Integration eines Lasermonitorsystems am elektromagnetischen Rückwärts-Kalorimeter (BEMC) des HERA-H1-Detektors

Experimentelle Physik-Diplomarbeit
am I. Institut für Experimentalphysik
der Universität Hamburg

vorgelegt von
Dieter Zarbock

1. Juni 1993

Kurzfassung

Das rückwärtige elektromagnetische Kalorimeter (BEMC) am HERA-H1-Detektor ist ein Blei-Szintillator-Sampling-Kalorimeter welches über Wellenlängenschieber und Photodioden ausgelesen wird. Im Rahmen mehrerer Diplomarbeiten ist ein Lasermonitorsystem zur Funktionskontrolle und zur Überwachung der Kalibration entwickelt worden. Hierbei werden die Lichtimpulse eines Stickstofflasers (337nm, UV) über ein optisches Verteilungs- und Transportsystem in das Kalorimeter eingekoppelt. Die Langzeitstabilität dieses Lasermonitorsystems wird mit Signalen aus γ-Präparaten, welche ebenfalls auf sogenannte Referenzphotodioden einstrahlen und zur Rekalibration der Laserpulse herangezogen werden, erzielt.

Der Beitrag dieser Arbeit besteht aus der abschließenden Entwicklung aller elektronischen und optomechanischen Bestandteile des Lasermonitorsystems, die außerhalb des H1-Detektors untergebracht sind. Die Systemintegration für das Lasermonitoring ermöglicht einen vollautomatisierten Betrieb, gestützt auf den OS9-VMEbus-Rechner des Datenacquisitionssystems dieses Kalorimeters.

Abstract

The backward electromagnetic calorimeter (BEMC) at the HERA-H1-Detector is a lead-scintillator-sampling-calorimeter which is readout via wavelengthshifters and photodiodes. In the scope of several diploma thesises a lasermonitorsystem is developed for function checks and calibration monitoring. A nitrogene laser (337 nm, uv) incouples for this light pulses into the calorimeter by using an optical distribution- and transmissionsystem. The stability of the lasermonitorsystem is obtained by recalibrating the laser signals to the signals of γ-sources, radiating onto so called reference-photodiodes.

The contribution of this thesis consists of the the final development of all electronic and optomechanical parts of the lasermonitorsystem which are placed outside the H1-detector. The System Integration for the lasermonitoring allows an automatic-steered-operation by the OS9-VMEbus-computer of the calorimeters data acquisition system.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

Kapitel 1

Einleitung

In Teilchendetektoren der Hoch- und Mittelenergiephysik werden Lasersysteme, die den Einfall von Elementarteilchen durch Lichteinspeisung simulieren, immer häufiger zu Diagnosezwecken eingesetzt. So wird im OPAL-Detektor am CERN das Kammergas der Jetkammer durch einen gepulsten UV-Laser zwecks Spurenerzeugung ionisiert um eine Orts bzw. Zeiteichung durchzuführen [Bon92]. Im KASCADE-Experiment [Völ92] nimmt eine UV-Dye-Laser-Kombination eine Zeiteichung des Detektors vor. In unserem Falle des elektromagnetischen Rückwärtskalorimeters (BEMC) am HERA-H1-Detektor soll ein Lasermonitorsystem zur Aufrechterhaltung der Energieeichung beitragen. Außerdem werden Linearitätstests und eine schnelle Funktionskontrolle aller Signalauslesekanäle möglich.

Die Entwicklung dieses Systems erforderte zahlreiche Laborexperimente und Testmessungen am Detektor. Sie ist niedergelegt in den nachstehenden Diplomarbeiten:

- [Sch89] enthält eine Monitorsystem-Bibliographie und die ersten Vorstudien zu Gesamtaufbau, Lichtquellen, Fasereigenschaften und Referenzsystemen.
- In [Fle90] wird ein erster Aufbau mit einem stickstoffgespülten UV-Laser entwickelt und ein erster Einschuß in ein BEMC-Modul vorgenommen. Desweiteren werden die Eigenschaften der letztlich im System verwendeten Quarzglasfasern ermittelt.
- Thema von [Gri91] ist die Stabilisierung des Lasermonitorsystems durch Referenzsysteme, insbesondere durch eine Photomultiplier-gestützte Variante.
- Die Ergebnisse von ersten Messungen am gesamten BEMC und X-Talk-Messungen (X-Talk $\equiv$ Elektronisches Übersprechen zwischen den Auslesekanälen auf der Frontend-Elektronik) sind in [Sri91] zu finden. Mit dieser Diplomarbeit wurde der Einbau der detektorseitigen Bestandteile des Lasermonitorsystems und die Verlegung der lichttransportierenden Quarzglasfasern abgeschlossen.

Im Rahmen der nun vorliegenden Arbeit mußte der laserseitige Aufbau komplett neu durchgestaltet werden. Hierfür war bereits ein neuer Laser mit gekapselter Stickstoffdauerfüllung geordert worden, welcher im Vergleich zum stickstoffgespültem Modell geringere Wartungs- und Sicherheitstechnische Maßnahmen erfordert. Bevor weitere optomechanische und elektronische Baugruppen beschafft bzw. in Entwicklung gegeben werden konnten, waren die Eigenschaften des neuen Lasers und die Rechnerumgebung genau zu untersuchen. Das Wunschziel bestand darin, einen Aufbau zu erhalten, der vollständig rechnergesteuert betrieben werden kann.

Das damit auftretende Problem der Systemintegration konnte auf besonders attraktive Weise gelöst werden. Hierbei werden Steuerung und Kontrolle von dem OS9-VMEbus-Rechner übernommen welcher auch das Datenacquisitionssystem für das BEMC steuert.

Diese Variante ermöglicht einen vollautomatisierten, und damit auch schichtmannschaftsgerechten, Betrieb des Lasermonitorsystems. Außerdem konnte nun auf ein breites Angebot von VME-Schnittstellenkarten für industriellen Einsatz zurückgegriffen werden.

Bei der Systemintegration war zu beachten, daß das Lasermonitorsystem an mehreren Punkten mit Detektorsystemen in Verbindung treten muß. Die Entfernung zwischen allen auftretenden Schnittstellen, führte zu mehreren, räumlich getrennt untergebrachten, elektronischen Baugruppen des Lasermonitorsystems. Entsprechend war der volle Arbeitsumfang aufzugliedern in mehrere sorgsam aufeinander abzustimmende Teilarbeiten, wie: die Auswahl der VME-Schnittstellenkarte, die Auswahl bzw. Konstruktion weiterer optomechanischer Komponenten, die Entwicklung eines geeigneten Treiberinterfaces und letztlich die Entwicklung einer Triggergenerierungselektronik für das Datenacquisitionssystem.

Um der Zeitplanung des H1-Experiments gerecht werden zu können, war ein koordiniertes Zusammenwirken von Kräften des I. Instituts, DESY, und Fremdfirmen unverzichtbar.

Die anschließenden Kapitel gliedern sich wie folgt:

- Kapitel 2 und 3 beschäftigen sich allgemein mit dem HERA-Speicherring, den Detektoren und mit der Physik im Rückwärtsbereich des HERA-H1-Detektors.
- Die Kalibration und das Lasermonitoring am BEMC werden in Kapitel 4 erläutert.
- Kapitel 5 stellt die optomechanischen Komponenten des Lasermonitorsystems vor; insbesondere auch die Labormessungen zum neuen Laser, welche für die Systemintegration wichtig sind.
- Die eigentliche Systemintegration und die Beschreibung der elektronischen Komponenten des Lasermonitorsystems inclusive der unterstützten Betriebsmodi sind Thema von Kapitel 6.
- In Kapitel 7 sind Meßeinsätze von Vormessungen am BEMC dokumentiert. Von besonderem Interesse sind hierbei die Lichtsammeleffizienzen der unterschiedlichen BEMC-Auslesekanäle bei Lasereinschuß.
- Die Kapitel 8 und 9 geben einen Statusbericht zum Stand des Lasermonitorsystems und einen Leitfaden für künftige Arbeiten.

