dessen Streifen alle individuell auslesbar sind. Die äußere Form

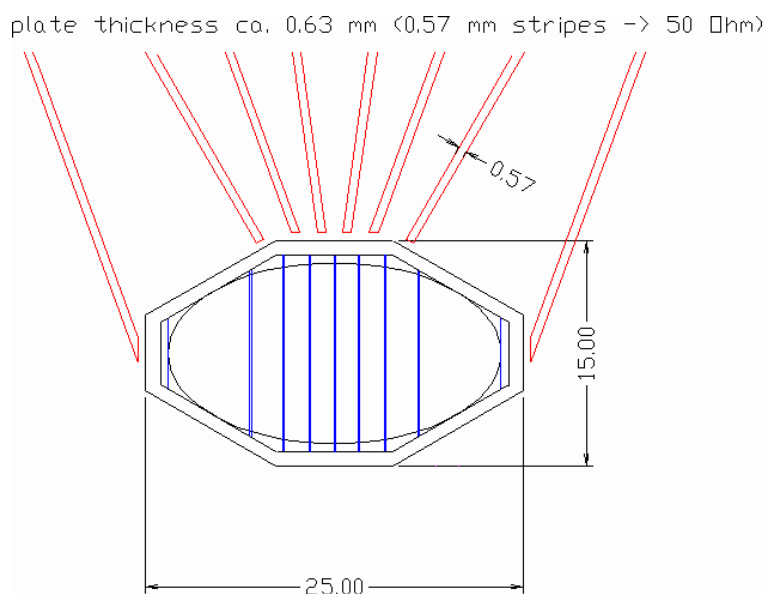


Abbildung 3.1: Form des HADES Startdetektors [Kön98b]. Das Bild zeigt eine schematische Darstellung des in acht Streifen segmentierten hexagonalen Diamant-Detektor. Die Zahlenwerte repräsentieren die Abmessungen in Millimeter.

wurde zum einen an die Ausmaße des Strahlflecks am Standort des Startdetektors angepaßt, zum anderen rührt die hexagonale Gestalt von Berechnungen der Signallaufzeit aller acht Streifen [Kön98b]. So reduziert die hexagonale Form im Vergleich zu einer quadratischen Auslegung den kapazitiven Widerstand der äußeren Streifen um ca. 40 %, wodurch die Signallaufzeiten aller acht Streifen niedrig gehalten werden. Um zu erreichen, daß die Zählrate in jedem der acht Streifen nahezu gleich ist, variieren die Breiten der Streifen von 1,55 mm bis 5,4 mm.

Plaziert wird der Startdetektor 75 cm strahlaufwärts vom Target. Ein zum Startdetektor identischer Detektor befindet sich 75 cm strahlabwärts vom Target und fungiert als Vetodetektor, wie in Kapitel 2.2.1 beschrieben.

3.3 Messungen mit Diamant-Detektoren

Um den Diamant-Detektor betreiben zu können, muß man zwischen der Metallisierung der Ober- und Unterseite eine Spannung zum Absaugen der Elektron-Loch-Paare anle-

gen. Diese Spannung kann aufgrund des hohen spezifischen Widerstands sehr hoch sein, liegt allerdings typischerweise zwischen $2 \text{ V}/\mu\text{m}$ und $6 \text{ V}/\mu\text{m}$. Auch führt eine Umkehrung der Polarisation nicht zur Zerstörung des Detektors, vielmehr geben erst konkrete Messungen an einem Diamant-Detektor Auskunft, mit welcher Polarisationsrichtung dieser am Besten zu betreiben ist.

In Abbildung 3.2 sieht man das durch ein einzelnes Kohlenstoff-Ion mit 200 AMeV verursachte Signal. Wie man sieht, hat das Signal eine sehr kurze Anstiegszeit von ca.

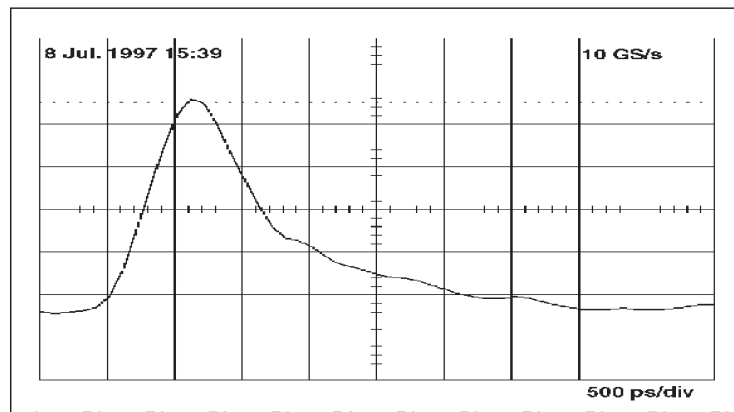


Abbildung 3.2: Messung zur Anstiegszeit eines Diamant-Detektor-Signals [Ber98a]. Gemessen wurde mit einem LeCroy 9362 Speicheroszilloskop bei 10 GS/s. Die gemessene Anstiegszeit beträgt ca. 300 ps (von 10%-20%), die Signalbreite (FWHM) etwa 800 ps.

300 ps und zudem eine recht schmale Breite von ca. 800 ps (FWHM). Weitere Messungen haben gezeigt, daß die Anstiegszeiten von Diamant-Detektor-Signalen zwischen 200 und 500 ps liegen. Genauere Aussagen bezüglich den Anstiegszeiten sind aufgrund des verwendeten Speicheroszilloskops mit 10 GSamples/s jedoch derzeit nicht möglich [Mor98].

Für Messungen von Schwerionen in Diamant-Detektoren wurden an der GSI eine Reihe von breitbandigen (4 GHz), kaskadierbaren und sehr rauscharmen Verstärkern mit einer Impedanz von 50Ω entwickelt [Mor97].

Betrachtet man nun die Pulshöhe eines Diamant-Detektor-Signals, so ist diese direkt proportional zur Anzahl der erzeugten Elektron-Loch-Paare. Diese wiederum sind proportional zur im Diamanten deponierten Energie und somit gemäß der Bethe-Bloch-Formel $\sim Z^2$ [Per90]. Da man bei HADES von schweren Ionen wie Gold mit $Z=79$ bis

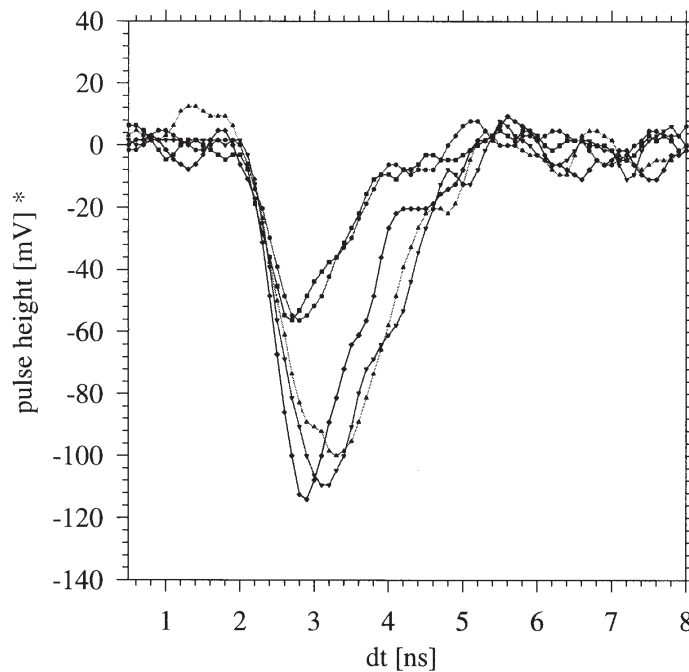


Abbildung 3.3: Messungen mit einem 370μ dickem Diamantzähler und α -Teilchen aus einer ^{241}Am -Quelle [Ber98a]. Das Bild zeigt mehrere Signale, die jeweils mit einem LeCroy 9362 Speicheroszilloskop im Selbsttriggermodus aufgenommen und in einem Plot zusammengefaßt wurden.

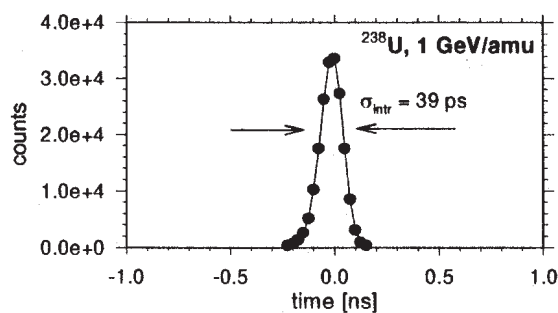


Abbildung 3.4: Zeitspektrum gemessen mit zwei Diamant-Detektoren von jeweils 150μ Dicke [Ber98b].

hinunter zu Protonen mit $Z=1$ experimentieren will, wurden zu diesem Zweck drei Verstärker mit verschiedenen Verstärkungsfaktoren entwickelt.

Pulshöhenmessungen bei festem Z haben gezeigt, daß die auftretenden Pulshöhen um den Faktor 2-3 variieren (siehe Abbildung 3.3) und das Verhältnis von mittleren- zum wahrscheinlichsten Wert zwischen 1,1 bei schwereren Systemen und 1,4 bei α -Teilchen liegt [Ber98b].

Dieser Sachverhalt ist von entscheidender Bedeutung bei der Diskriminierung der Signale. Abhängig von Signalform und Variation der Pulshöhen ergeben sich bei Verwendung unterschiedlicher Diskriminatortypen auch unterschiedliche Zeitaufösungen. In Abbildung 3.4 sieht man hierzu ein mit zwei $150 \mu\text{m}$ dicken Diamant-Detektoren und Uran-Ionen bei 1 AGeV gemessenes Zeitspektrum. Unter Verwendung eines „double-threshold“- Diskriminators und eines am Ende des Aufbaus befindlichen Plastiksintillators zum Starten des TDC (**T**ime to **D**igital **C**onverter) wurde eine intrinsische Zeitaufösung der Diamant-Detektoren von 39 ps gemessen.

Eine weitere Betrachtung der für HADES wichtigen Zeitaufösung in Verbindung mit dem für den Startdetektor verwendeten Diskriminatortyp folgt in Kapitel 5.2.

Kapitel 4

Das SDE-Diskriminatormodul

Die in Kapitel 2.2.5 beschriebene Flugzeitmessung in TOF dient der Teilchenidentifizierung. Wie dargestellt, kommt es dabei auf eine sehr gute Zeitauflösung der Flugzeitmessung an, um Elektronen von Pionen und Protonen trennen zu können. Da die Signale des Startdetektors der MTU zur Generierung der „Common Start“- Signale für die TDC's des TOF dienen, geht die Zeitauflösung des Startdetektors somit direkt in die gesamte Zeitauflösung des TOF ein. Die einzelnen Zeitauflösungen der Flugzeitwand und des Startdetektors addieren sich dabei geometrisch, wodurch die **Zeitauflösung des Startsignals** ≤ 60 ps betragen sollte.

Weiterhin machen die im letzten Abschnitt diskutierten Eigenschaften von Diamantdetektor-Signalen den Einsatz von schneller Elektronik zur Diskriminierung und Weiterverarbeitung der Pulse notwendig. Im Falle von HADES kommt zu den kurzen und schnell ansteigenden Signalen zusätzlich eine hohe Strahlintensität von im Mittel bis zu 10^8 Teilchen/s hinzu, die sich näherungsweise auf die acht Streifen des Diamant-Startdetektors verteilen. Durch die spezielle Strahlstruktur des SIS, sowie das Auftreten von im Phasenraum korrelierter Teilchen (sogenannten Blips), sagen Abschätzungen allerdings Spitzenraten von bis zu **400 MHz pro Kanal** voraus (ein Streifen entspricht einem Kanal).

Zur Weiterverarbeitung der unter diesen Rahmenbedingungen entstehenden Signale des Start- und Vetodetektors, wurde die sogenannte **Startdetektorelektronik (SDE)** konzipiert, die in Kapitel 5 vorgestellt wird. Um vorher allerdings zu prüfen, ob sich das konzeptionelle Design der SDE unter Einhaltung obiger Rahmenbedingungen umsetzen läßt, wurde zunächst das sogenannte SDE-Diskriminatormodul mit eingeschränkter

Funktionalität im Vergleich zur SDE entwickelt.

4.1 Entwicklung des SDE-Diskriminatoremoduls

Die Entwicklung des SDE-Diskriminatoremoduls dient im wesentlichen der Evaluierung wichtiger Komponenten, wie zum Beispiel dem „Leading-Edge“-Diskriminator und diverser Delay-Bausteine, da unklar war, ob diese die in Kapitel 4 aufgeführten hohen Anforderungen erfüllen.

Das SDE-Diskriminatoremodul erfüllt dabei folgende Funktionen:

- Diskriminierung von 8 Analogsignalen mittels „Leading-Edge“-Diskriminator (MC10E 1652) und Erzeugung von differentiellen ECL Signalen. Die Diskriminatorschwelle ist hierbei über ein Potentiometer stufenlos von 0 bis 1 V einstellbar.
- Einstellbare Pulsbreiten der diskriminierten Signale von 2 ns bis 4,25 ns in 20 ps Schritten, mittels programmierbarer Delays (MC10E 195).
- Möglichkeit zum Testen verschiedener Delays.
- Bereitstellung der differentiellen ECL Signale über zwei „twisted pair“-Stecker.

Die Umsetzung des Konzeptes sieht dabei wie folgt aus. Aufgrund der hohen Anforderungen bezüglich Frequenz und Zeitauflösung wurden ausschliesslich ECL-Komponenten verwendet. Im Speziellen kamen hierbei aufgrund ihrer sehr kleinen Signallaufzeiten und Anstiegszeiten ECL-Komponenten aus der Motorola „ECLinPS“-Serie zum Einsatz. Zur Diskriminierung der analogen Startdetektor-Signale wird, wie bereits erwähnt, ein „Leading-Edge“-Komparator (MC10E 1652) eingesetzt, der in der Lage ist, Signale mit über 1 GHz zu verarbeiten. Ein nachgeschaltetes D-Flip-Flop (MC10EL 52) dient dabei in Verbindung mit einem Delay (MC10101) zur Erzeugung von Pulsen konstanter Breite. Als Eingangsstecker dienen die speziell für hochfrequente Signale gut geeigneten SMA-Stecker, die differentiellen ECL-Ausgangssignale werden über zwei „twisted pair“-Stecker zur Verfügung gestellt. Desweiteren befinden sich zum Aufteilen der Signale sogenannte „Fanouts“ auf der Platine, da ein direktes Aufteilen der Signale über die Leiterbahnen zu einer Impedanzänderung und so zu Reflektionen führen würde.

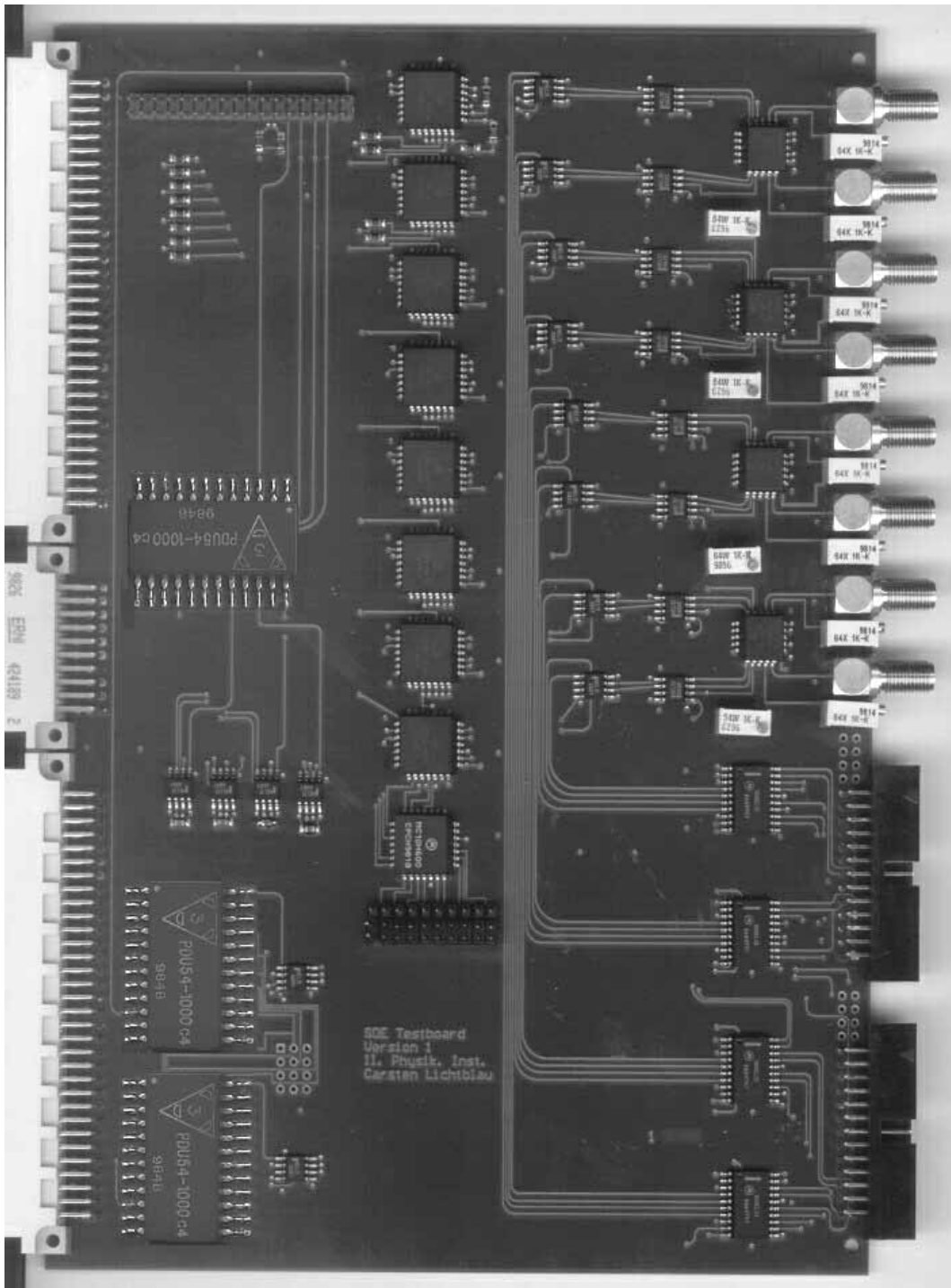


Abbildung 4.1: Das SDE-Diskriminatormodul: Rechts oben sieht man die 8 SMA Stecker zur Aufnahme der Anlogsignale des Startdetektors, sowie die Drehpotentiometer zur Einstellung der Diskriminatorschwelle. Die Ausgangssignale in differentielltem ECL werden über zwei „twisted pair“-Stecker zur Verfügung gestellt.