Kapitel 2

HERA-H1-BEMC

2.1 Vorbemerkung

Die Suche nach immer kleineren Strukturen der Materie ist Gegenstand der Elementarteilchenphysik. Sie wird geleistet mit Streuexperimenten wie HERA, bei dem Elektronen und Protonen auf hohe Energien beschleunigt und miteinander zur Kollision gebracht werden. Die Messung von Viererimpulsen der emittierten Teilchen und Jets mit geeigneten Detektoren ermöglicht die Bestimmung der Impulsverteilung von Quarks und Gluonen im Proton, die Produktion seltener Teilchen und das Austesten der QCD bis an die Grenzen des Gültigkeitsbereichs der Theorie. HERA erschließt einen kinematischen Bereich, beginnend mit von der elektromagnetischen Wechselwirkung beherrschten Wirkungsquerschnitten, über die γ/Z^0-Interferenz hinaus, bis in von der schwachen Wechselwirkung dominierte Regionen in denen diese Wechselwirkung im eigentlichen Sinne nicht mehr als "schwach" bezeichnet werden kann. Die mögliche Verwendung von polarisierten Elektronen erlaubt zusätzliche Fragestellungen über die linkshändige "Natur" der schwachen Wechselwirkung. [Ing87, Buc91]

2.2 Der HERA-Speicherring

Am 1. Oktober 1992 wurde bei **DESY**[1] der wissenschaftliche Betrieb des Beschleunigers **HERA**[2] und seiner beiden Detektoren H1 und ZEUS offiziell aufgenommen. Allein der Aufbau des Beschleunigers erforderte eine reine Bauzeit von sechseinhalb Jahren und einen Gesamt-Investitionsaufwand von über 1. Mrd DM. Er wurde geleistet unter Beteiligung von Wissenschaftlern aus zwölf Ländern.

HERA ist ein unterirdisch verlegter Doppel-Speicherring mit einem Umfang von $6,3\,km$ (s. Abb. 2.1 links). Elektronen und Protonen laufen hier in parallel zueinander verlegten Ringen in entgegengesetzter Richtung um, und können auf Endenergien von bis zu $30\,GeV$ bzw. $820\,GeV$ beschleunigt werden. An vier geraden Ringabschnitten kommen die Elektronen und Protonen zur Frontalkollision.

Bei den obengenannten Teilchenenergien steht eine Schwerpunktsenergie von $\sqrt{s} = 314\,GeV^2/c^2$ zur Verfügung. Ein konventioneller Experimentaufbau mit ruhendem Protonentarget würde bei gleicher Schwerpunktsenergie einen Elektronenstrahl von von $52\,TeV$ erfordern.

Bevor die Elektronen und Protonen in HERA auf die Endenergie beschleunigt werden können, müssen sie zuerst erzeugt, in mehreren Stufen vorbeschleunigt und in HERA eingeschossen werden (s. Abb. 2.1 rechts). So werden die Elektronen mit Glühemission erzeugt,

---

[1] Deutsches-Elektronen-Synchrotron, Hamburg

[2] Hadron-Elektron-Ring-Anlage

in einem Linearbeschleuniger, dem LINAC I, vorbeschleunigt und mit $200\,MeV$ Energie in das Synchrotron DESY II eingespeist. Dort werden sie weiter auf $7\,GeV$ gebracht. Im Synchrotron PETRA II erreichen die Elektronen dann $14\,GeV$, die Einschußenergie für Elektronen in HERA.

Für die Bereitstellung von Protonen werden zunächst Wasserstoff(H$^-$)-Ionen erzeugt, mit einem Hochfrequenz-Quadrupol auf eine Energie von $750\,keV$ und darauf mit dem H^--LINAC auf $50\,MeV$ beschleunigt. Beim Einschuß in DESY III werden dann die beiden Elektronen von den H$^-$-Ionen abgestreift. Die Protonen werden danach in DESY III auf $7,5\,GeV$ und anschließend im Synchrotron PETRA auf $40\,GeV$ Energie beschleunigt. bevor sie in den Protonenring von HERA gelangen [Smü 90].

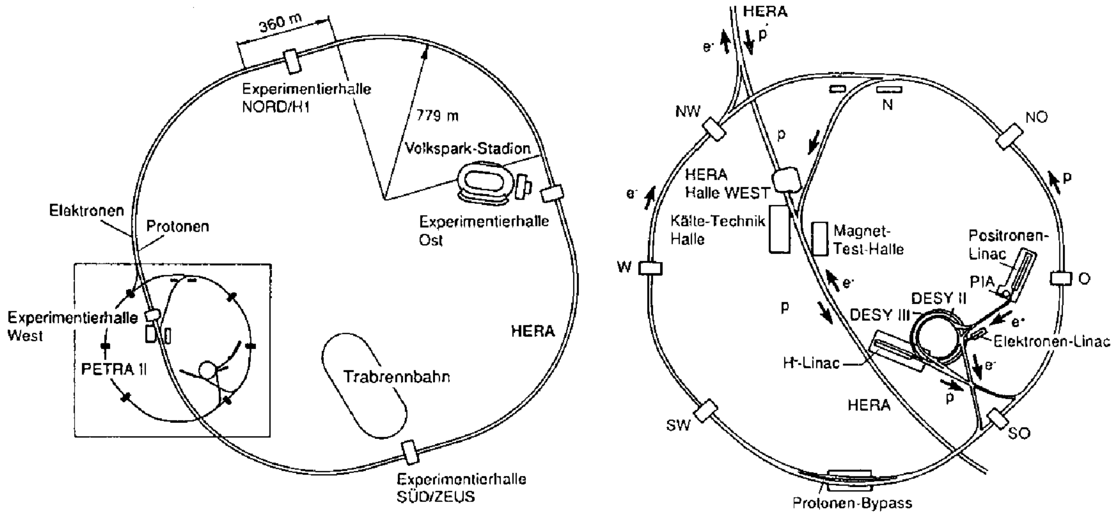


Abb. 2.1: *Der HERA-Speicherring und seine Vorbeschleuniger*
Der linke Teil der Abbildung zeigt den gesamten Speicherring mit seinen Experimentierhallen; auf der Ausschnittvergrößerung im rechten Teil sind die Vorbeschleuniger deutlich zu erkennen

Charakteristisch für HERA ist der Einsatz von supraleitenden Magneten für den Protonenring. Um die Protonen bei HERA-Energien führen zu können sind Magnetfeldstärken von ca. 5 *Tesla* erforderlich. Dies ist mit normalleitenden Magneten praktisch nicht realisierbar; zudem lägen die Kosten für den Stromverbrauch deutlich über den Kosten, die für die Kühlung der supraleitenden Magnete anfallen. Die supraleitenden Magnete werden in HERA mit flüssigen Helium bei $4\,K$ gekühlt. Dieses wird den Magneten, über im Tunnel (s. Abb. 2.2) verlegte Versorgungsleitungen, zugeführt.

Für den Elektronenring konnten normalleitende Magnete verwendet werden da hier nur Ablenkfelder von ca. 0.2 *Tesla* notwendig sind. Problematisch ist hier das Anwachsen der Synchrotronstrahlungsverluste mit der vierten Potenz der Energie der Elektronen. Die Leistung des Hochfrequenz-Beschleunigungssystems setzt daher die obere Grenze für die erreichbare Elektronenenergie.

Elektronen und Protonen laufen in den Speicheringen gebündelt zu Paketen, sogenannten *Bunches* umher. Bei den Designwerten von je 210 Elektronen- und Protonenbunches ergibt sich daraus eine Kollisionsrate von $10.4\,MHz$ in den Wechselwirkungspunkten. Dies entspricht einem zeitlichen Abstand von $96\,ns$ zwischen zwei *bunchcrossings*. Werden alle Designparameter (s. Tab. 2.1) erreicht, so sollte bei HERA eine Luminosität von $1,5 \cdot 10^{31}\,cm^{-2}sec^{-1}$ zur Verfügung stehen .

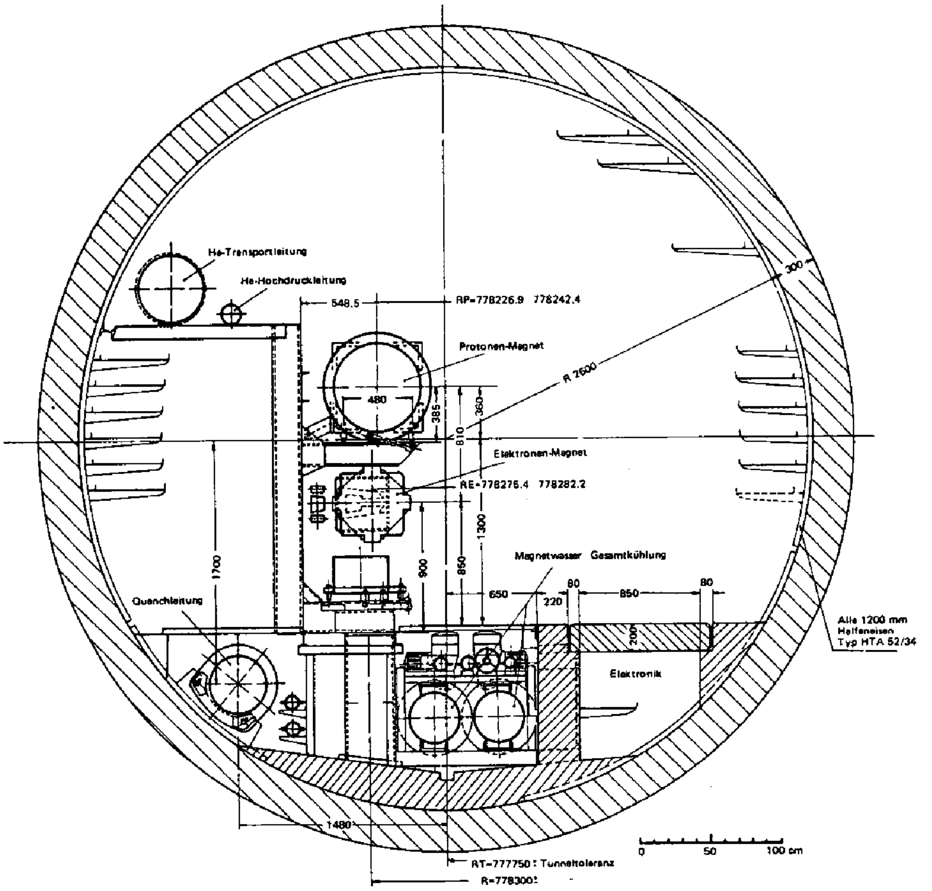


Abb. 2.2: *Der HERA-Tunnel [Vos88]*
In der Querschnittszeichnung sind die neben den Magneten für Elektronen- und Protonenring auch einige Versorgungsleitungen dargestellt

Design-Parameter	Protonenring	Elektronenring
Einschußenergie	$40\,GeV$	$14\,GeV$
Endenergie	$820\,GeV$	$30\,GeV$
Schwerpunktsenergie	$314\,GeV$	
Luminosität	$1,5 \cdot 10^{31}\,cm^{-2}sec^{-1}$	
Strahlbreite in den WW-Punkten	$0.300\,mm$	$0.264\,mm$
Strahlhöhe in den WW-Punkten	$0.095\,mm$	$0.017\,mm$
Teilchenstrom	$160\,mA$	$60\,mA$
Teilchenanzahl pro Bunch	10^{11}	$3,5 \cdot 10^{10}$
Anzahl der Bunche im Ring	je 210	
Bunchlänge	$44\,cm$	$3\,cm$
Bunchabstand	$28.8\,m$ (bei $96\,ns \approx 10.4\,MHz$)	
Strahlkreuzungswinkel	$0\,mrad$ (Frontalkollision)	
Allgemeines		
Magnete	normalleitend	supraleitend
Tunnelumfang	$6.3\,km$	
Tunneltiefe	10 — $25\,m$	
Bauzeit	Mai 1984 — November 1990	

Tab. 2.1: *Design-Parameter des HERA-Speicherringes [Smü90]*

2.3 Der H1-Detektor

H1 und ZEUS sind sogenannte Hybrid-Detektoren, d. h. Detektoren, die aus Subdetektoren unterschiedlicher Bauart bestehen. Bei solchen Detektoren ist der Wechselwirkungspunkt zunächst von Spurenkammern umgeben, die die Bahn der einfallenden Teilchen registrieren. Um diese Spurenkammern herum sind Kalorimeter gebaut. In diesen Kalorimetern schauern Elektronen und Hadronen auf. Die im Kalorimeter gemessene Schauerenergie ist ein Maß für die Energie der eingefallenen Teilchen.

Beide Hybrid-Detektoren sind asymmetrisch um den Wechselwirkungspunkt gebaut. Dieser Umstand trägt der Tatsache Rechnung, daß bei HERA der gemeinsame Schwerpunkt der miteinander kollidierenden Elektronen und Protonen nicht stillsteht, sondern sich in Richtung des Protonenstrahls bewegt.

Die Protonenrichtung ist laut HERA-Konvention die Vorwärtsrichtung (auch 0°-Richtung genannt); die Elektronenrichtung entsprechenderweise die Rückwärtsrichtung.

Der H1-Detektor (s. Abb. 2.3) besitzt um den Wechselwirkungspunkt (*Vertex*) Vieldrahtproportionalkammern (*MWPC's*) zur Spurenbestimmung. Um die Spurenkammern sind drei Kalorimeter von unterschiedlicher Bauweise und Funktion, das Liquid-Argon-Kalorimeter, im Rückwärtswinkelbereich das BEMC und im extremen Vorwärtswinkelbereich das PLUG-Kalorimeter angeordnet.

Die Kalorimeter bestehen aus wechselnden Schichten von aktivem und passivem Material. Im passiven Material schauern Elektronen und Hadronen auf; der Elektronenstrahl unter Bremsstrahlungsemission ($e \rightarrow e', \gamma$) und Paarbildung ($\gamma \rightarrow e^+, e^-$). Als passives Material werden für den Elektronenschauer Blei, und für den hadronischen Schauer Eisen und Kupfer verwendet.

Das Liquid-Argon-Kalorimeter überspannt den größten Teil des Raumwinkels um den Wechselwirkungspunkt. Die in seinen flüssig-Argon-Schichten erzeugten Elektronen werden nach dem Ionisationskammerprinzip zur Energiebestimmung verwendet.

Das BEMC ist das elektromagnetische Kalorimeter im Rückwärtsbereich des H1-Detektors und deckt dort den Winkelbereich zwischen 155° und 175° ab. Es besteht aus Bleiabsorber- und SCSN38-Szintillatorplatten, die über Wellenlängenschieber und Photodioden ausgelesen werden. Seine Beschreibung ist Gegenstand von Abschnitt 2.4.

Das PLUG-Kalorimeter ist ein mit Siliziumhalbleitern instrumentiertes hadronisches Kalorimeter und damit zur Energieverlustmessung im extremen Vorwärtsbereich geeigneter. PLUG und BEMC werden als *warme* Kalorimeter bezeichnet, da sie keine kryostatische Kühlung erfahren. Die Temperatur im Liquid-Argon-Kalorimeter beträgt 80 *Kelvin*.

Die Kalorimeter sind von einer supraleitenden Spule umgeben, welche ein $1,2$ *Tesla* starkes axiales Magnetfeld in ihrem Inneren erzeugt. Aus der Bahnkrümmung im Magnetfeld läßt sich die Ladung, und für niedrige Energien der Teilchenimpuls errechnen. Die supraleitende Spule besitzt einen Durchmesser von ca. $5,8$ *Meter* und wird mit flüssigem Helium auf 4 *Kelvin* abgekühlt. Eine Beeinträchtigung der Strahlqualität von HERA durch das Magnetfeld wird durch den Einbau spezieller Kompensationsmagnete vermieden.

Weiter außerhalb des Detektors befinden sich die Myonenkammern und das sogenannte instrumentierte Eisen. Letzteres besteht aus mehreren Schichten von Eisenplatten und Streamerröhren-Detektoren. Die Eisenplatten wirken zusätzlich als Magnetfeldrückfluß (Eisenjoch) für die supraleitende Spule. Dieses Eisenjoch trägt mit seinem Gewicht von ca. 2000 *Tonnen* den größten Teil zur Masse des H1-Detektors bei.