Vor der eigentlichen Entwicklung des SDE-Diskriminatormoduls, welches in Abbildung 4.1 zu sehen ist, waren allerdings noch einige Vorbetrachtungen nötig, die im folgenden dargestellt werden.

4.1.1 Wahl des Diskriminatortypes

Obwohl aufgrund der hohen Frequenzen die Verwendung handelsüblicher „Constant Fraction“- oder „Double Threshold“-Diskriminatoren als „Ein-Chip-Lösung“ ausscheiden, war anfänglich unklar, ob die Wahl eines „Leading Edge“-Diskriminators nicht zu einer dramatischen Verschlechterung der Zeitauflösung führt.

Nimmt man nämlich an, daß alle Diamant-Detektor-Signale die Form einer Gaußkurve haben, so entsteht durch das Auftreten verschiedener Pulshöhen unter Verwendung eines „Leading Edge“-Diskriminators ein sogenannter „Time Walk“. Dies bedeutet, daß der Zeitpunkt der Diskriminierung mit der Amplitude des Signals variiert, wodurch die Zeitauflösung bei der Diskriminierung verschlechtert wird.

Die Fragestellung, ob mit einem „Leading-Edge“-Diskriminator die geforderte Zeitauflösung von mindestens 60 ps zu erreichen ist, war somit die Hauptfragestellung bei der Entwicklung des SDE-Diskriminatormoduls. Zur Klärung dieser Frage wurden Messungen zur Zeitauflösung in Verbindung mit den HADES Diamantdetektoren durchgeführt. Für eine Betrachtung der Meßwerte sei auf Kapitel 4.3.3 verwiesen.

4.1.2 Designregeln bei ECL-Komponenten

Der Aufbau einer Platine unter der Verwendung von ECL Komponenten erfordert die sorgfältige Einhaltung gewisser Designregeln, um den oben beschriebenen Anforderungen zu genügen. Hierbei sind vorallem folgende Punkte zu erwähnen:

- Verwendung von 10 nF „Bypass“-Kondensatoren an jedem Spannungseingang der ECL-Komponente.
- Terminierung aller ECL-Ausgangssignale über 50 Ω nach -2 Volt, in der Nähe des Eingangs der nächsten Komponente.
- Wahl eines Platinenaufbaus, bei dem die elektrischen Feldlinien senkrecht zur Platinenoberfläche stehen. Hierbei gibt es zwei verschiedene Möglichkeiten (Stripline

oder Microstripline), die sich in der Ausbreitungsgeschwindigkeit der Signale unterscheiden.

- Anpassung der Leiterbahn-Impedanz an den Terminierungswiderstand (zur Vermeidung von Reflexionen).

Für die SDE wurde aufgrund der einfacheren Umsetzung der Platinaufbau einer „Microstripline“ gewählt, welche in Abbildung 4.2 a) zu sehen ist. Hierbei befindet sich

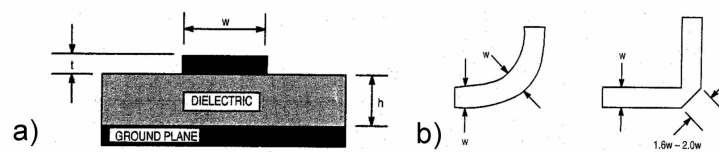


Abbildung 4.2: *ECL Designregeln: a) Aufbau einer Platine in Microstripline b) Kompensation kapazitiver Effekte bei 90° Winkeln [Mot96].*

unter dem Dielektrikum des Platinenmaterials eine Massenebene, sprich eine komplette Kupferlage auf Erdpotential. Die Signallage befindet sich auf dem Dielektrikum des Platinenmaterials.

Die Impedanz Z_0 einer solchen „Microstripline“ berechnet sich über [Mot96]:

$$Z_0 = \frac{87}{\sqrt{(\epsilon_r + 1,41)}} \ln \left[\frac{5,98 \cdot h}{0,8w + t} \right]$$

mit:

ϵ_r = Relative Dielektrizitätskonstante des Substrates

w = Breite der Signalbahn

t = Höhe der Signalbahn

h = Dicke des Dielektrikums

Unter Verwendung der Herstellerparameter ergibt dies eine Impedanz von $Z_0 = 54,7 \Omega$. Der diesem Wert am nächsten kommende kommerziell erhältliche Widerstand beträgt 56Ω , weswegen anstelle von 50Ω Widerständen 56Ω Widerstände für die Terminierung

verwendet wurden. Da die Signale der Vorverstärker an 50Ω angepaßt sind, ist dabei mit einem Reflexionskoeffizienten von

$$C_{Ref.} = \frac{6\Omega}{50\Omega + 56\Omega} \approx 5,7\%$$

zu rechnen, der allerdings vernachlässigt werden kann. Verlegt man Leiterbahnen in einem Winkel von 90° , so ändert sich in der Diagonalen des 90° -Winkels die Breite der Leiterbahn und somit ihre Impedanz. Dieser bei Hochfrequenz nicht mehr zu vernachlässigende Faktor ist durch Verwendung der in Abbildung 4.2 b) gezeigten runden, bzw. „gekappten“ 90° Winkeln zu vermeiden. Aus Gründen der Hochfrequenz wurde weiterhin auf kurze Signalwege geachtet.

Um unempfindlich gegenüber Streustrahlung zu sein, wurde überwiegend differentielles ECL verwendet.

4.2 Testsystem zum Erzeugen von Diamant-Detektor-Signalen

Zur Erzeugung von Diamant-Detektor-Signalen im Labor wurde eigens ein Testsystem entwickelt, welches nun vorgestellt werden soll.

Wie in Kapitel 3.3 beschrieben, erzeugt ein Diamant-Detektor Signale mit sehr kurzen Anstiegszeiten und kleinen Breiten. Um realistische Signale für die SDE zu erhalten, wurde ein Testsystem zur Erzeugung von Diamant-Detektor-Signalen aufgebaut. Der hierzu nötige Diamant-Detektor ist $300 \mu m$ Dick und eine Leihgabe der GSI. Als Teilchenquelle dient ein ^{241}Am -Preparat. Dieses emittiert α -Teilchen mit ca. 5 MeV. Da α -Teilchen allerdings in Luft eine sehr kurze Reichweiten von nur wenigen Zentimetern haben, befindet sich das Testsystem in einer Vakuumapparatur.

Der Verschlußdeckel der Vakuumapparatur stellt hierbei die Basis für das Testsystem dar. Dieser wurde so modifiziert, daß sowohl die α -Quelle, als auch der Diamant-Detektor im inneren der Vakuumapparatur befestigt werden können. Ein am Verschlußdeckel angebrachter Stab dient zum Verschieben der α -Quelle in der Vakuumapparatur (siehe Abbildung 4.3). Diese Option ist sehr nützlich, da man mit ihr die Teilchenrate im Diamant-Detektor verändern kann und so z.B. kontrollieren kann, ob die Signale wirklich vom Diamant-Detektor stammen, oder ob es sich um Störsignale der Elektronik handelt.

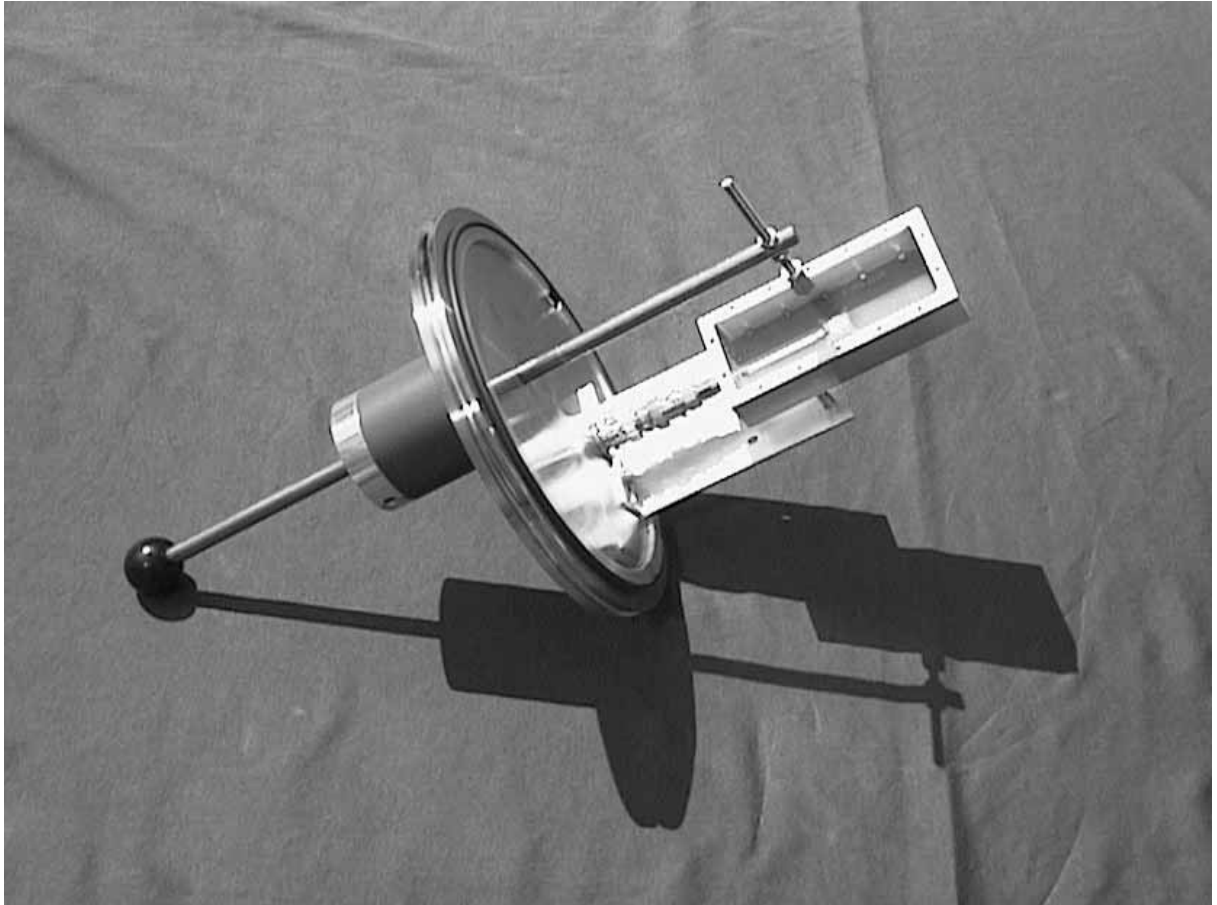


Abbildung 4.3: Testaufbau zum Erzeugen von Diamant-Detektor-Signalen: Das Bild zeigt einen modifizierten Verschlussdeckel einer Vakuumapparatur. Auf der rechten Seite sieht man das Kästchen, welches den 300 μm Dicken CVD Diamanten beherbergt. Unterhalb des Kästchens befindet sich eine Vakuumdurchkontaktierung zum Anschluß der Hochspannung. Der arretierbare Stab dient zum Verschieben der α -Quelle, die am Stabende an einer Gewindeschraube befestigt wird und so in unmittelbare Nähe des Diamanten gebracht werden kann.

Der erfolgreiche Probelauf erzeugte auf Antrieb ein Vakuum von 10^{-5} mbar , welches für obige Zwecke vollkommen ausreichend ist.

4.3 Messungen mit dem SDE-Diskriminatoremodul

Das SDE-Diskriminatoremodul wurde ausführlich im Labor, sowie bei zwei HADES Teststrahlzeiten erprobt. Die erfolgreichen Tests sind in den folgenden Kapiteln dargestellt.

4.3.1 Messung der Eingangsreflexions-Dämpfung

Zunächst einmal wurde die Eingangsreflexions-Dämpfung des SDE-Diskriminatoremoduls gemessen. Bei dieser Messung wurden mit einem Frequenzgenerator Eingangssignale zwischen 100 MHz und 1 GHz produziert und die jeweils reflektierten Signale gemessen. Das Ergebnis, welches in Abbildung 4.4 dargestellt ist, bestätigt die sehr gute Impedanzanpassung der Platine bis hinauf zu einer Frequenz von 1 GHz. Die Leistungsfähigkeit der verwendeten „Leading-Edge“-Diskriminatoren wurde durch Vorgabe von Frequenzgenerator-Signalen ermittelt. Hierbei stellte sich heraus, daß das SDE-Diskriminatoremodul Signale bis zu einer Frequenz von 1,75 GHz verarbeiten kann, und diese anschliessend mit einer festen Pulsbreite ausgibt.

4.3.2 Messungen mit α -Teilchen

In Abbildung 4.7 sieht man die Arbeitsweise des Diskriminators. Hierbei sieht man oben das Analogsignal und unten das vom SDE-Diskriminatoremodul daraus erzeugte ECL-Signal. Das Analogsignal wurde durch ein 5,6 MeV α -Teilchen aus einer ^{241}Am -Quelle in einem $300 \mu\text{m}$ dicken Diamantzähler erzeugt. Die verwendeten Vorverstärker hatten einen Verstärkungsfaktor von 44dB und die Diskriminatorschwelle befand sich bei 20 mV.

In der Abbildung weiterhin zu erkennen ist das im Vergleich zum Analogsignal breitere ECL-Signal, welches durch die Kombination von programmierbarem Delay und D-Flip-Flop erzeugt wurde. Die Einstellung des programmierbaren Delays lag bei dieser Messung etwa bei 3 ns.

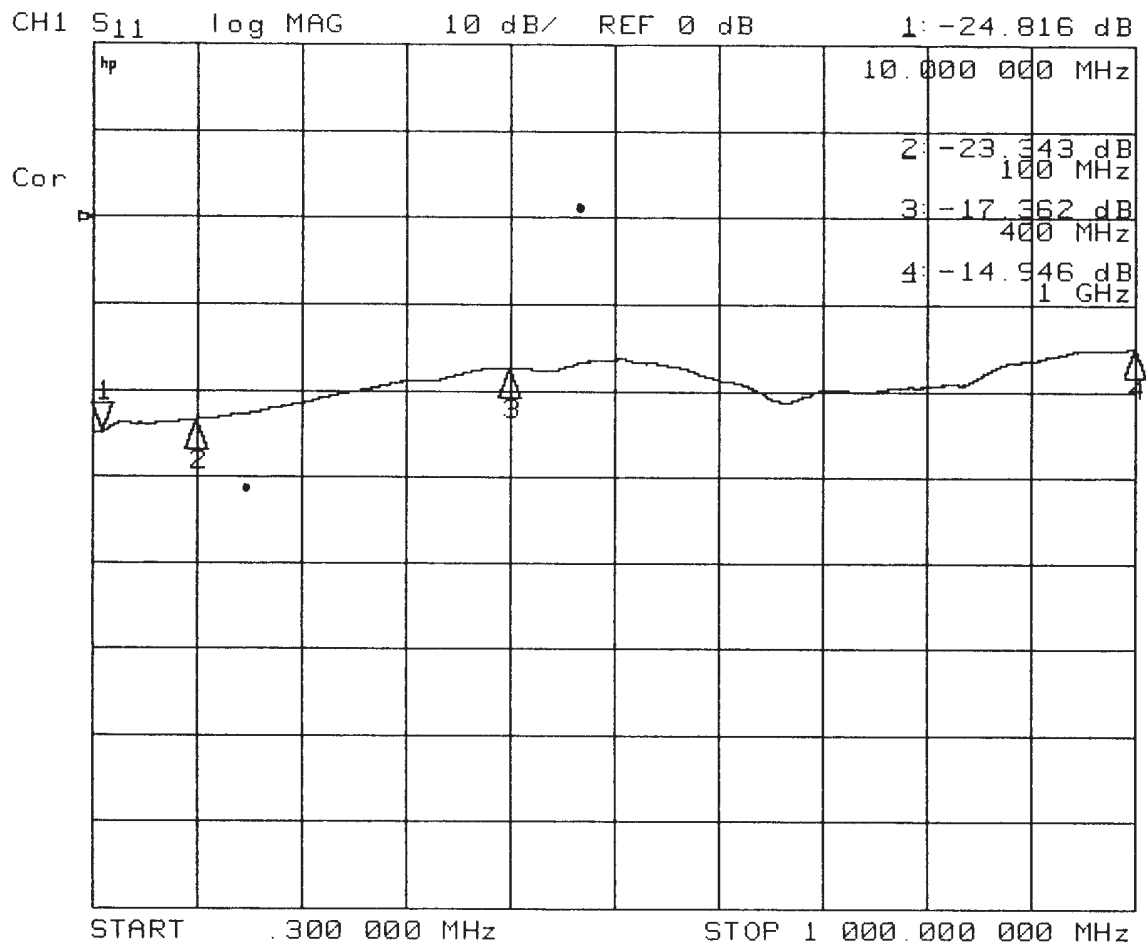


Abbildung 4.4: Messung der Eingangsreflexions-Dämpfung: Aufgetragen ist die gemessene Reflektion in Dezibel als Funktion des Eingangssignals in MHz. Die Werte bei 10 MHz, 100 MHz, 400 MHz und 1 GHz sind im rechten oberen Teil des Bildes zu sehen.