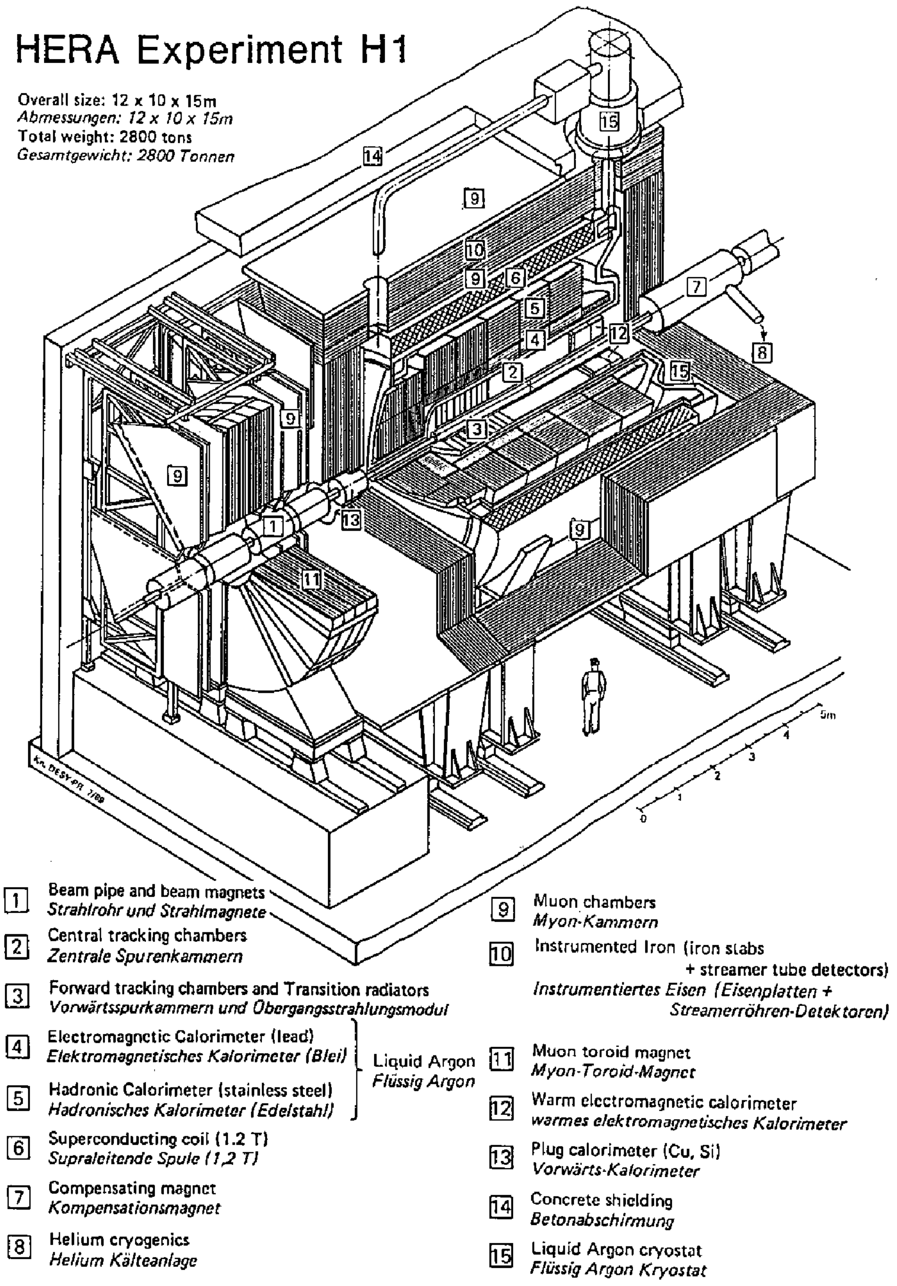


Abb. 2.3: *Der H1-Detektor [DES91]*

Die Abbildung zeigt eine perspektivische Ansicht des H1-Detektors; die Position des BEMC ist mit einer $\boxed{12}$ markiert; im Wechselwirkungspunkt (in der Mitte des Strahlrohrs, mit einem Kreuz gekennzeichnet) treffen Elektronen und Protonen aufeinander; in der Abbildung treten die Elektronen von links vorn in den H1-Detektor ein, die Protonen kommen aus der entgegengesetzten Richtung

2.4 Das BEMC

Das BEMC ist ein modular aufgebautes Blei-Szintillator-Sampling-Kalorimeter welches über Wellenlängenschieber und Photodioden[3] ausgelesen wird.
Das Lasermonitoring erfolgt durch die Einkopplung von Laserlichtimpulsen über Glasfaserkabel in die letzte Szintillator-Sampling-Schicht eines jeden BEMC-Moduls.

Äußerlich stellt sich das BEMC als flacher, zylindrischer Körper mit 1621 *mm* Durchmesser und ca. 45 *cm* Tiefe dar. In der Mitte besitzt es eine kreisrunde Öffnung von 215 *mm* Durchmesser für das Strahlrohr. Sein Gesamtgewicht beträgt ca. 3.6 *Tonnen*.

In seinem Inneren befinden sich 88 Kalorimetermodule mit bevorzugt quadratischem Querschnitt (s. Abb. 2.4). Um den Raum optimal auszunutzen wurden auch Module nichtquadratischen Querschnitts eingefügt. Insgesamt befinden sich im BEMC

Abb. 2.4: *Querschnitt durch das BEMC [BEM92]*
Abgebildet sind die Außenwand, die Strahlrohröffnung und die Kalorimetermodule; die Numerierung entspricht der BEMC-Konvention für eine Betrachtung vom Standort des Wechselwirkungspunktes

- 56 Quadrat-Module
- 8 große Trapez-Module

---

[3] Der Einsatz spezieller Photomultiplier [Fin89] wäre, trotz der hohen Magnetfeldstärken im Bereich des BEMC, technisch möglich gewesen. Auf die damit verbundene Möglichkeit der Erzeugung rauscharmer, schneller Signale wurde jedoch aus Kostengründen verzichtet.

- 8 kleine Trapez-Module
- 8 große Dreieck-Module und
- 8 kleine Dreieck-Module.

Bei Betrachtung eines Längsschnittes durch ein ein quadratisches BEMC-Modul (s. Abb. 2.5) ist die Sampling-Struktur aus wechselnden Blei-Szintillator-Schichten zu erkennen. In jedem BEMC-Modul befinden sich 50 Schichten aus je 4 *mm* SCSN 38-Szintillator und 49 Schichten aus je 2.5 *mm* Blei. Zwischen Blei- und Szintillatorschicht ist jeweils ein Blatt Reflektorpapier[4] eingelegt. Zur Auslese des Szintillationslichtes befinden sich an den Modulseiten 3 *mm* starke Y7-Wellenlängenschieber, an deren gebogenen Enden PIN-Dioden von Typ HAMAMATSU S2575 aufgeklebt sind. Zwischen Szintillatorplatte und Wellenlängenschieber wird durch einen eingelegten 0.3 *mm* starken Nylonfaden ein, für die Lichtleitereigenschaften des Wellenlängenschiebers wichtiger, Luftspalt garantiert.

Abb. 2.5: *Längsschnitte durch ein quadratisches BEMC-Modul*
Die beiden verschiedenen Längsschnitte ergeben sich bei einer Vierteldrehung der Schnittebene um die Längsachse; nur gestrichelt eingezeichnet sind die BEMC-Frontplatte und das rückwärtige U-Profil

---

[4] Das Reflektorpapier ist partiell durch Schwärzung abgeschattet, um Ortsinhomogenitäten des Kalorimeters zu verringern [Eis90, Mes91]

In den Quadratischen und Großen-Trapez-Modulen befinden sich vier lange, schmale Wellenlängenschieber, die jeweils eine halbe Modulseite breit, zwei gegenüberliegende Modulseiten auf voller Länge überdecken. Die vier Diodensignale werden durch vier Vorverstärker ausgelesen und ergeben die im BEMC-Modul deponierte Energie. Auf den verbleibenden beiden Seiten sind kurze, breite Wellenlängenschieber angebracht, die die Modulseite auf voller Breite, aber nur über die letzten 15 Szintillatorlagen hinweg, erfassen. An den Enden der kurzen, breiten Wellenlängenschieber sind je zwei PIN-Dioden festgeklebt worden, deren addiertes Signal mit jeweils einem Vorverstärker ausgelesen wird.