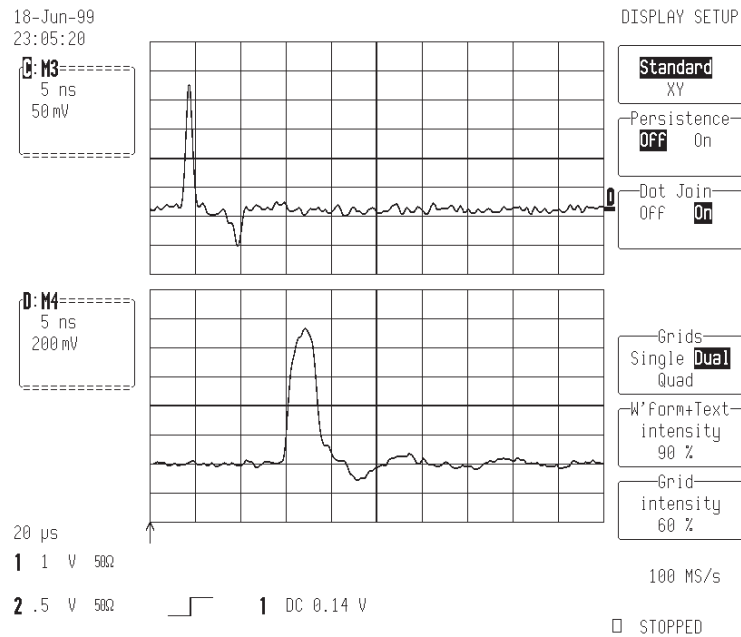


Abbildung 4.5: Das Bild zeigt das analoge Signal des Diamant-Detektors (oben) und das ECL-Signal nach der Diskriminierung.

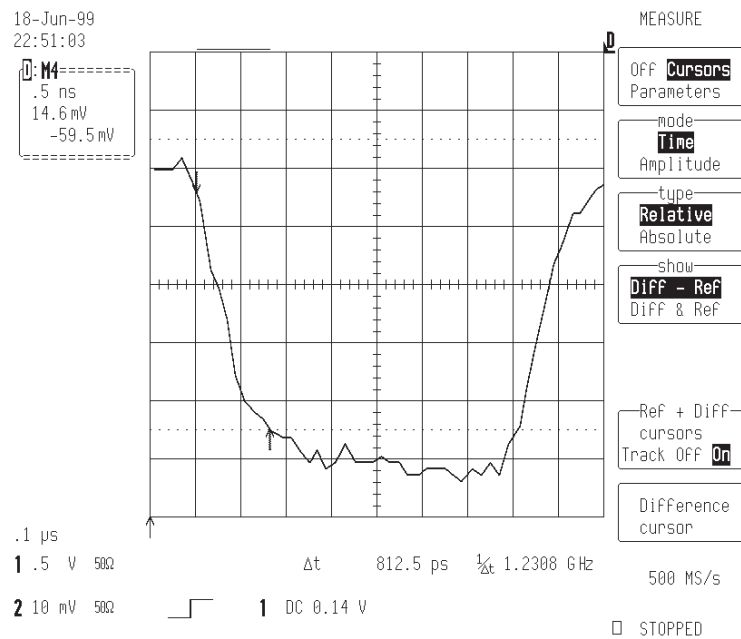


Abbildung 4.6: Messung der Anstiegszeiten des ECL-Ausgangssignals. Hierbei ist noch die Eigenanstiegszeit des Tastkopfs abzuziehen

In Abbildung 4.6 sieht man eine Messung der Anstiegszeit der Ausgangssignale des SDE-Diskriminatoremoduls. Hierzu wurden wiederum 5,6 MeV α -Teilchen einer ^{241}Am -Quelle verwendet. Wie man sieht, liegt die Anstiegszeit mit 800 ps im Bereich dessen, was die Spezifikation der verwendeten „ECL-In-PS“-Bausteine erwarten ließ.

4.3.3 Messungen zur Zeitauflösung

In Abbildung 4.7 sieht man schließlich eine Messung zur Zeitauflösung des Startdetektors. Diese wurden in einer HADES-Teststrahlzeit aufgenommen [Sen99]. Verwendet wurden dabei die beiden 100 μm dicken identischen HADES Diamant-Startdetektoren, die in einem Abstand von 1,4 Meter in den Strahl gestellt wurden. Die Hochspannung des in Strahlrichtung gesehen ersten Diamanten betrug 900 V, die des zweiten Diamanten 400 V. Als Strahlteilchen diente ^{52}Cr bei 600 AMeV und einer Intensität von etwa $5 \cdot 10^5$ Teilchen/s.

Die gemessene Zeitauflösung beträgt $\sigma = 52\text{ps}$ und setzt sich aus den Zeitauflösungen des Diamantdetektors und der Elektronik zusammen. Mit diesem Ergebnis, welches die in Kapitel 4 geforderte Anforderung an die Zeitauflösung voll erfüllt, wurde gezeigt, daß man „Leading-Edge“-Diskriminatoren für den HADES Startdetektor verwenden kann.

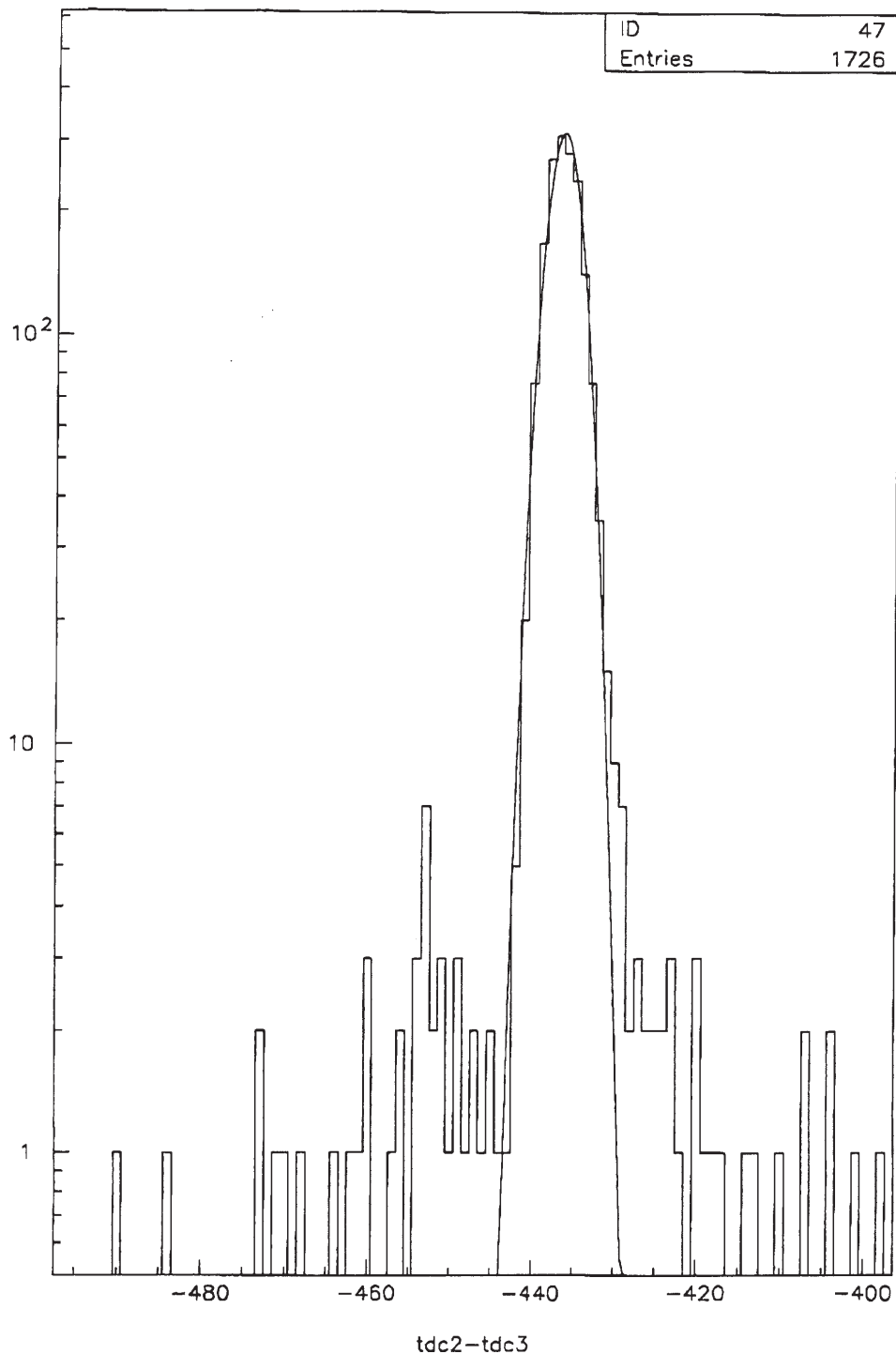


Abbildung 4.7: Messung der Zeitauflösung des HADES Startdetektors in Verbindung mit dem SDE-Diskriminatoremodul und 600 AMeV ^{52}Cr Strahlteilchen. Aufgetragen sind die Anzahl der Messwerte als Funktion der TDC Kanäle, wobei 1 Kanal etwa 3,1 ps entspricht. Die gemessene Zeitauflösung beträgt $\sigma = 52$ ps.

Kapitel 5

Design der Startdetektorelektronik

Nach der Entwicklung und den erfolgreichen Tests des SDE-Diskriminatorsmoduls, wurde mit der Entwicklung der eigentlichen Startdetektorelektronik (SDE) begonnen. Diese sei im folgenden dargestellt.

5.1 Anforderungen und Aufgabenstellung

Grundsätzlich ist zu sagen, daß die in Kapitel 4 beschriebenen Anforderungen an das SDE-Diskriminatorsmodul, natürlich auch für die eigentliche SDE gelten. Ihre Funktionalität, die schematisch in Abbildung 5.1 dargestellt ist, umfaßt dabei folgende Punkte:

- Diskriminierung der 16 analogen Signale vom Start- und Vetodetektor mit Ausgangssignalen in ECL-Logik und der Option die Polarität der einzelnen Detektorstreifen frei wählen zu können (zwecks Minimierung von „Crosstalk“).
- Verteilung dieser ECL Signale an den Spill-Monitor¹ [Ple98].
- Möglichkeit, sowohl je ein analoges- als auch zwei digitale- der 16 Signalen auszuwählen und zu Kontrollzwecken extern zur Verfügung zustellen („Analog- und Digital-Monitoring“).
- Koinzidente Kombination der Signale von je einem Streifen des Startdetektors mit den jeweils drei benachbarten Streifen des Vetodetektors (Vetologik)².

¹Die Frequenz der Signale wird vorher auf der SDE um den Faktor 1/4 heruntergeteilt

²Anhand von Simulationen erreicht man mit dieser Methode eine Vetoeffizienz von 96,5% [Kön97]

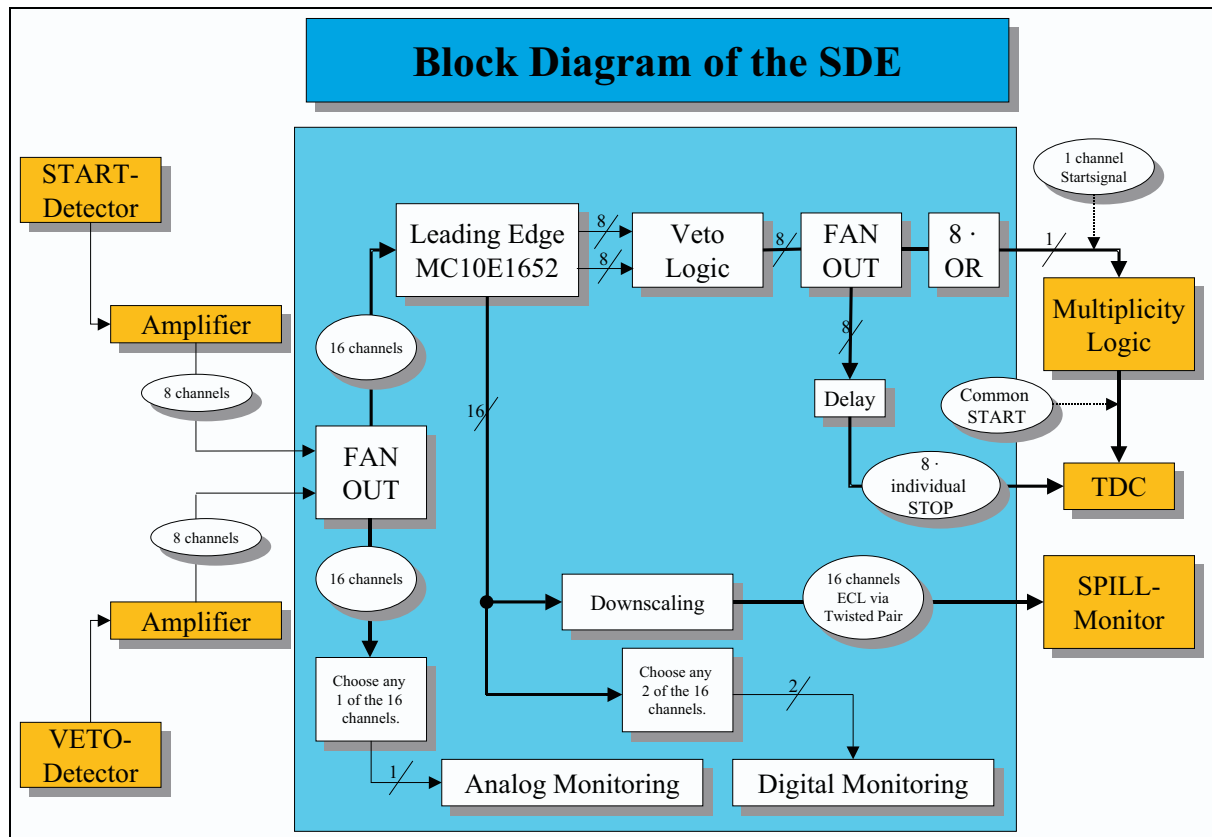


Abbildung 5.1: Blockdiagramm der *Startdetektorelektronik (SDE)*: Als Eingangssignale dienen jeweils 8 analoge Signale vom Start- und 8 vom Vetodetektor, welche vorher einen breitbandigen Vorverstärker passiert haben. Der dunkelgrau hinterlegte Teil stellt die eigentliche SDE mit ihren wichtigsten Funktionalitäten dar. Auf der rechten Seite sieht man die nachfolgende Elektronik, wobei die über Querstrichen angegebenen kleinen Zahlen die Anzahl der Kanäle symbolisieren.

- Realisierung der Elektronik als 6U Platine im VME Standard, mit Konfigurierungsmöglichkeiten der Elektronik über den VME-Bus.
- Verteilung der in der Vetologik erzeugten Signale an den TDC des Startdetektors.
- Erzeugung eines Startsignals durch Verknüpfung aller 8 Kanäle via logischem ODER, welches als ca. 10 ns breites ECL Signal der MTU (Multiplicity Logic) zur Verfügung gestellt wird.³

5.2 Konzeptionelles Design

Die in Kapitel 4.1.2 erwähnten Designregeln wurden auch bei der Entwicklung der SDE angewandt. Ein schematischer Überblick der Realisierung obiger Anforderungen mit verfügbaren Komponenten ist in Abbildung 5.3 zu sehen und wird im folgenden erläutert.

Um die Möglichkeit zu haben, sich alle 16 Analogsignale des Start- und Vetodetektors zu Kontrollzwecken betrachten zu können, wurden zunächst die Eingangssignale vom Vorverstärker (VV) mittels eines Spannungsteilers über jeweils 50 Ω abgeteilt. Ein Ende führt dann weiter zum Diskriminator, wo es mit 50 Ω gegen Erde terminiert wird. Das andere Ende führt über ein Dämpfungsglied zu einer Stiftleiste, von der man die Signale abgreifen kann (siehe Abbildung).

Hierbei war es sehr wichtig, darauf zu achten, daß man durch das Abteilen der Analogsignale keine Reflexionen im Diskriminatorzweig erzeugt. Aus diesem Grund wurde das Dämpfungsglied mit 20 dB so dimensioniert, daß man eventuelle Reflexionen, die dann das Dämpfungsglied zweimal durchlaufen müssten, vernachlässigen kann.

Wie bei dem SDE-Diskriminatormodul wird bei der SDE ein „Leading-Edge“-Komparator (MC10E 1652) zur Diskriminierung der analogen Start- und Vetodetektor-Signale eingesetzt. Auch hier dient ein nachgeschaltetes D-Flip-Flop (MC10EL 52) in Verbindung mit einem Delay (MC10101) zur Erzeugung von Pulsen konstanter Breite. Die Breite ist für Start und Veto unterschiedlich gewählt, um eine Überlappkoinzidenz der Signale in der Vetologik zu gestatten. Die so erzeugten Signale werden schließlich in einem „Fanout“ aufgeteilt, um in unterschiedlichen Komponenten weiterverarbeitet

³Aus den Signalen des TOF, der CTU und des SDE Startsignals wird in der MTU der *First Level Trigger* erzeugt

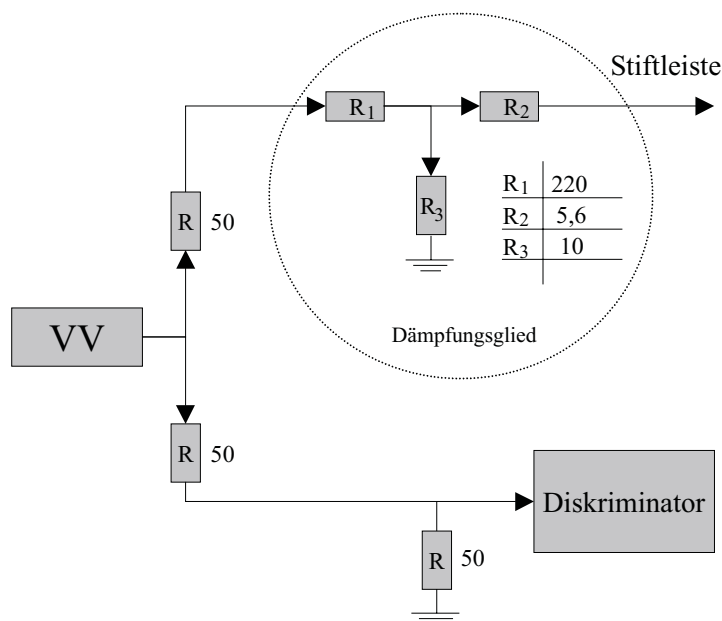


Abbildung 5.2: Skizze zur Teilung der Analogsignale.

zu werden (MC10LEVEL 11 und 13). Zum einen gehen alle 16 Kanäle über „Divider“-Bausteine (MC10EL 33), wo die Frequenz der Signale auf 25% reduziert wird, zum Spill-Monitor, zum anderen gehen sie in die Vetologik.

Bei dem Spillmonitor handelt es sich um ein VME-Modul, welches zur Analyse und Überwachung der zeitlichen Strahlstruktur des SIS während des HADES Experimentes [Ple98] dient.

Hinter der Vetologik, die sich auf der SDE befindet, verbirgt sich ein schneller CPLD (**C**omplex **P**rogrammable **L**ogic **D**evice) der Firma Lattice (ispLSI 2032E-200). Der Vorteil eines CPLDs liegt in der Programmierbarkeit und Rekonfigurierbarkeit des Bausteins. Mit dieser besitzt man die Möglichkeit, jeden beliebigen Vetoalgorithmus zu implementieren und diesen bei Bedarf zu ändern. Im speziellen zeichnet sich der verwendete CPLD durch extrem kurze Signallaufzeiten aus, wodurch die Verwendung einer programmierbaren Vetologik erst möglich wurde. Da der CPLD ein TTL-Baustein ist, müssen hierfür zunächst alle Signale von ECL- nach TTL-Pegel konvertiert werden und umgekehrt nach Verlassen der Vetologik (MC10H 600 und 601).

Betrachtet man die Zeitaufösung, so wird diese prinzipiell durch jede zusätzliche Komponente, aber insbesondere durch die TTL-Komponente der Vetologik verschlech-

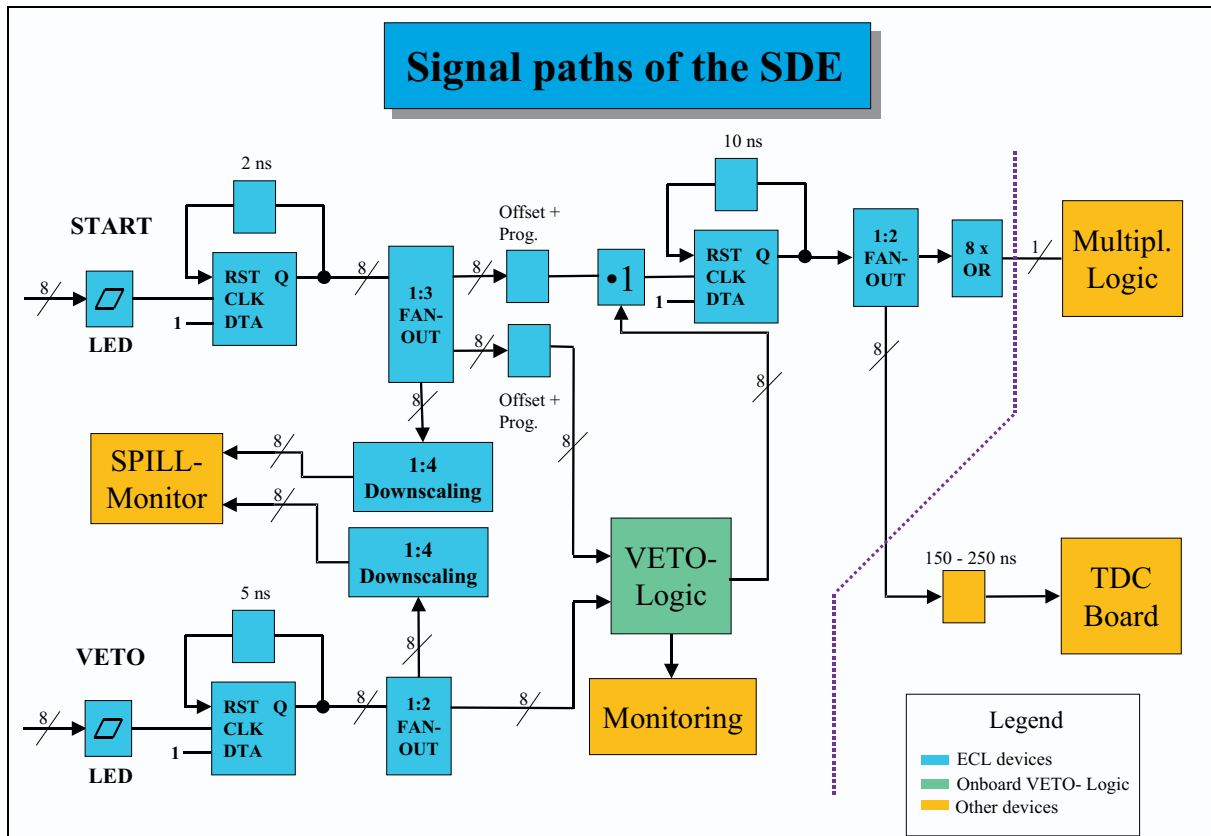


Abbildung 5.3: Schematische Darstellung der Signalwege der SDE. Auf der linken Seite sieht man die zunächst getrennten Signalwege für Start- und Vetodetektor, die nach der Diskriminierung und Verteilung der Signale in der Vetologik zusammenführen. Zum Ausgleich der Signallaufzeiten sind an zwei Stellen programmierbare Delays vorgesehen, um die Signale des Startzweiges, mit der aus der Vetologik koinzident überlappen zu können. Die SDE stellt Ausgangssignale für den Spill-Monitor, die MTU und die TDC Elektronik zur Verfügung.

tert. Um die oben geforderte hohe Zeitaufösung sicherzustellen, wird das vorher im „Fanout“ abgeteilte Signal des Startdetektors mit hochwertigen programmierbaren Delays (MC10E 195) verzögert und anschließend koinzident via logischem UND (MC10E 404) mit dem der Vetologik kombiniert. Durch geeignete Wahl des Delays kann man dabei erreichen, daß die Signale der Vetologik vor der des Startdetektors ankommen. Auf diese Weise erhält das so kombinierte Signal die gute Zeitaufösung des eigentlichen Startdetektor-Signals, obwohl es mit den Signalen des Vetodetektors abgeglichen wurde.

Von der Vetologik erwartet man eine Reduktion der Zählrate von 10^8 Teilchen/s auf unter 10^7 Teilchen/s. Aus diesem Grund kann man die Signale der restlichen acht Kanäle zwecks besserer Übertragbarkeit über längere Kabelstrecken, auf eine Breite von ca. 10 ns verbreitern. Dies geschieht ebenfalls mit einer Kombination aus D-Flip-Flops und Delays. Anschließend werden die Signale wie in den Anforderungen verlangt an den TDC und die MTU verteilt, wobei die Signale der MTU vorher via logischem ODER (MC10E 404) kombiniert werden.

5.3 Umsetzung des Konzeptes

Bei der Umsetzung des Konzeptes waren zunächst eine Reihe von Vorbetrachtungen notwendig. Diese sollen im folgenden kurz zusammengefaßt werden.

5.3.1 Berechnung des notwendigen Delays

Nach langer Suche geeigneter Delays, fiel die Wahl schließlich auf einen kaskadierbaren Delay der Firma Motorola (MC10E 195). Dieser garantiert einen sehr kleinen „Time Jitter“ und ist in Schritten von 20 ps programmierbar. Der Nachteil dieser einkanaligen Delays liegt in dem kleinen programmierbaren Bereich von 1, 25 bis 3, 75ns, weswegen mehrere Delays kaskadiert werden müssen.

Um den genauen Bereich des benötigten Delays abzuschätzen wurde ein in Abbildung 5.4 aufgeführtes Timing-Diagramm erstellt. Hierbei sind zum einen das Startsignal und das Signal nach Durchlaufen der Vetologik aufgeführt, zum anderen sieht man die minimal und maximal erreichbare Verzögerung mit vier kaskadierten Delaychips. Im eigentlichen Design wurde als „Sicherheitsreserve“ zusätzlich ein fünfter Delay-Baustein

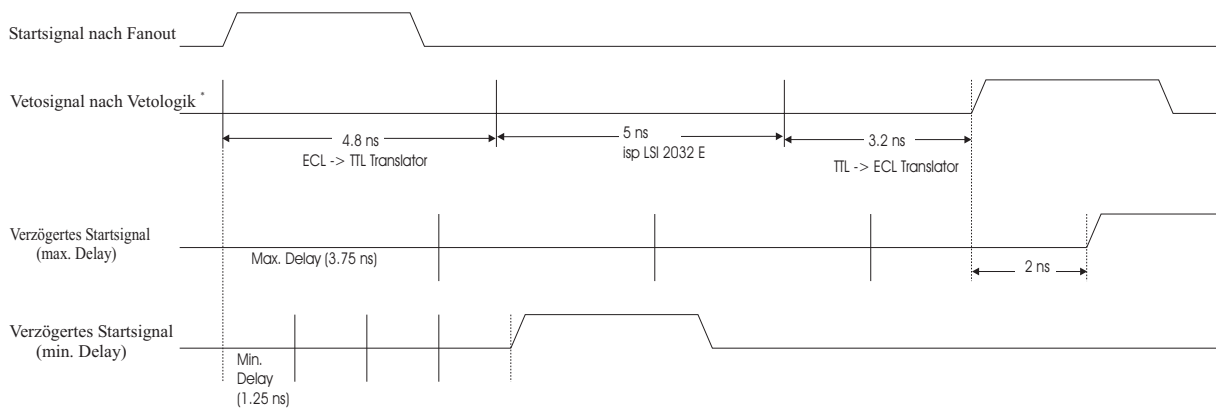


Abbildung 5.4: *Timingdiagramm zur Berechnung der benötigten Delays. *Bei den Translatoren wurde der „Worst-Case“ für den Propagations-Delay angenommen (siehe Datenblatt). Wie man sieht, sind zum Verzögern des Startsignals 4 kaskadierte Delaychips (MC10E 195) nötig.*

pro Kanal verwendet. Voraussetzung für obiges Timing-Diagramm ist allerdings, die Vetodetektor-Signale maximal 2,5 ns später im Vergleich zum Startdetektor-Signal an der SDE ankommen. Dies ist mit geeigneter Wahl der Kabellängen vom Vorverstärker zur SDE zu erreichen, wobei eine Verschiebung um 2,5 ns durch einen weiteren Delay-Baustein pro Kanal ausgeglichen werden kann.

5.3.2 Aufbau der Haupt-Platine

Aufgrund der vielen auf der Platine benötigten Spannungen (-5,2 V; -2 V; +5 V), sowie der benötigten Massenebenen, wurde die SDE als Acht-Lagenboard realisiert. Davon dienen drei Lagen als reine Spannungslagen und zwei als gemischte Signal- und Spannungslagen.

Wie Abschätzungen gezeigt haben, war es unmöglich, alle benötigten Komponenten der SDE auf einem 6U VME Modul unterzubringen. So hätten ca. 170 ECL-Komponenten, 800 einzelne Widerstände, 190 Kondensatoren, sowie diverse TTL-Komponenten auf einem 6U VME Modul untergebracht werden müssen. Aus diesem Grund wurde die Funktionalität auf zwei identische Platinen verteilt, wobei jede Platine je vier Start- und Vetokanäle verarbeitet. Beide Platinen sind identisch aufgebaut und tauschen über einen Zusatzstecker jeweils die benötigten Vetokanäle aus. Da jede Platine

nur vier Kanäle des Startdetektors aufnehmen kann, für die Erzeugung des Startsignals jedoch die Kombination aller acht Startdetektor-Kanäle via logischem ODER nötig ist, werden zunächst auf jeder der beiden Platinen alle vier Startdetektor-Kanäle getrennt via logischem ODER kombiniert. Über zwei kurze Kabel werden die so kombinierten Signale beider Platinen gegenseitig ausgetauscht und man kann sich wahlweise aussuchen, welche der beiden Platinen das Startsignal erzeugen soll.

Aus weiteren Platzgründen wurden die zur Erzeugung der Referenz- und Hysteresisspannung für den „Leading-Edge“-Komparator benötigten DAC's (**D**igital to **A**nalog Converter) ebenfalls auf eine Aufsteckplatine ausgelagert (siehe nächstes Kapitel).

Zur Anbindung an den VME-Bus wurde ein „VME-Slave-Interface“ in Form eines Lattice 1048E vorgesehen [Pet93]. Zur Adressdekodierung stehen hierzu 32 Adressbits zur Verfügung, desweiteren ist die SDE mit den unteren 16 Datenleitungen verbunden.

Das komplette Verlegen der Leiterbahnen der SDE wurde per Hand vorgenommen, da die verfügbaren „Autorouter“ für Hochfrequenzapplikationen weitgehend ungeeignet sind (kurze Signalwege, etc.). Für die schematischen Zeichnungen der SDE sei auf den Anhang verwiesen.

5.3.3 Die Aufsteck-Platine

Die Aufsteckplatine dient zur Erzeugung der Referenzspannungen für die 8 „Leading-Edge“-Komparatoren, sowie der 4 benötigten Hysteresisspannungen. Vorgesehen ist eine Ansteuerung der Aufsteckplatine über das VME-Interface der SDE. Zu diesem Zweck ist die Aufsteck-Platine mittels eines CON48 Steckers mit der SDE verbunden. Über diesen Stecker führen neben allen, der SDE zur Verfügung stehenden Spannung, auch die unteren 7 Adressbits und 16 Datenleitungen des VME-Busses. Weitere 2 I/O-Leitungen des VME-Interfaces (Lattice 1048E) der SDE, die mit der Aufsteckplatine verbunden sind, dienen der Steuerung der Aufsteckplatine.

Weiterhin soll die Aufsteckplatine dazu dienen, wahlweise je einen der auf der SDE abgeteilten 8 Analogsignale über einen Stecker zu Kontrollzwecken zur Verfügung zu stellen. Die Auswahl des Kanals soll ebenfalls über das VME-Interface der SDE erfolgen, wofür genügend Steuerleitungen des CPLD, sowie Adress- und Datenleitungen des VME-Busses über den Verbindungsstecker zur Aufsteckplatine geführt werden.

Kapitel 6

Ausblick

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurde ein SDE-Diskriminatormodul entwickelt und erfolgreich getestet. Auf dieser Basis, wurde dann die oben beschriebene SDE entwickelt und liegt mittlerweile als fertige Platine vor.

Wichtig war dabei das Verlegen der Leiterbahnen, was vollständig per Hand erfolgte, um die Signalwege so kurz wie möglich zu halten und sicherzustellen das sich alle Signale, die zur Zeitauflösung beitragen, auf der obersten Platinenlage zur Realisierung einer echten „Microstripline“ befinden.

Im nächsten Schritt muß die Platine bestückt und getestet werden. Hierzu ist die Programmierung der beiden auf der Platine befindlichen Lattice CPLD's erforderlich. Der CPLD (ispLSI 1048E) der zum einen als VME-Interface fungiert, dient zum anderen in Verbindung mit Translator-Bausteinen zur Übersetzung der Logikpegel von ECL nach TTL, auch als Latch für diverse Latches der ECL-Bausteine. Der zweite CPLD (ispLSI 2032E) zur Implementierung der Vetolgie muß entsprechend dem vorgegebenem Vetoalgorithmus programmiert werden.

Zur Erzeugung der Referenzspannung und der Hysteresisspannung der „Leading-Edge,-Diskriminatoren kann man externe Spannungsquellen zur Erfüllung der Basisfunktionalität der SDE verwenden. Um die volle Funktionalität zu erreichen ist die Entwicklung einer Aufsteckplatine nötig, die sowohl die Möglichkeit zum Betrachten der Analogsignale bietet, als auch die Möglichkeit mittels des VME-Interfaces der SDE einstellbare Referenzspannungen zu Erzeugen. Das Konzept dieser Aufsteckplatine wurde ebenfalls ausgearbeitet, muß allerdings noch realisiert werden.

Falls die ersten Funktionstests erfolgreich ausfallen, kann die SDE für die im Herbst

1999 geplante HADES Teststrahlzeit eingesetzt werden.