Das Gehäuse der Kalorimetermodule ist aus mehreren Einzelteilen zusammengesetzt. Eine Frontplatte aus 8 *mm* Aluminium, mit einem Paßstift zur Modulaufhängung, bildet den vorderen Abschluß. Rückseitig ist eine Endplatte, ebenfalls aus Aluminium, angebracht. Front- und Endplatte sind über die Modulseitenwände aus 0.2 *mm* Edelstahl miteinander verbunden. Eine Druckplatte zwischen der letzten Szintillatorschicht und der Endplatte setzt das Gehäuse unter eine mechanische Spannung. An der Endplatte befindet sich außen ein Gehäuse, welches die Ausleseelektronik aufnimmt. Die BEMC-Module werden an ihrer Rückseite von U-Profilen gehalten.

Die Laserlichteinkopplung in die letzte Szintillatorplatte wird über Löcher in der Endplatte vorgenommen. Hierfür sind die lichtleitenden Glasfaserkabel an ihrem Ende mit einem speziellen Messingstecker konfektioniert. Dieser Messingstecker kann so an der Endplatte befestigt werden, daß das Laserlicht senkrecht auf den Szintillator einfällt und ein Luftspalt zwischen Faserende und Szintillator gewährleistet ist [Fle90].

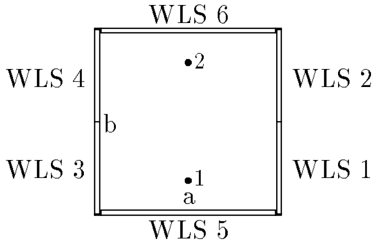
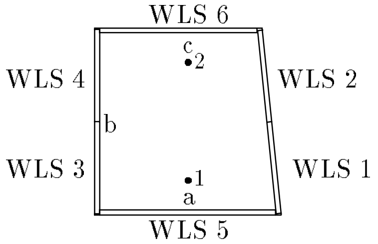
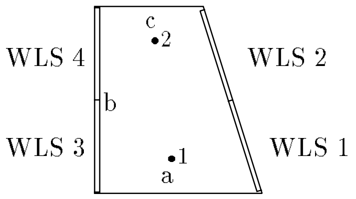
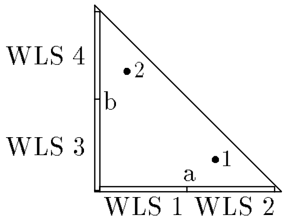
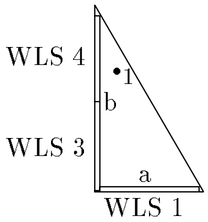
In Tabelle 2.2 sind die verschiedenen Modulquerschnitte zusammen mit den Einkopplungspunkten für das Laserlicht dargestellt.

Treten ionisierende Teilchen in das BEMC ein, so schauern sie vorwiegend am Blei, dem passiven Material des Kalorimeters, auf. In solch einem anwachsenden Schauer wechseln sich die γ-Emission aus der Bremsstrahlung mit den γ-Quanten absorbierenden Prozessen von Photo-, Comptoneffekt und Paarbildung ständig ab, bis der Schauer aufgrund mangelnder Energie der erzeugten Schauerteilchen abstirbt, oder der Schauer das Ende des Kalorimeters erreicht hat.

Die Sampling-Schichten des BEMC entsprechen insgesamt 22.5 Strahlungslängen (X_0). Bei 30 *GeV* Elektronen, mit denen maximal im BEMC zu rechnen ist, sind damit 98 % des Schauers eingeschlossen. Die laterale Ausdehnung des Schauers läßt sich über den Moliere-Radius angeben. Er beträgt für das BEMC 3.4 *cm*.

Im BEMC werden auch Hadronen eintreffen. Ursächlich hierfür sind vor allem niederenergetische Partonen aus der e-p-Wechselwirkung. Für Hadronen stellt das BEMC jedoch nur eine Tiefe von 0.74 hadronischen Wechselwirkungslängen (λ_{had}) zur Verfügung. Hadronische Schauer entstehen daher über die ganze Länge des BEMC und werden in dem meisten Fällen das Kalorimeter auf der Rückseite verlassen. Der Vergleich der Signalhöhe in den Dioden mit den langen Wellenlängenschiebern (Gesamtenergiemessung) und den hinteren, kurzen Wellenlängenschiebern ermöglicht zu gewissem Grade (80-90 %) die Separation von Elektronen und Hadronen [Lip91]. Im folgenden werden die langen, schmalen Wellenlängenschieber als elektromagnetische Wellenlängenschieber und die kurzen, breiten Wellenlängenschieber als hadronische Wellenlängenschieber bezeichnet.

Bei Einfall geladener Teilchen in den Szintillator wird dessen Polystyrolbasis angeregt. Diese Polystyrolbasis emittiert Szintillationslicht im ultravioletten welches von im Szintillator gelösten Farbstoffen (b-PBD und BDP) absorbiert wird. Diese Farbstoffe absorbieren übrigens auch das in den Szintillator eingekoppelte Laserlicht (337 *nm*, UV). Das von den Farbstoffen absorbierte Licht wird mit einer größeren Wellenlänge reemittiert und vorwiegend durch Totalreflexion an die Szintillatorkanten transportiert. Das Licht gelangt über

Modulform	Ankopplung der Fasern	Koordinaten (mm)
Quadrat-Modul (A)		a=158.4 b=158.4 1=(79.2,29.2) 2=(79.2,129.2)
gr. Trapez-Modul (B)		a=158.4 b=158.4 c=142.4 1=(79.2,29.2) 2=(79.2,129.2)
kl. Trapez-Modul (C)		a=142.3 b=158.4 c=92.1 1=(65.3,29.2) 2=(50.3,129.2)
gr. Dreieck-Modul (E)		a=158.1 b=158.1 1=(102.0,27.0) 2=(27.0,102.0)
kl. Dreieck-Modul (D)		a=91.2 b=157.9 1=(18.5,102.0)

Tab. 2.2: *BEMC-Modultypen*
Aufgezeigt sind alle Modulformen, die Lage der Wellenlängenschieber und Ankopplungspunkte der Quarzglasfasern. In der Spalte mit den Koordinaten dieser Ankopplungspunkte sind auch die Außenmaße der Module aufgeführt. Der Koordinatenursprung liegt jeweils in der linken unteren Ecke eines jeden Moduls. Alle nichtquadratischen Module liegen auch in gespiegelter Form vor (unter Spiegelung der Diodennumerierung). Die Diodennumerierung entspricht der Konvention bei Ansicht der Module vom Wechselwirkungspunkt.

den Luftspalt in den Wellenlängenschieber, wo es von Farbstoffmolekülen absorbiert, und wiederum mit längerer Wellenlänge emittiert wird. Über Totalreflexion, wird das Licht zu den Kanten des Wellenlängenschieber transportiert und an dessem gebogenen Ende von einer bzw. zwei Photodioden ausgelesen. Abbildung 2.6 zeigt, die Überdeckungen der Emission- und Absorptionsspektren von Polystyrolmatrix, Farbstoffen, Wellenlängenschieber und PIN-Dioden. Eigenschaften und technische Daten von SCSN-38 Szintillator, Y7-Wellenlängenschieber und HAMAMATSU S2575-Photodioden sind in Anhang C aufgeführt.