Anhang A

Schaltpläne der SDE

Auf den nächsten Seiten folgen auszugsweise die Schaltpläne der SDE. Sie wurden mit dem Programm Protel 98 erstellt, mit welchen auch das spätere Verlegen der Leiterbahnen vorgenommen wurde.

Auf den einzelnen Schaltplan-Seiten wurden ausschließlich lokale Bezeichner für die elektrischen Netze verwandt, sowie andere Schaltplan-Seiten als weiteres Symbol eingebunden.

Die Schaltpläne sind in ihrer hierarchischen Anordnung aufgeführt.

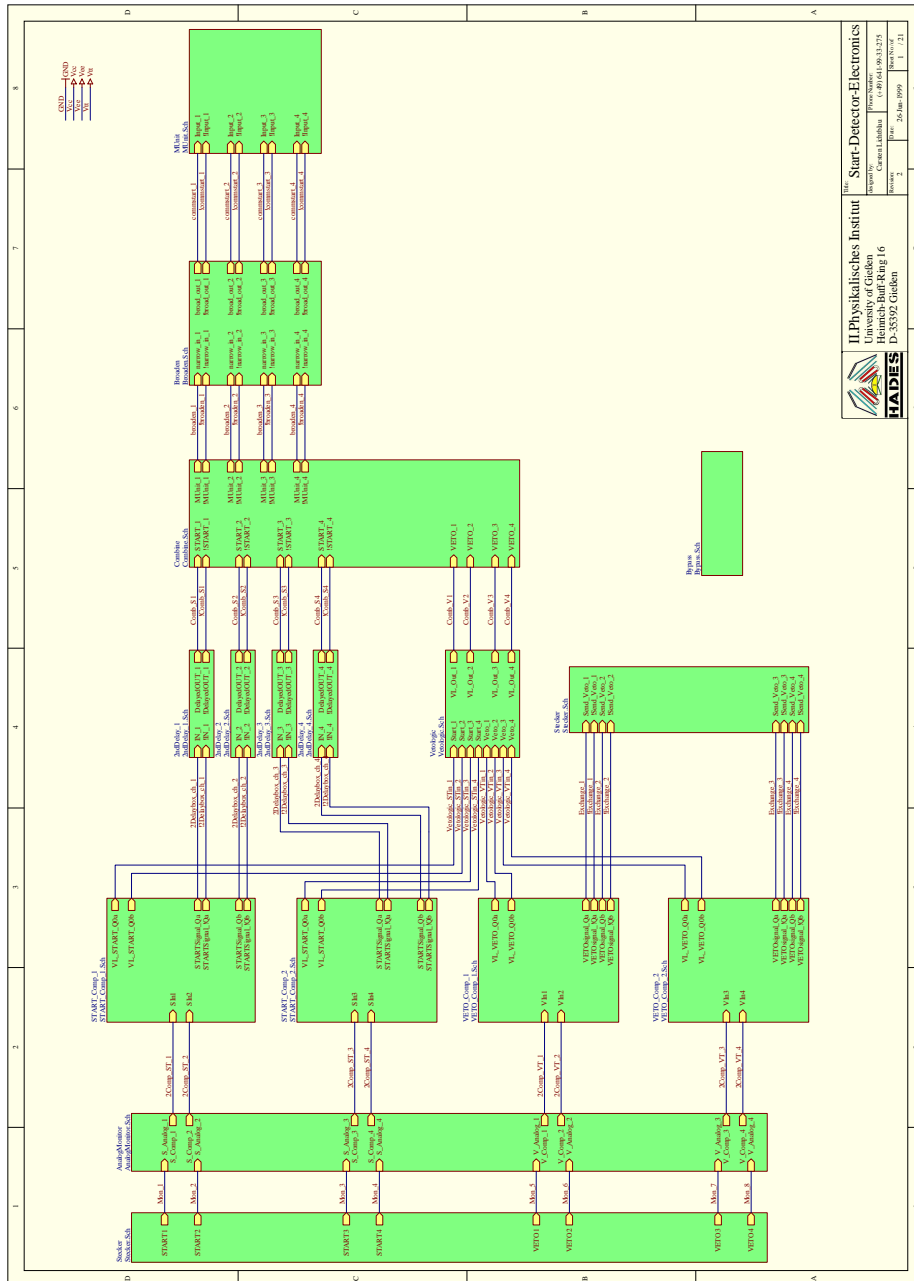


Abbildung A.1: Projektseite der SDE

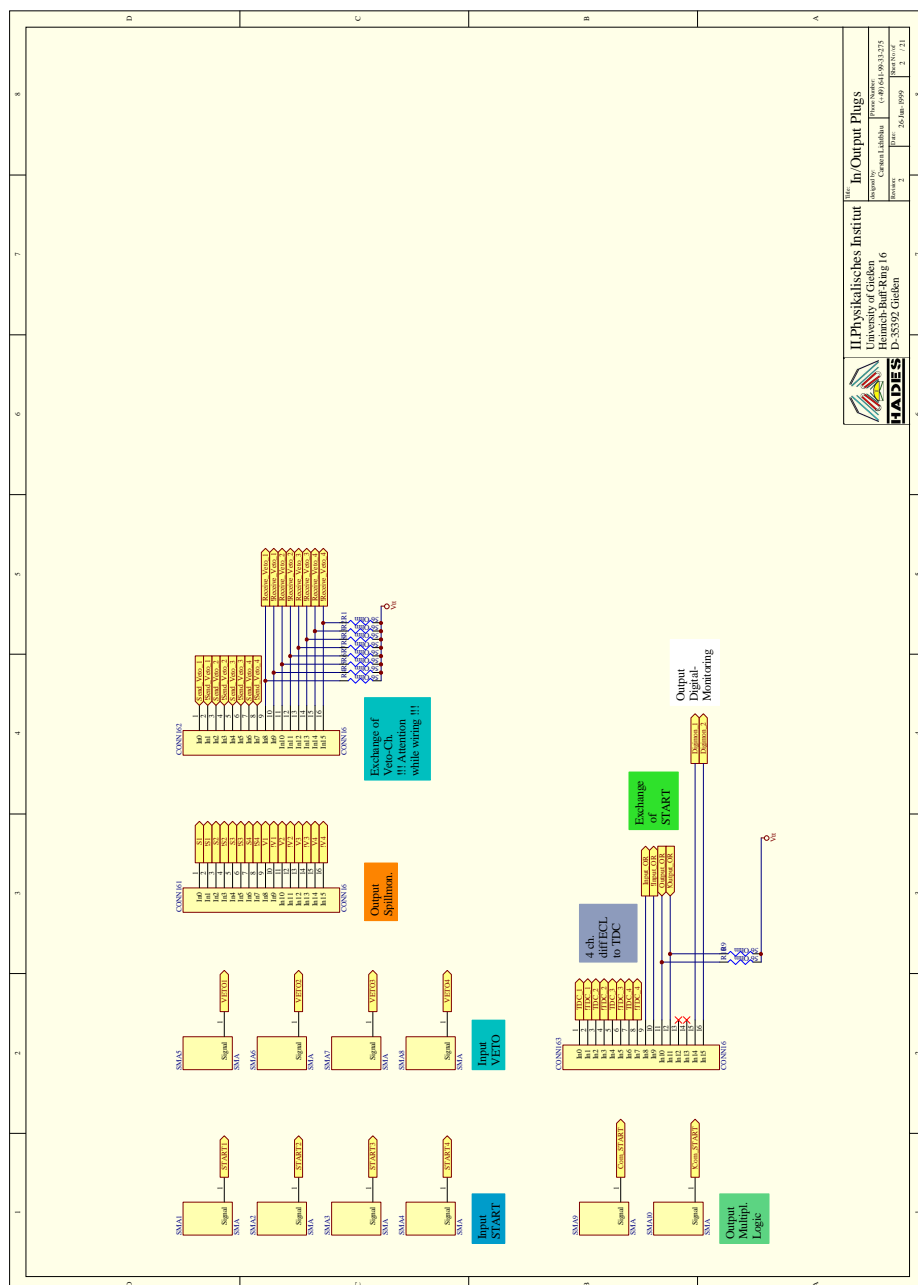


Abbildung A.2: Stecker für Ein- und Ausgangssignale

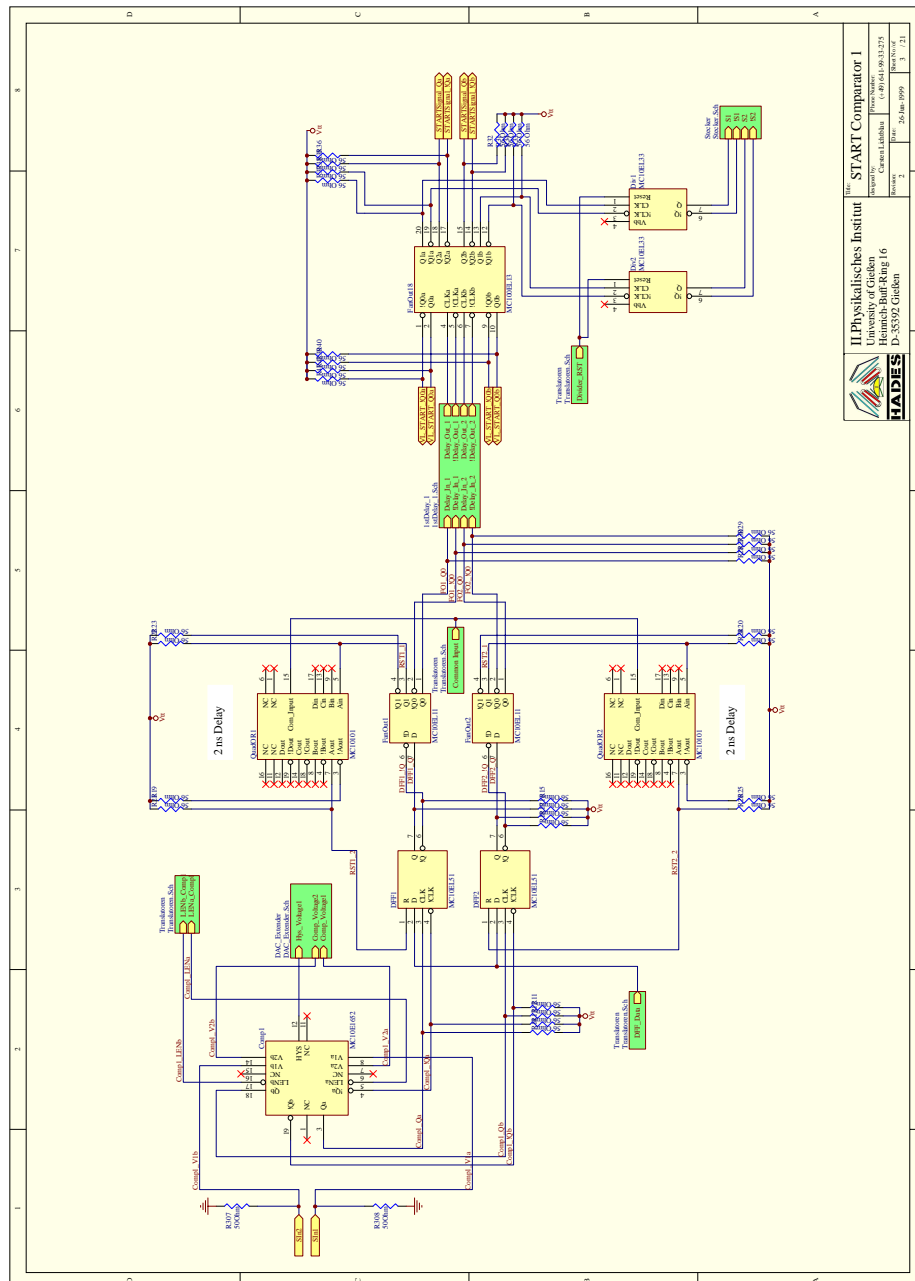
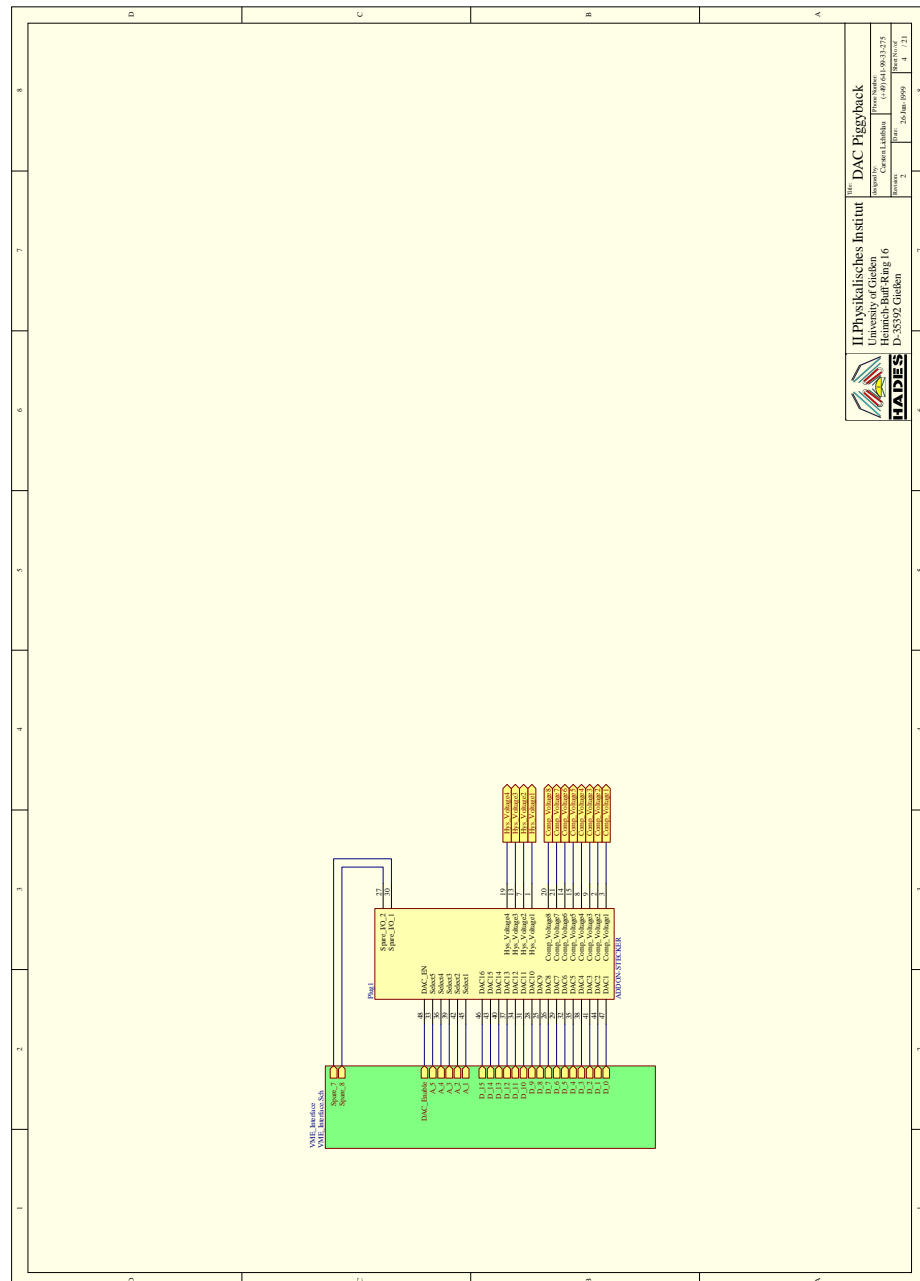


Abbildung A.3: Diskriminierung der unteren zwei Startdetektorsignalen



HADES

II Physikalisches Institut
 Universität Würzburg
 Hainstr. 6
 D-97082 Würzburg

Prof. Dr. DAC Piegibuck
 Dr. rer. oec. Cornelia Lehmann
 Tel.: +49 (0) 931 31 375
 Fax: +49 (0) 931 31 376
 E-Mail: dac@physik.uni-wuerzburg.de

Abbildung A.4: Verbindungsstecker zur Aufsteckplatine

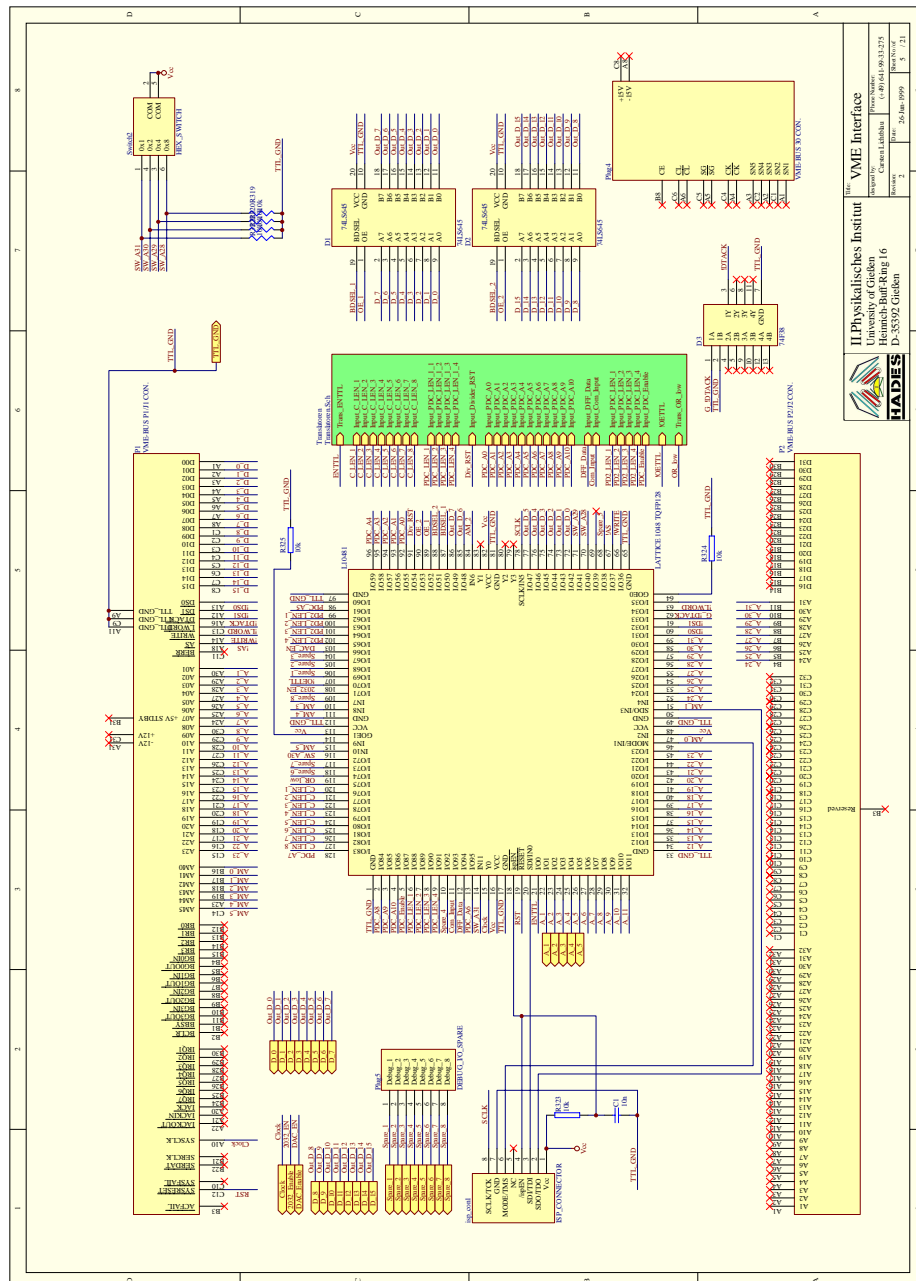


Abbildung A.5: Das VME Interface

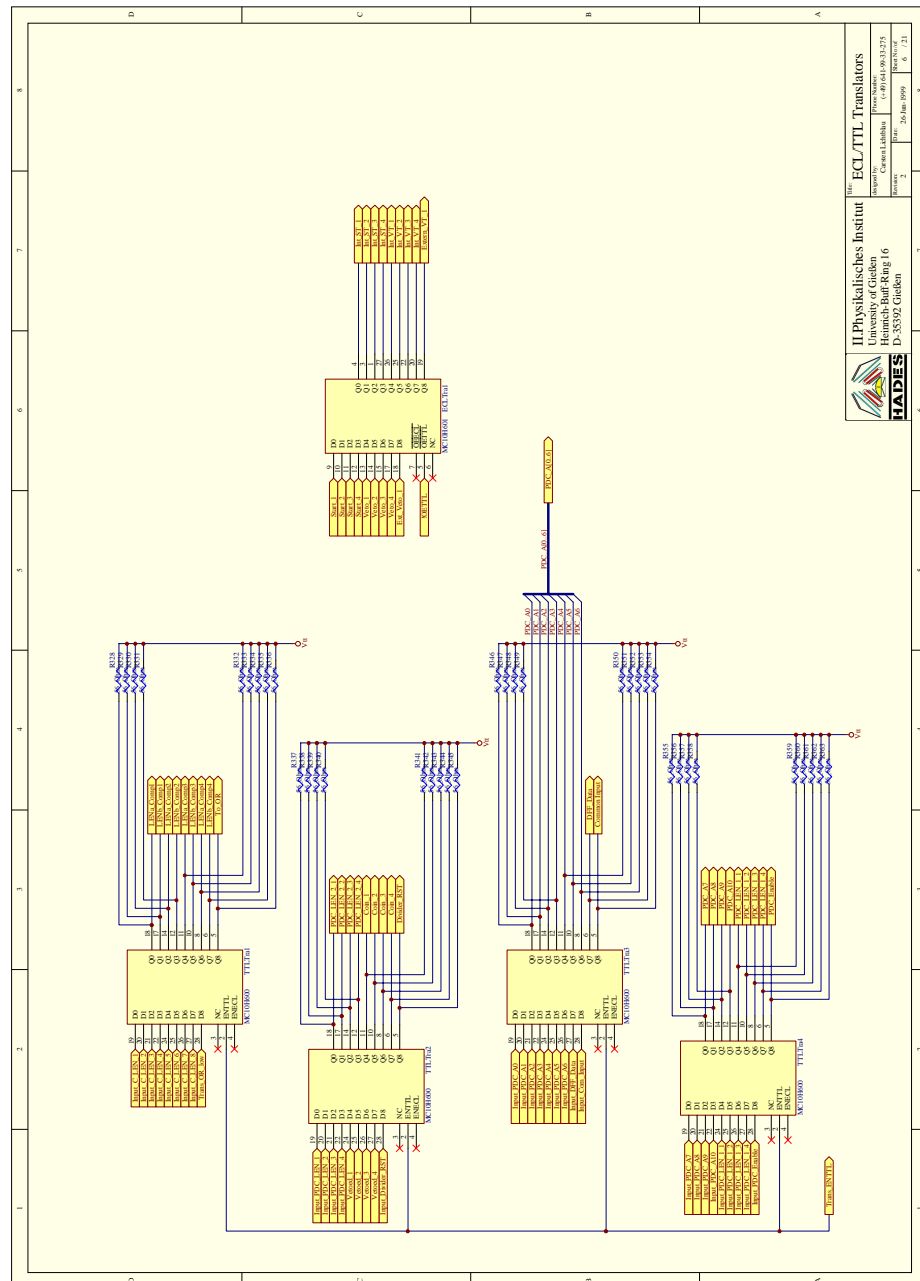


Abbildung A.6: ECL-TTL- und TTL-ECL-Translatoren

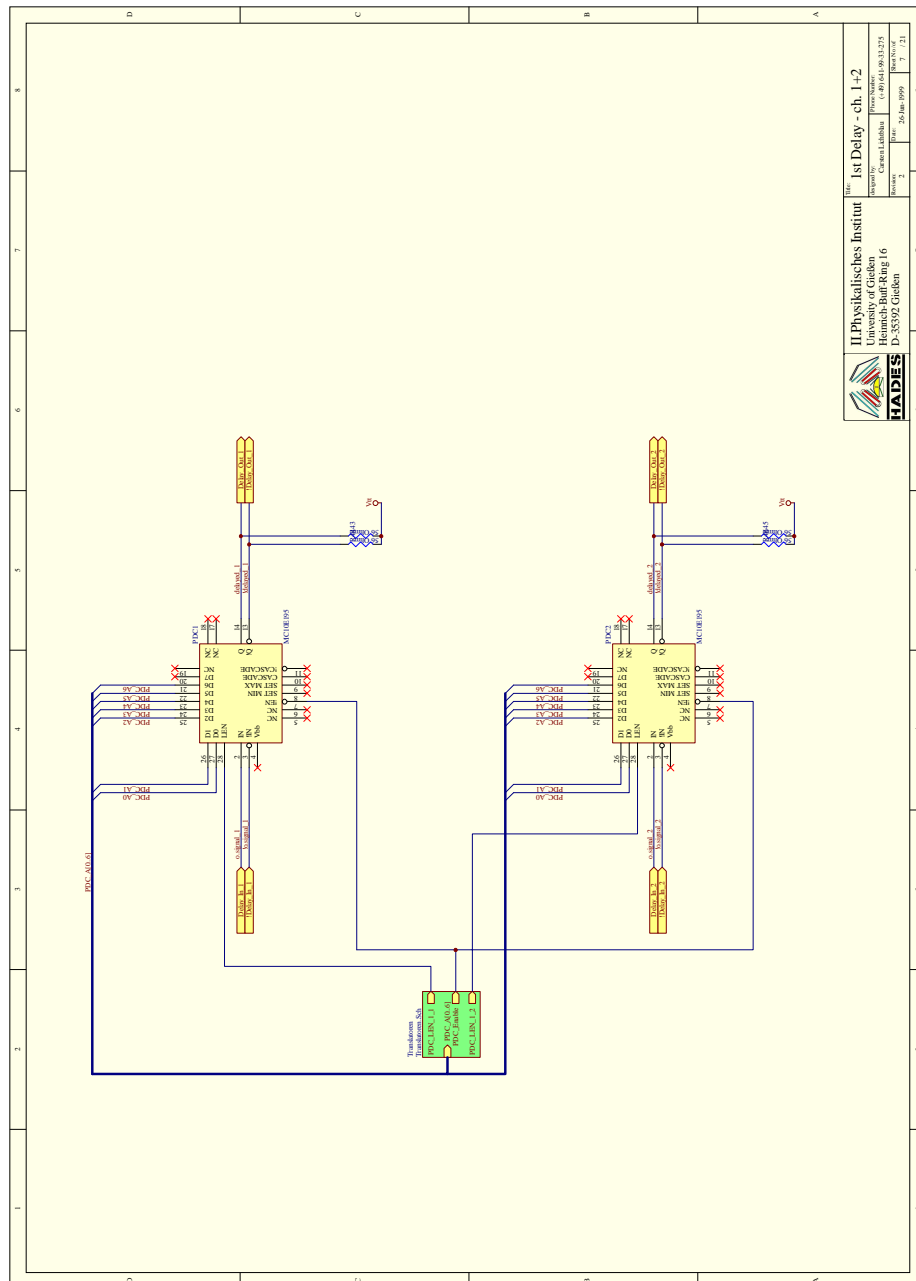
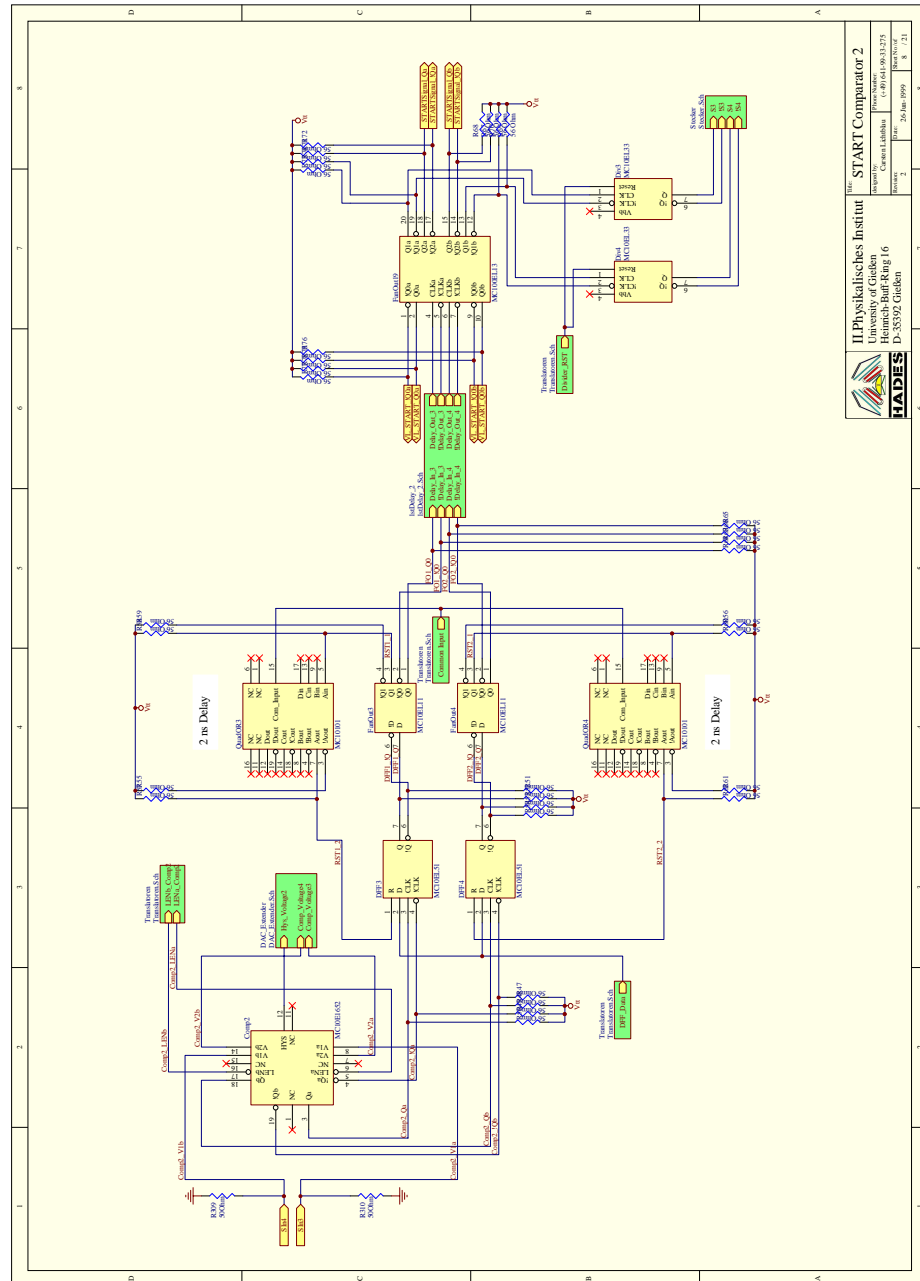


Abbildung A.7: Programmierbarer Delay zum Ausgleich der Start- und Vetosignale





HADES
 Institut für Physikalisches Institut
 Universität
 Heinrich-Heine-Ring 16
 D-40225
 Essen
 Tel: +49 (0) 201 181-3123
 Fax: +49 (0) 201 181-3124
 E-Mail: hades@uni-essen.de