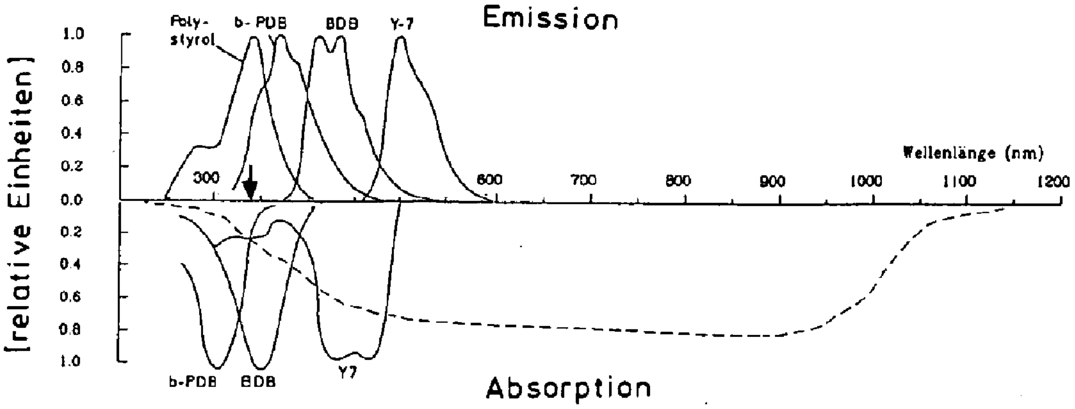


Abb. 2.6: *Lichtabsorption und -emission in BEMC-Modulen*
Dargestellt sind die verschiedenen Absorptions- und Emissionsspektren für Polystyrol, b-PDB, BDB und Y7. Zusätzlich ist die Quantenausbeute der verwendeten Photodioden durch eine unterbrochene Linie gekennzeichnet (entnommen aus [Sri91]).
Das Laserlicht wird mit einer Wellenlänge von 337 nm emittiert (s. Pfeil).

Für die bei HERA zu betreibende Physik soll das BEMC den folgenden Ansprüchen gerecht werden. Hierzu gehören:

- Die Rekonstruktion der Energien eingefallener Elektronen mit einer Genauigkeit $\leq 2\,\%$.
- Eine Energieauflösung von annähernd $\frac{10\%}{\sqrt{E}}$.
- Eine gemessen an der Größe der Kalorimetermodule gute Ortsauflösung, von besser als $2\,cm$, um die Informationen aus den vorgelagerten Spurenkammern besser mit der Kalorimeterinformationen verbinden zu können[5].
- Eine Hadron-Elektron-Separation [Lip91]. Die Auslese der hadronischen Wellenlängenschieber liefert bei Fehlen der Gesamtenergiemessung allerdings nur eine Elektron-Hadron-Separation im Bereich von 80 %.

---

[5] Die rückwärtige Spurenkammer (BMWPC) gibt leider in über der Hälfte der Fälle mehr als ein Signal, so daß die Ortsinformation des BEMC unbedingt benötigt wird.

Kapitel 3

Physik im Rückwärtsbereich des HERA-H1-Detektors

Mit der Fertigstellung der Elektron-Proton-Beschleunigeranlage HERA steht für die Detektoren ein großer Bereich von Viererimpulsüberträgen $q \equiv p_{ein} - p_{aus}$ zwischen ein- und ausfliegendem Lepton mit Q^2-Werten

$$Q^2 = -q^2 = 4 \cdot E_{ein} \cdot E_{aus} \cdot sin^2\frac{\theta}{2}$$

von einigen GeV^2 bis $10^5\,GeV$ zur Untersuchung offen. Dies entspricht räumlichen Abmessungen bis minimal $10^{-18}\,m$.
Im Rückwärtswinkelbereich des BEMC sind die Gebiete für kleine x (mit $10^{-4} \leq x \leq 10^{-2}$) und kleine Q^2 zugänglich [Fel87]. Dabei ist die Variable x

$$x = \frac{E_{aus} \cdot sin^2\frac{\theta}{2}}{E_p(1 - \frac{E_{aus}}{E_{ein}} \cdot cos^2\frac{\theta}{2})}$$

durch rein kinematische Größen definiert. E_{ein} und E_{aus} sind die Energien des einlaufenden Elektrons und Leptons nach der Streuung, E_p ist die Protonenenergie und θ der Streuwinkel. Man kann im einfachen Partonmodell [Per87] die Variable x als den Anteil des Viererimpulses interpretieren, den das getroffene Quark im Proton besitzt.

$$P_{Quark} = x \cdot P_{p,ein}$$

Siehe hierzu auch Abbildung 3.1 .

Man wird in den Streumessungen also in erster Linie die Impulsverteilungen der *Valenz-* und *Seequarks* sowie der *Gluonen* im Proton zu bestimmen suchen. Es stellt sich heraus, daß die inklusiven differentiellen Wirkungsquerschnitte durch die Fouriertransformierten der Impulsverteilungen, also durch die Strukturfunktionen $F_1(x, Q^2)$, $F_2(x, Q^2)$ und $F_3(x, Q^2)$ beschrieben werden. Für NC-Ereignisse ergibt die Theorie in niedrigster Ordnung:

$$\frac{d^2\sigma_{NC}(e^{\mp})}{dxdQ^2} = \frac{4\pi\alpha^2}{xQ^4}[y^2 xF_1(x, Q^2) + (1 - y)F_2(x, Q^2) \pm (y - \frac{y^2}{2})xF_3(x, Q^2]$$

Dabei ist die kinematische Variable $y \equiv \frac{q \cdot P_p}{P_p \cdot P_e}$, und zwischen F_1 und F_2 besteht die **Callan-Gross-Relation**:

$$2xF_1 = F_2$$

Im Prinzip wird es also möglich sein, die Strukturfunktionen in einem bislang nicht zugänglichen Bereich der kinematischen Variablen zu untersuchen, in dem das Modell

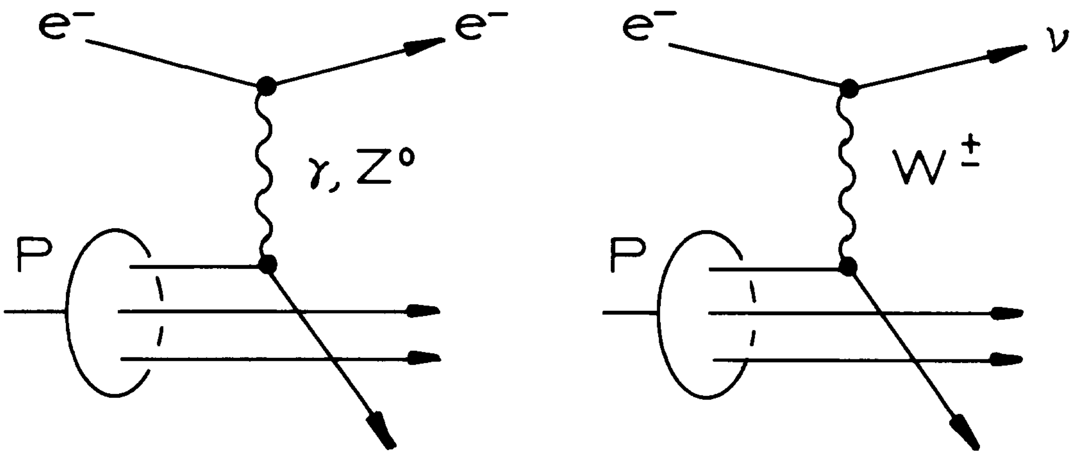


Abb. 3.1: *Tiefinelastische e-p-Streuung im Partonenmodell*
Die linke Abbildung zeigt eine NC-(*neutral current*-)Wechselwirkung unter Austausch eines neutralen Teilchens (Photon, Z^0-Boson). In der rechten Abbildung findet eine CC-(*charged current*-)Wechselwirkung unter Austausch eines geladenen Teilchens ($W^{\pm}$) statt. Das Elektron wird bei dieser Reaktion in ein Neutrino umgewandelt

der nicht miteinander wechselwirkenden Quarks (*Partonen*) aufgrund der hohen Dichten zu modifizieren ist. Der erwartete Anstieg von F_2 (mit $x \rightarrow 10^{-5}$) wird also durch das Experiment zu bestimmen sein, wobei der präzisen Messung der kinematischen Parameter des auslaufenden Elektrons große Bedeutung zukommt [Ing87].