Abbildung A.8: Diskriminierung der oberen zwei Startdetektorsignalen

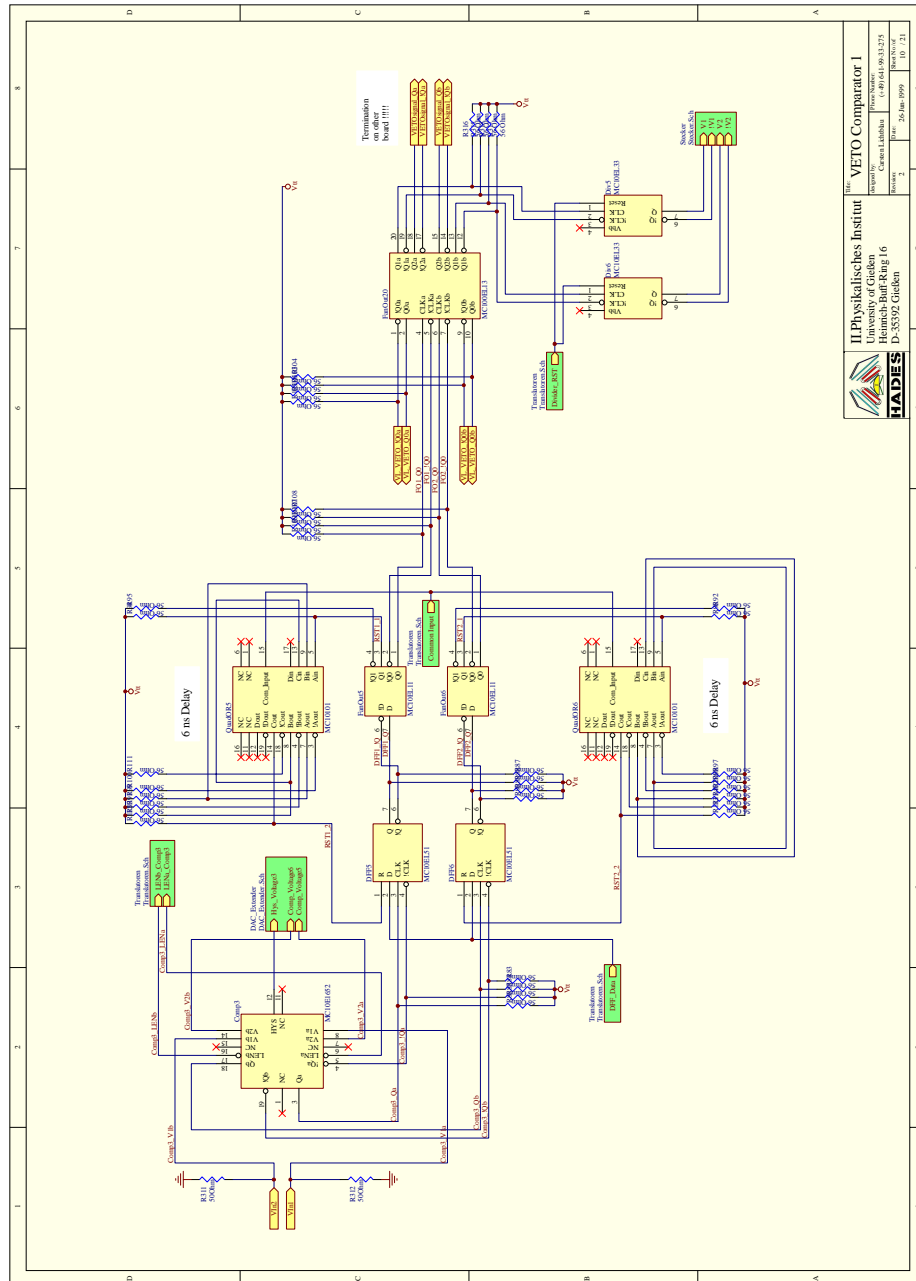


Abbildung A.9: Diskriminierung der unteren zwei Vetodetektorsignalen

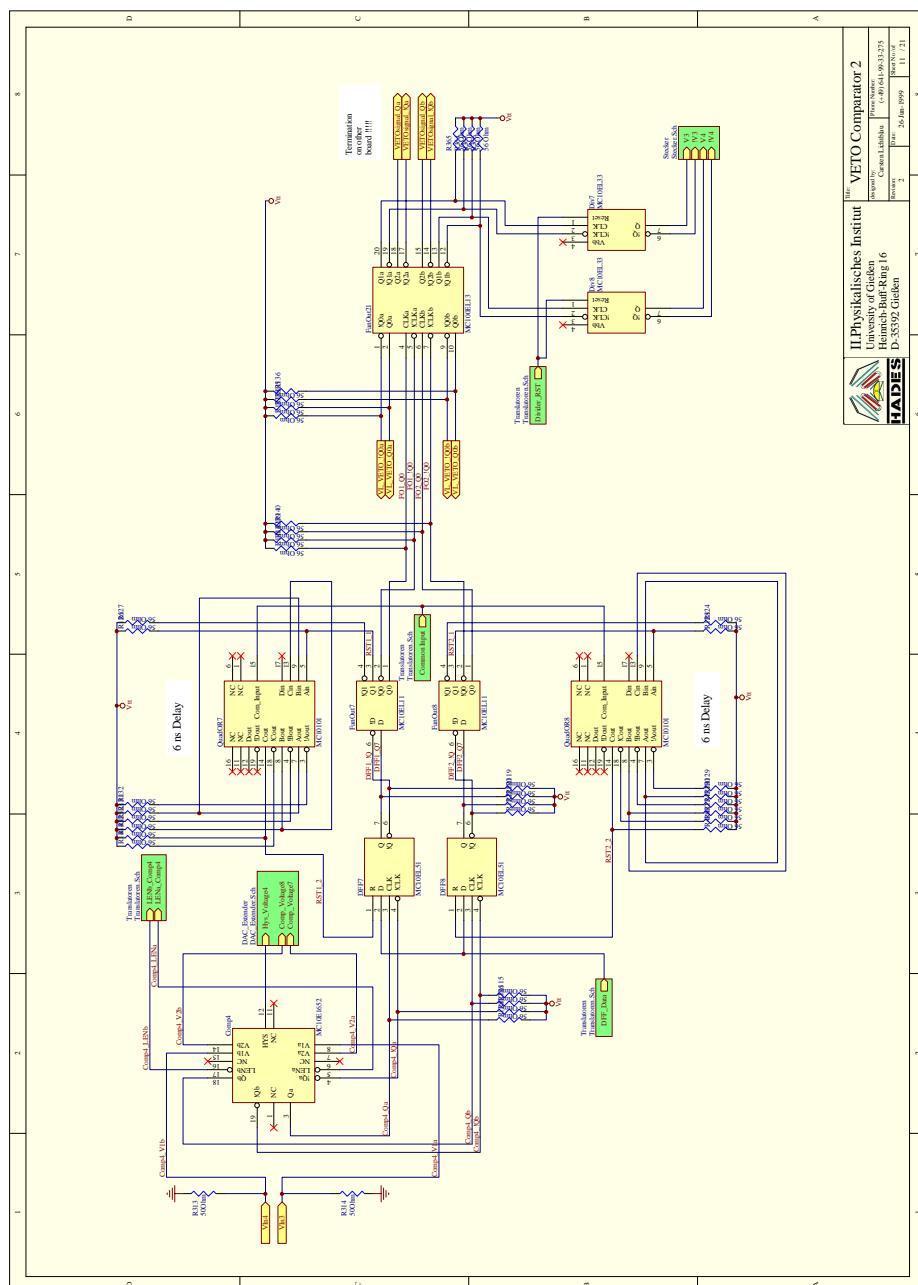
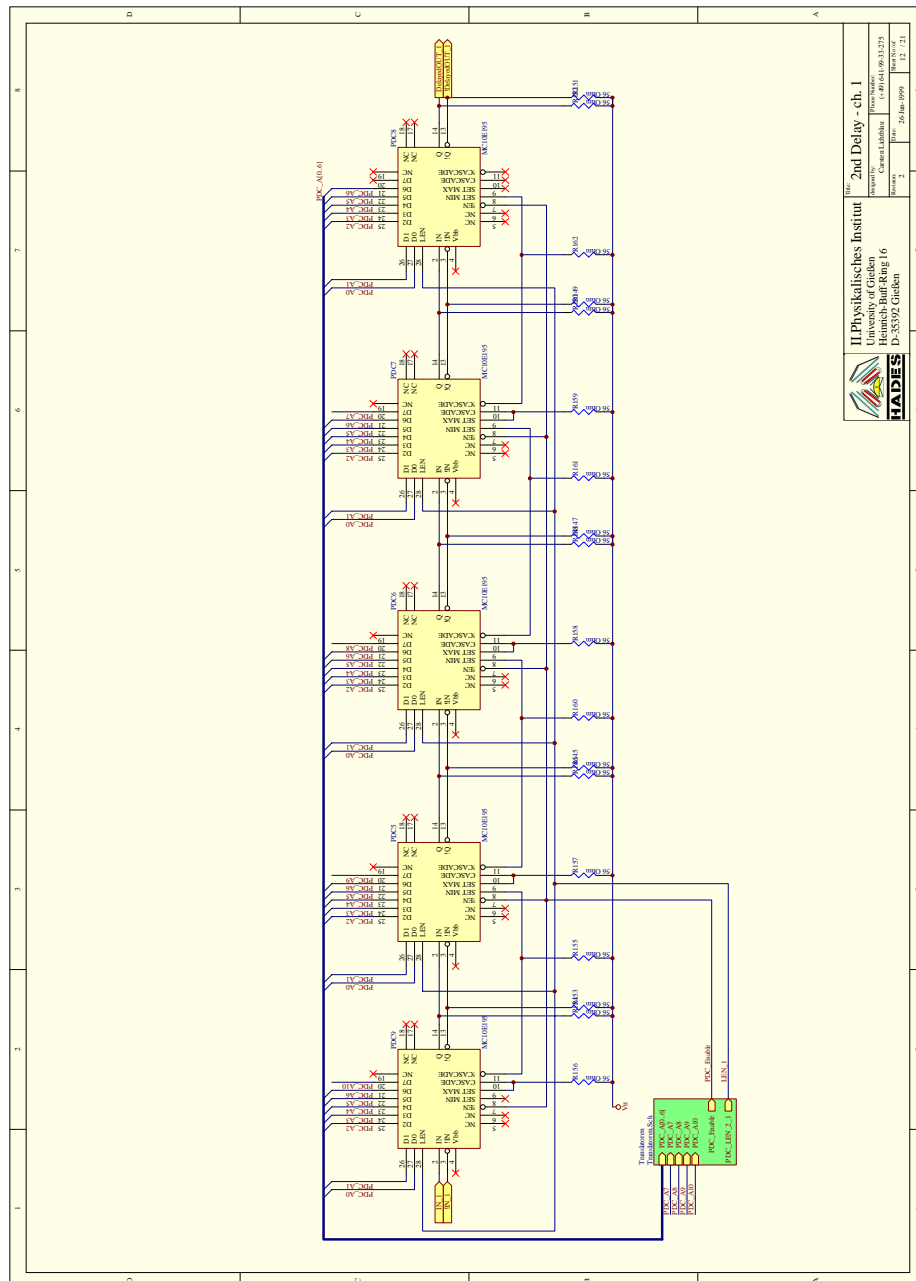


Abbildung A.10: Diskriminierung der oberen zwei Vetodetektorsignalen

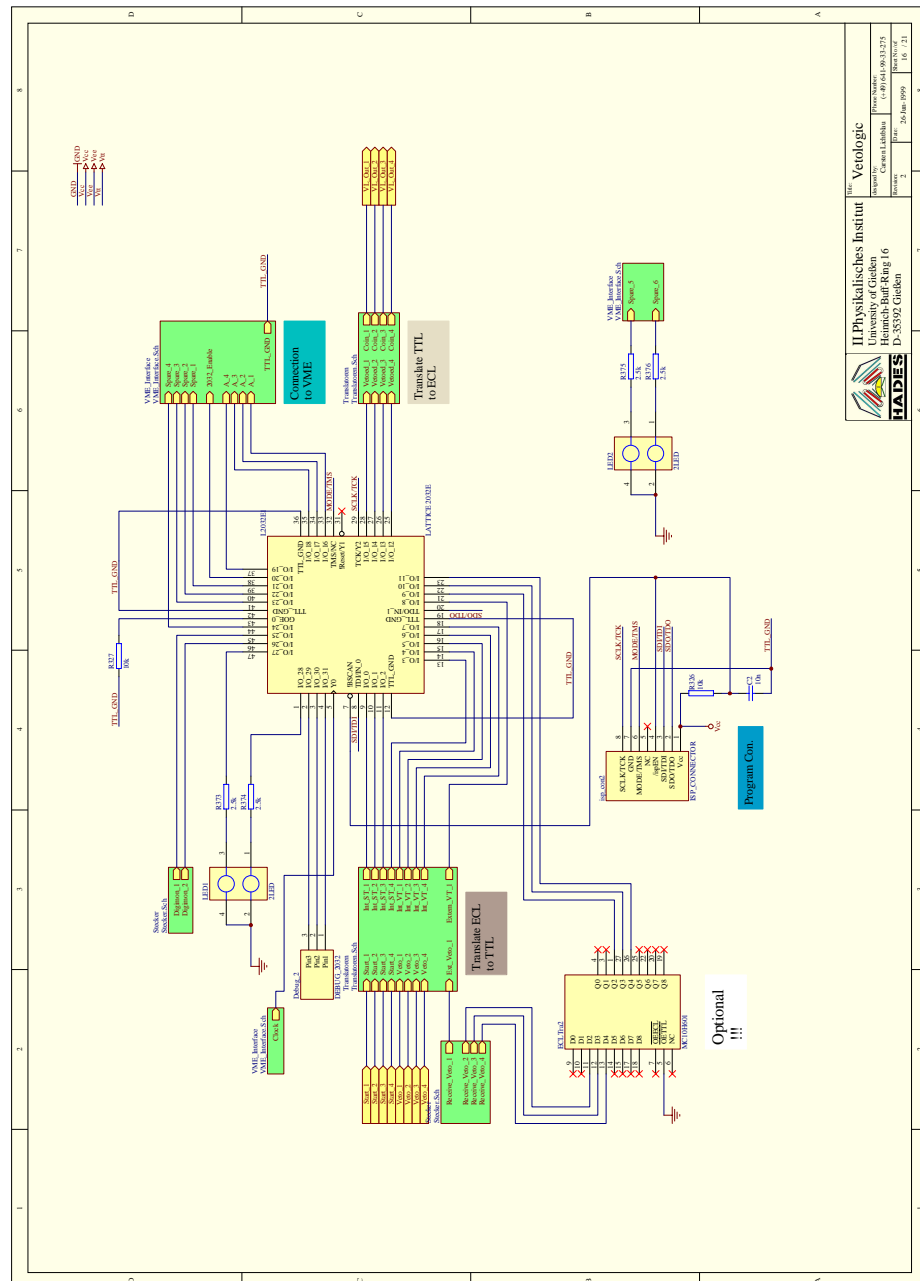


ILPhysikalisches Institut
 University of Gießen
 Heinrich-Buff-Ring 16
 D-35392 Gießen

HADES

Titel: 2nd Delay - ch. J
 Autor: Ceren Labibou
 c. labibou@physik.uni-giessen.de
 Datum: 26.04.1999
 Blatt: 2
 11 / 21

Abbildung A.11: Delaykette zum Verzögern des ersten Startdetektorsignals





HADES
 II. Physikalisches Institut
 Universität Gießen
 Heinrich-Buff-Ring 16
 D-35392 Gießen
 Tel.: 0641-89-31275
 Fax: 0641-89-31276
 E-Mail: hades@physik.uni-giessen.de