Kapitel 4

Lasermonitoring am BEMC

4.1 Kalibration am BEMC

Vor dem Einstieg in das Lasermonitoring ist es sinnvoll alle Methoden zu betrachten, mit denen bereits eine Kalibration des BEMC durchgeführt wurde bzw. durchgeführt werden kann. Dies sind die Kalibration der BEMC-Module mit Teststrahl-Elektronen und kosmischen Myonen, die Kalibration des elektronischen Signalweges über ein Testpulsersystem, und die Physik-Kalibration mittels quasielastisch gestreuter Elektronen.

4.1.1 Serienkalibration der BEMC-Module am DESY-Teststrahl 22

Im Sommer 1990 konnten am DESY-Teststrahl 22 alle quadratischen Module relativ zueinander kalibriert werden. Hierfür standen Elektronen im Energiebereich zwischen 1 und 6 GeV zur Verfügung. Die Durchführung der Messungen und die angewandte Kalibrationsprozedur ist in [Gen91] und [BEM92b] ausführlich beschrieben, und soll hier nur in Auszügen wiedergegeben werden.

Zunächst wurde mit Teststrahlelektronen 5 GeV senkrecht in ein zu kalibrierendes Modul eingeschossen, und zwar in die Modulmitte und in je 35 mm seitlichem Abstand, in Richtung zu den hadronischen Wellenlängenschiebern.
Um das Modul herum waren noch weitere fünf Module angeordnet, die zum einen als Referenzdetektor und zum anderen zur Erfassung des lateralen Leakage dienten.
Die Kalibrationsprozedur selbst besteht im wesentlichen aus den folgenden drei Schritten:

- Mit den Meßwerten für die beiden seitlich versetzten Messpunkte werden die jeweils gegenüberliegenden elektromagnetischen Dioden relativ zueinander abgeglichen.
- Dann wird mit eben diesen Meßwerten ein Abgleich der Energiesummen der 4 Wellenlängenschieber durchgeführt.
- Zuletzt wird anhand des senkrechten Einschusses in die Modulmitte die Kalibration des Mittelwertes der Energiesumme der vier Dioden auf die Strahlenergie vorgenommen.

Damit steht für die elektronischen Kanäle der quadratischen Module eine Energieeichung zu:

$$\frac{E_{modul}}{[GeV]} = \frac{\sum\limits_{i=1}^{4} cal_i * ADC_i}{4}$$

zur Verfügung.

Für die quadratischen Module variieren die ermittelten Kalibrationskonstanten im Bereich von 5.3 % [BEM92b].

Neben dieser Relativkalibration wurden u. a. auch Untersuchungen zur Energilinearität durchgeführt. Hierzu wurde bei der Messung einiger Module die Elektronenenergie im Bereich zwischen 1 und 6 GeV variiert,

Messungen bei Einschuß in den Grenzbereich zweier Module und bei Einschuß unter realistischen Winkeln ermöglichten weitere Studien.

4.1.2 Absolutkalibration einiger BEMC-Module am CERN

Im Frühjahr 1991 konnten einige Reservemodule[1] am CERN bei Elektronenenergien zwischen 10 und 80 GeV absolut kalibriert werden. Desweiteren wurden am CERN Messungen mit hochenergetischen Myonen und Pionen durchgeführt, um Informationen über das Ansprechverhalten der hadronischen Wellenlängenschieber zu gewinnen.

4.1.3 Kalibration mit kosmischen Myonen

Die nichtquadratischen Module wurden relativ zu den quadratischen Modulen mittels kosmischer Myonen kalibriert [Rat92]. Dies wurde erforderlich, da bereits bei der Teststrahlkalibration mit 5 GeV-Elektronen kein vollständiger Schauereinschluß gewährleistet war. Außerdem konnte aufgrund der nichtquadratischen Modulgeometrie nicht dieselbe Kalibrationsmethode angewandt werden.

Kosmische Myonen haben gegenüber Elektronen den Vorteil, daß sie keinen Schauer in den BEMC-Modulen verursachen; sie verhalten sich hier wie *minimal ionisierende Teilchen.* Leider befindet sich die mittlere Energiedeposition in den BEMC-Modulen mit 270 MeV nur gering über dem Rauschen.

4.1.4 Lichtsammeleffizienzmessungen mit einer Xenon-Lampe

Lichtsammeleffizienzmessungen [Esc91] an einzelnen Szintillatorplatten waren für die Relativkalibration der nichtquadratischen Module ebenfalls von Bedeutung. Nach diesen Messungen ergibt sich für die nichtquadratischen Module optimale Homogenität bei Einführung unterschiedlicher Gewichtungsfaktoren zwischen den verschiedenen Dioden. Tabelle 4.1 zeigt eine Gegenüberstellung zwischen den Meßergebnissen aus Messungen mit der Xenon-Lampe und den Messungen mit kosmischen Myonen.

Modultyp	Gewichtungsfaktoren [Esc91]				Lichtsammeleffizienz [Esc91] Xenon-Lampe	Lichtsammeleffizienz [Rat92] Kosmische Myonen
	ω_1	ω_2	ω_3	ω_4		
A	1.0	1.0	1.0	1.0	1.00	1.00
B1,B2	1.15	1.0	0.65	1.2	1.00	1.05
C1,C2	0.4	0.35	1.35	1.8	1.4	1.34
D1,D2	0.75	–	1.2	1.1	2.1	2.9
E	1.15	0.85	1.15	0.85	1.8	1.89

Tab. 4.1: *Gewichtungsfaktoren und Lichtsammeleffizienzen [Esc91],[Rat92]*

---

[1] Fünf quadratische Module und zwei große Dreiecke

In [Cla92] wurden weitere Messungen mit der Xenon-Lampe durchgeführt, bei denen auch die longitudinale Lichtausbeute in die Tiefe der Module vermessen wurde.

4.1.5 Kalibration über den kinematischen Peak

Bei e, p^--Streuung wird erwartet, daß die unter kleinen Winkeln gestreuten Elektronen Energien, bis heran zur Strahlenergie, besitzen. Abbildung 4.1 zeigt ein Energiespektrum für Elektronen im Rückwärtsbereich des H1-Detektors. Aus der Lage der hochenergetischen Kante und der Form der Kurve bis zum Maximum des Spektrums läßt sich bei bekannnter Strahlenergie eine Eichinformation gewinnen.

Diese Kalibration mit dem Elektronenspektrum erfordert ausreichende Zählraten. In der Anlaufphase der HERA-Experimente, bei nur etwa einem Prozent der der geplanten Luminosität, führt dies zu langen Meßzeiten. Bei voller Luminosität von $1,5 \cdot 10^{31}$ $cm^{-2}sec^{-1}$ wird jedoch in der Nähe des Strahlrohrs eine halbstündliche Kalibration ermöglicht. Allerdings ist auch bei voller Luminosität die Ereignisrate im Außenbereich des BEMC so niedrig, daß Nacheichungen nur in Abständen von mehr als einem Monat möglich werden [Bau89].