Abbildung A.12: Die Verilogik

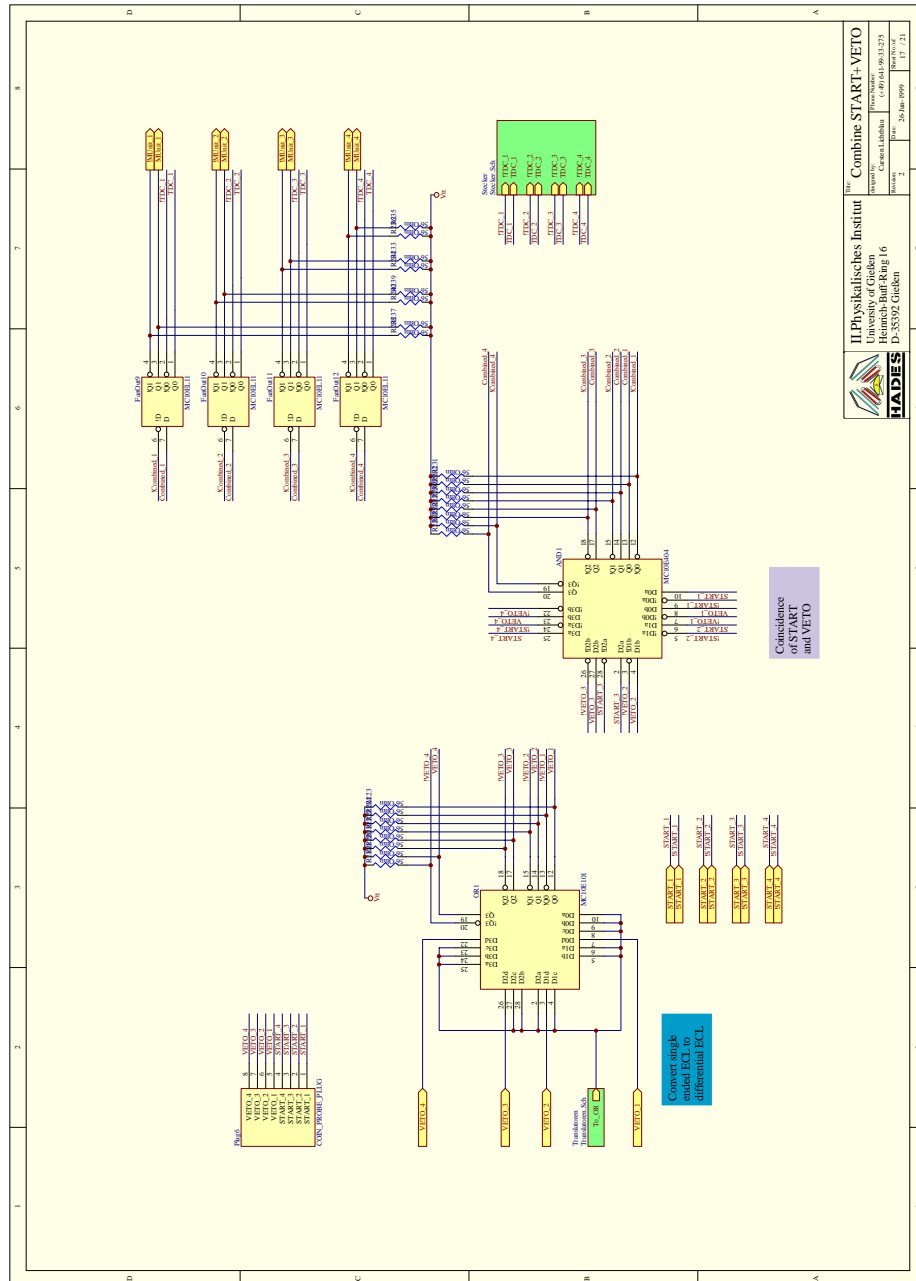


Abbildung A.13: Koinzidente Überlappung vor Start- und Vetosignale

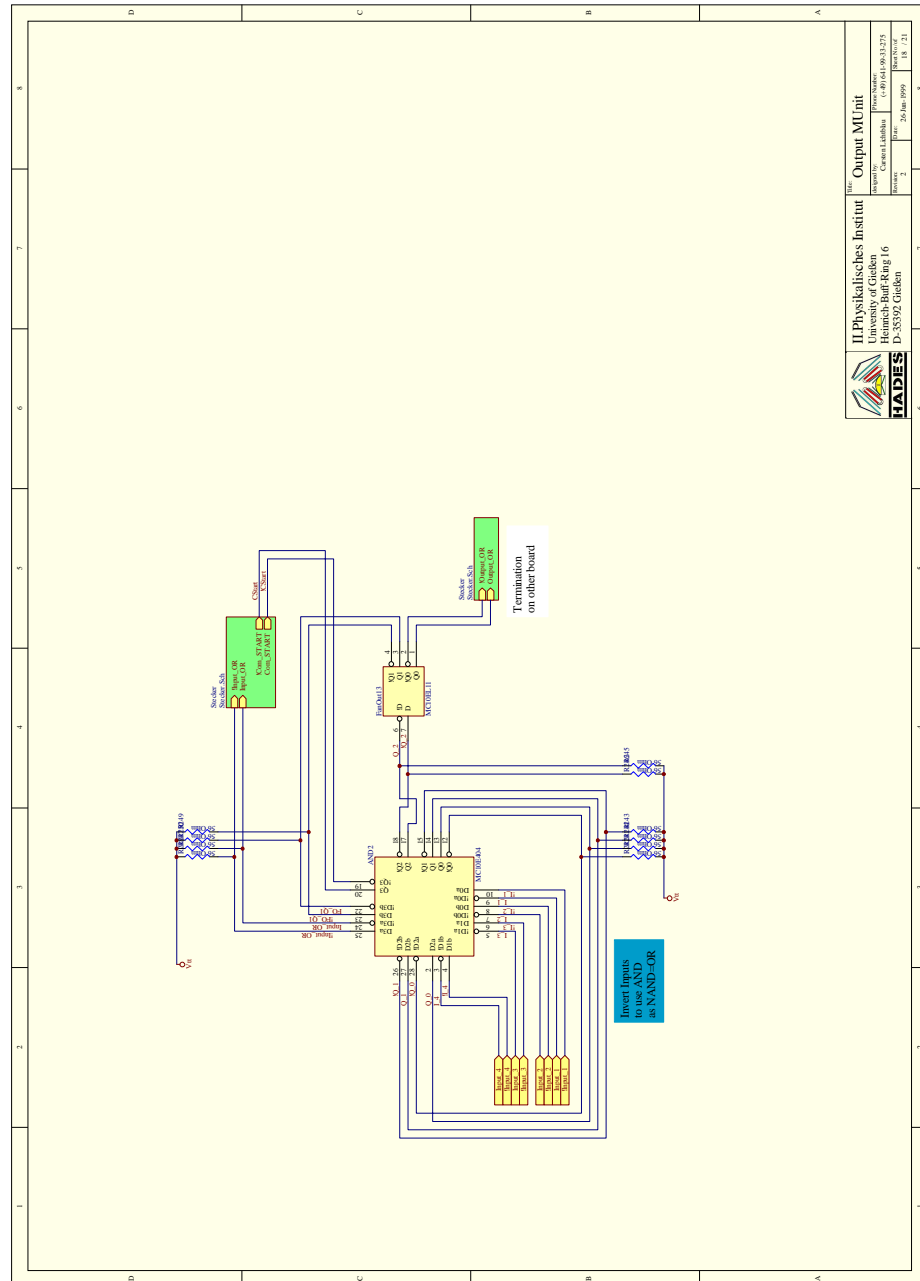
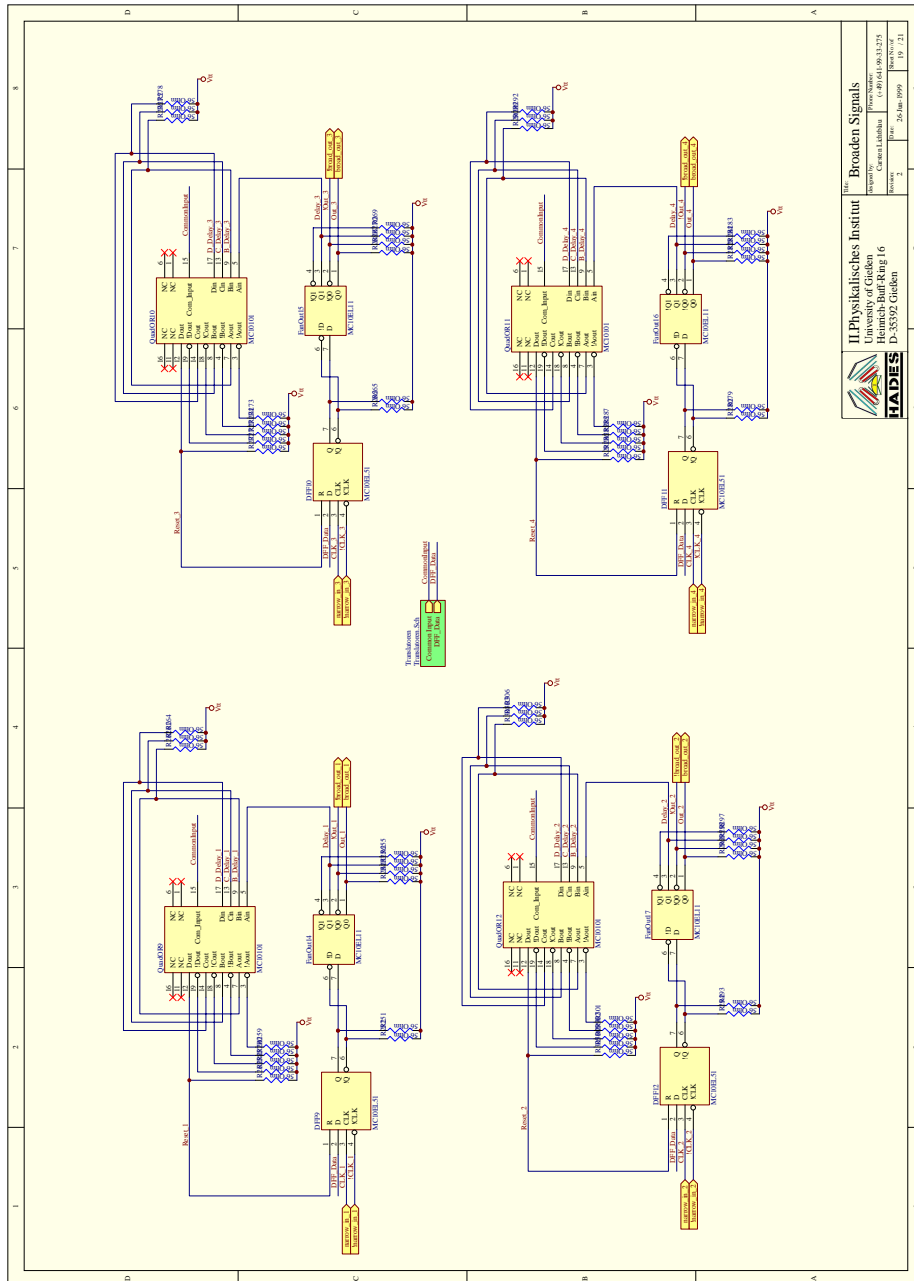


Abbildung A.14: Signale für die Multiplicity Trigger Unit




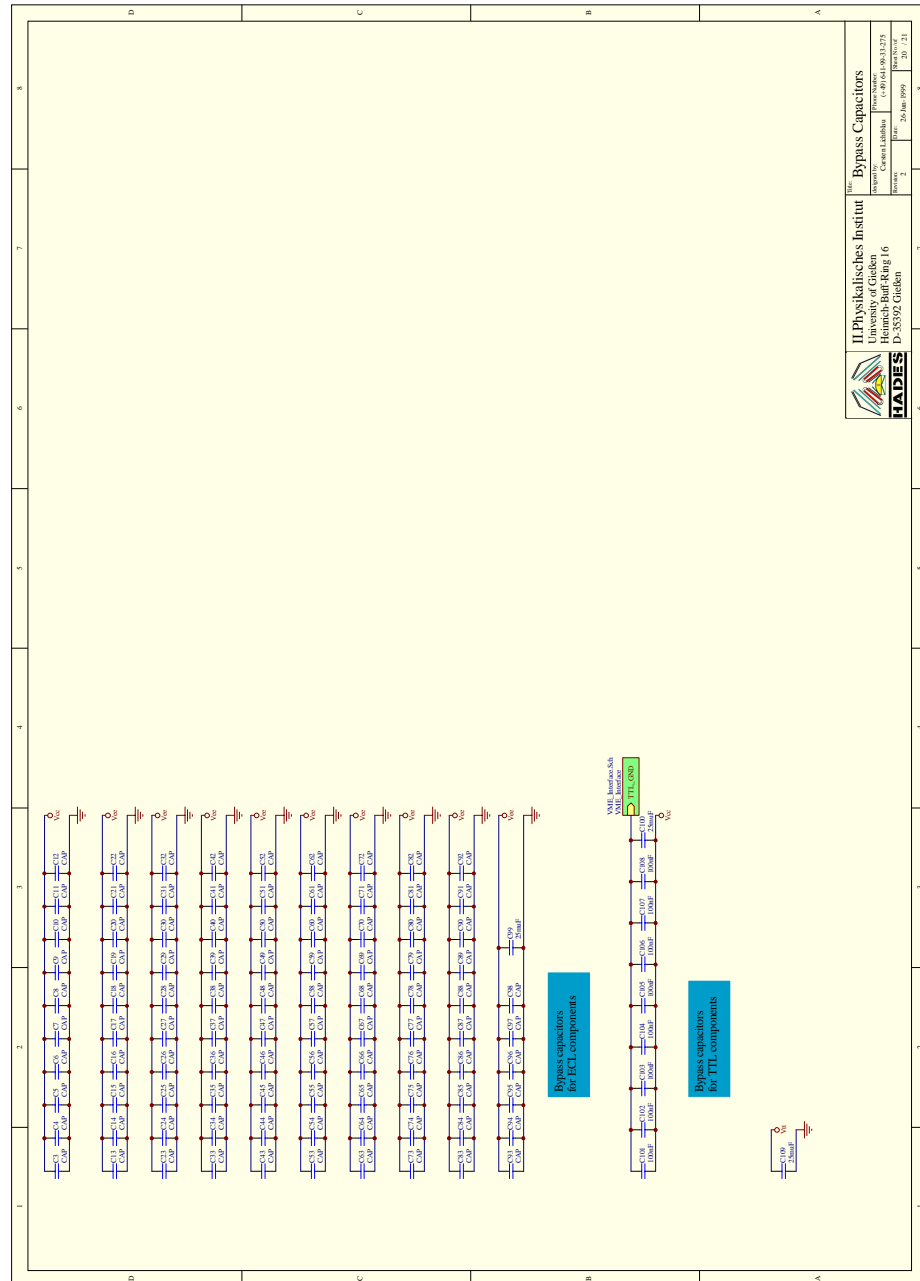

HADES
 IL Physikalisches Institut
 University of Gießen
 Heinrich-Buff-Ring 16
 D-35392 Gießen
 Prof. Dr. Peter Schuster
 c: schu@fd.ion.ist.tzi.de
 Prof. Dr. Peter Schuster
 26-Jan-1999
 19 / 21

Abbildung A.15: Verbreitern der Signale



HADES
 II Physikalisches Institut
 Max-Planck-Straße 1
 Heimbach-Bauhof-Ring 16
 D-53392 Gießen

Bypass Capacitors
 Universität Gießen
 Fachbereich Physik
 D-53392 Gießen

Page: 1 of 1
 Date: 20.10.2009
 Revision: 1.00

Abbildung A.16: Bypass-Kondensatoren

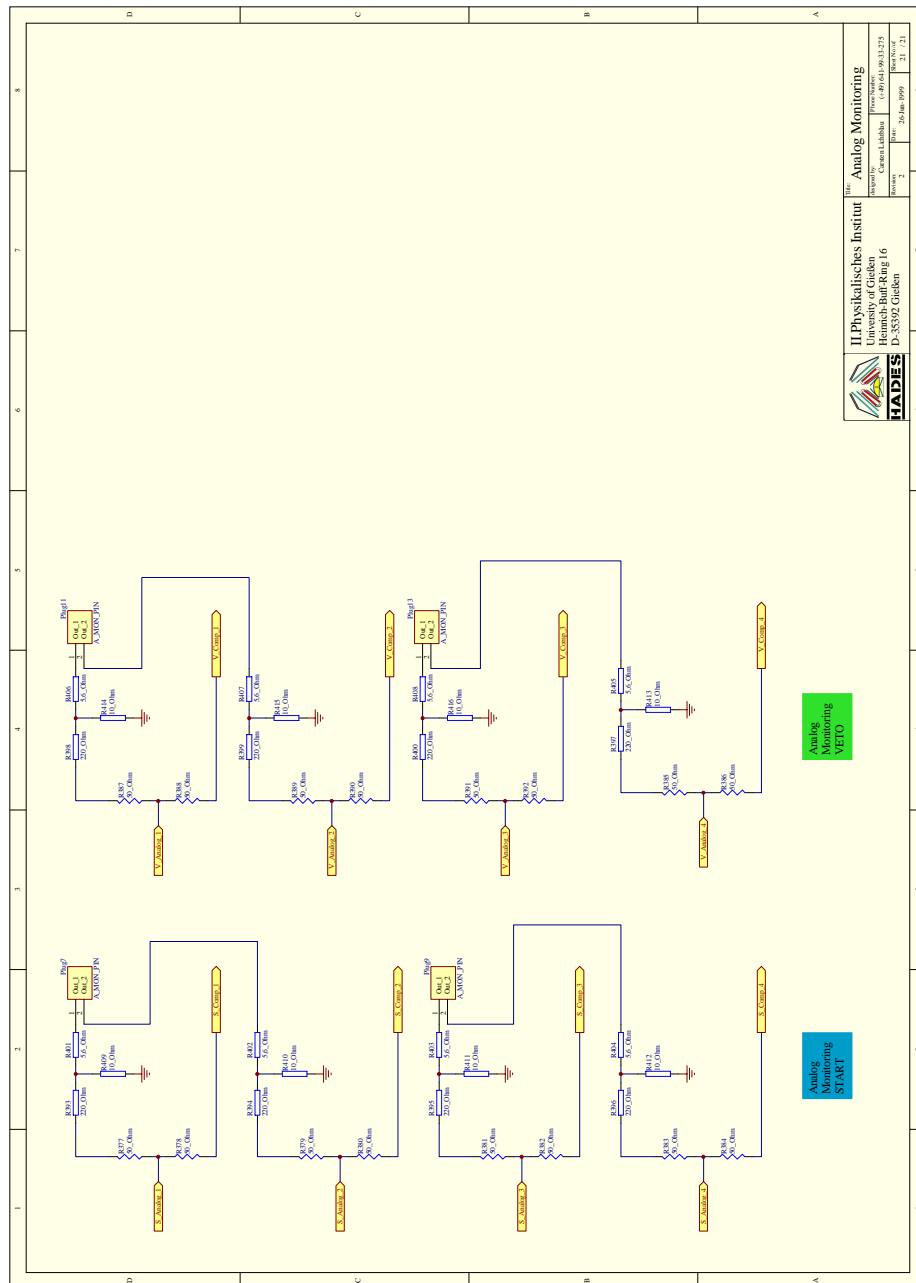


Abbildung A.17: Teilen der Analogsignale

Literaturverzeichnis

- [Asa92] ASAWAKA, ET AL.: . Phys.Rev., 46, 1992.
- [Bal99] BALESTRA, F., ET AL. *Submitted to Phys. Lett. B*, 1999.
- [Ber98a] BERDERMANN, E.: *Private Kommunikation*, Oktober 1998.
- [Ber98b] BERDERMANN, E., K. BLASCHE P. MORITZ H. STELZER F. ZEYTOUNI: *Diamond Detectors for heavy ion measurements*. GSI-Preprint-98-23, April 1998.
- [Bok97] BOKEMEYER, H, ET AL.: *Simulations of HADES TOF at 1 AGeV Au-Au collision*. Preprint ITEP 16-97, 1997.
- [Cas98] CASO, C., ET AL.: *Review of Particle Physics*. The European Physical Journal C3, 1998.
- [Cer34] CERENKOV, P.A.: *The invisible glow of pure liquids under the action of γ -rays*. 2, 1934.
- [HAD98] HADES, COLLABORATION: *Status and Detector Performance*. Technischer Bericht GSI, Darmstadt, 1998.
- [Her93] HERRMAN, M., ET AL. Nucl.Phys., 560:411, 1993.
- [Kön97] KÖNIG, W: <http://lepc03.gsi.de/startdet/startsim.ps>, 1997. Internal document.
- [Kön98a] KÖNIG, W: *The HADES Multiplicity Trigger Unit*, Februar 1998. Draft.
- [Kön98b] KÖNIG, W.: *Optimization of the HADES Startdetector*, January 1998. Internal document.

- [Kol94] KOLABORATION, HADES: *Proposal for a High Acceptance Di-Electron Spectrometer*. 1994.
- [Kra94] KRAFT, G., ET AL.: *Hadron in Oncology*. Elsevier, 1994.
- [Lau99] LAUE, F., ET AL. *Phys.Rev.Lett.*, Seite 1640, 1999.
- [Len98] LENKHEIT, BJÖRN: *Elektron-Positron-Paar Emissionen in Pb-Au-Kollisionen bei 158 A GeV*. Doktorarbeit, Ruprecht-Karls-Universität, Heidelberg, 1998.
- [Mor97] MORITZ, P, ET AL.: *Diamond Detectors for Beam Diagnostic in Heavy Ion Accelerators*. DIPAC III, 1997.
- [Mor98] MORITZ, P.: *Private Kommunikation*, Oktober 1998.
- [Mot96] MOTOROLA, INC. (Herausgeber): *High Performance ECL Data*. Motorola, 1996.
- [Per90] PERKINS, D.H.: *Hochenergie-Physik*. Addison-Wesley, 1990.
- [Pet93] PETERSON, W.D.: *The VMEbus Handbook*. VITA Verlag, 1993.
- [Ple98] PLEIER, M.A.: *Entwicklung eines Spill-Monitors zur Untersuchung der SIS-Strahlstruktur im Rahmen des HADES Experiments*. Diplomarbeit, II. Physikalisches Institut, Universität Gießen, 1998.
- [Por97] PORTER, R., ET AL. *Phys. Rev. Lett.*, 79(1229), 1997.
- [rd4] *CERN-Report: DRDC 94-21/P56*.
- [Sch95] SCHÖN, HEIKE: *HADES - Ein Dielektronenspektrometer hoher Akzeptanz für relativistische Schwerionenkollisionen*. Doktorarbeit, Johann-Wolfgang-Goethe-Universität, Frankfurt, 1995.
- [Sch97] SCHAFFNER, J., ET AL. *Nucl.Phys. A*, Seite 325, 1997.
- [Sen99] SENGER, P.: *Private Kommunikation*, Mai 1999.
- [Sib97] SIBIRTSEV, A., ET AL. *Z.Phys. A358*, Seite 101, 1997.
- [Wei94] WEISE, W.: *Workshop on Dilepton Production in Heavy Ion Reactions*. 1994.

Ich habe diese Arbeit selbstständig erstellt und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet.

Carsten Lichtblau Gießen, Juni 1999