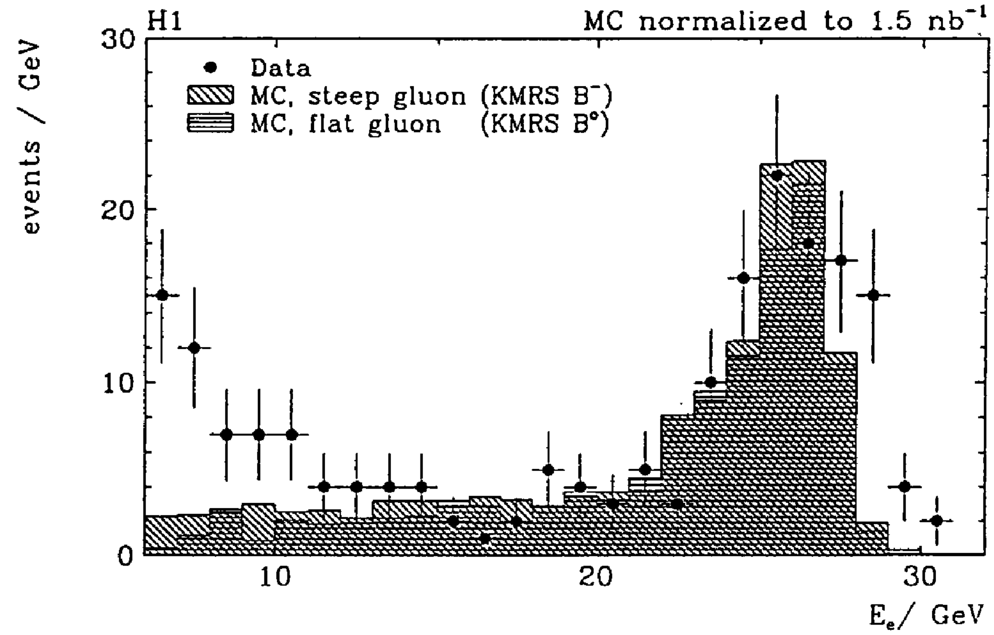


Abb. 4.1: *Der kinematische Peak [Eis92]*
Der Bereich des kinematischen Peaks ist die abfallende Region bei hohen Energien. Das Energiespektrum für tiefinelastische gestreute Elektronen zeigt neben gewonnenen Daten auch Monte Carlo (MC)-Studien für zwei verschiedene Kombinationen von Strukturfunktionen.

4.1.6 Die elektronische Kalibration

Bei der elektronischen Kalibration werden elektronische Testpulse auf die Ausleseelektronik des Detektors gegeben. Die Amplitude dieser Testpulse ist über den gesamten Wertebereich der Ausleseelektronik regelbar. Das Testpulsersystem leistet damit die Eichung des elektronischen Signalauslesezweiges inclusive der Korrektur von Inlinearitäten in der Elektronik.

Das Testpulsersystem ermöglicht aber auch eine programmierte Ansteuerung aller oder auch einzelner BEMC-Module. Damit eignet es sich auch zur Simulation von Elektronenclustern für einen Testbetrieb des *BEMC Single Electron Trigger* (BSET)[2].

4.2 Kalibration mit dem Lasermonitorsystem

Aus der Darstellung der bisher zur Anwendung gekommenen Kalibrationsmethoden wird deutlich das nur ein Kalibrationskonzept aus einer Verknüpfung aller Methoden zu einer Kalibration des gesamten BEMC über den vollen Wertebereich führen kann.

So liefern die Teststrahlkalibrationen nur eine Eichung für die Quadratischen Module; die Kalibration mit kosmischen Myonen bezieht zwar die Exotischen Module mit ein, macht aber nur Aussagen in einem Energiebereich, knapp über dem Rauschen der Detektorelektronik. Insgesamt liefern die Teststrahl- und Myonenmessungen, wie auch die Lichtsammeleffizienzmessungen allenfalls eine Startkalibration für das BEMC. Eine ständige Nachkalibration des BEMC mittels dieser Methoden wäre, aufgrund des hohen Aufwandes und der ständigen mechanischen Beanspruchung absolut unvertretbar.
Die Heranziehung von Physik-Ereignissen aus dem kinematischen Peak ist zwar während des HERA-Betriebs ständig möglich, sie läßt aber eine Kalibration der äußeren Modulen aus Intensitätsgründen nur in relativ großen Zeitabständen zu.
Die elektronische Kalibration ist zwar weder auf einen Wertebereich oder auf bestimmte Modultypen eingeschränkt; sie kann auch in den Strahlpausen jederzeit durchgeführt werden. Jedoch kann sie keine Information über den Zustand des optischen Teil des Signalweges liefern.

Hier bietet sich die Möglichkeit der Kalibration des BEMC mittels des Lasermonitorsystems als Ausweg an.
Zum einen wird der Signalweg des BEMC, optisch[3] wie elektronisch überwacht. Zum anderen kann jeder Monitorlauf entsprechend der Reproduzierbarkeit der Lasersignale, bzw. der Quotienten von Lasersignalen, für Zwischeneichungen verwendet werden, bis wieder eine neue Messung des kinematischen Peaks vorliegt. Desweiteren kann der gesamte Wertebereich der Ausleseelektronik, durch Regelung der Intensität des Laserlichts, überprüft werden (siehe hierzu auch Abschnitt 4.4).

4.2.1 Referenzsysteme zur Überwachung der Intensität der Laserpulse

Um ein etwaiges Driften der Lasersignalintensität zu überwachen wurden verschiedene Referenzsysteme installiert, bei denen das Laserlicht mit Photodioden und Szintillator gemessen wird.

Das Lasermonitorsystem des BEMC stellt solche Referenzsysteme mehrfach zur Verfügung.
Für das sogenannte **Laserreferenzsystem** wird unmittelbar nach Austritt der Lichtpulse aus dem Lasergehäuse ein fester Anteil der Intensität mit einer Quarzglasplatte ausgekoppelt. Deshalb ist das sich hier ergebende Referenzsignal unabhängig von einer anschließend im Hauptstrahlengang erfolgenden Intensitätsreduktion durch Graufiltereinsatz (siehe hierzu auch Abbildung 5.12).

---

[2] Der BSET ist ein eigenständiges System zur Generierung von schnellen Level 1-Triggersignalen auf im BEMC registrierte Elektronencluster [Fer92]

[3] jedoch nur die letzte Szintillatorplatte

Das **Nebenreferenzsystem** befindet sich direkt am BEMC, und wird wie ein BEMC-Modul durch das Lichttransport- und verteilungssystem aus Glasfaserkabeln mit Laserlicht versorgt. Sein genauer Zweck wird in Abschnitt 4.2.4 separat erläutert.
Das sogenannte **Hauptreferenzsystem** befindet sich, wie auch das Laserreferenzsystem, außerhalb des H1-Detektors[4]. Es erhält das Laserlicht über Glasfaserkabel die, vom Lichtverteilungssystem am BEMC kommend, wieder aus dem H1-Detektor herausgeführt werden (siehe hierzu auch Abbildung 5.11). Mit ihm läßt sich die Laserintensität nach Verteilung auf das Glasfasersystem kontrollieren. Zudem wird es eine Information über die Langzeitstabilität des Lichtverteilungs- und transportsystems liefern.

4.2.2 Monitoring, Referenzsysteme und Quotientenmethode

Nach Maßgabe der Reproduzierbarkeit der Lasersignale werden die Lasersignale zu Kalibrationszwecken herangezogen werden können.

Um zwischen zwei Physik-Kalibrationen, mittels kinematischem Peak, vermitteln zu können, ist es sinnvoll unmittelbar zum Zeitpunkt der ersten Kalibration ($t=0$) einen kompletten Lauf des Lasermonitorsystems durchzuführen. Die aufgezeichneten Monitorsignaldaten bieten damit die Basis für folgende Läufe des Lasermonitorsystems zu Zeitpunkten $t=T$ mit $T>0$. Auf diese Weise ist eine fortlaufende Korrektur der Kalibrationsfaktoren cal_i der einzelnen Dioden i möglich, bis eine erneute Physik-Kalibration vorliegt. Die Korrektur gestaltet sich damit gemäß:

$$cal_i(t=T) \quad = \quad cal_i(t=0) \cdot \frac{\frac{1}{n} \cdot \sum\limits_{j=1}^{n} ADC_{i,j,Laser}(t=0)}{\frac{1}{m} \cdot \sum\limits_{j=1}^{m} ADC_{i,j,Laser}(t=T)}$$

Hierbei bezeichnen n und m die Anzahl der Laserevents in den beiden Monitorläufen; $ADC_{i,j,Laser}$ bezeichnet die Höhe des Monitorsignals in ADC-Kanälen für die Diode i und das Event j.

Um unabhängig von der Signalhöhe des Lasers zu werden empfiehlt sich eine eventweise Korrektur der Lasersignale nach der Quotientenmethode[5]. Zur Quotientenbildung kann eine einzelne BEMC-Diode, bzw. der Mittelwert[6] über alle BEMC-Kanäle oder wie vorgesehen eine separate Referenzdiode, auf die eine ausgekoppelte Lichtmenge direkt eingestrahlt wird, als Divisor verwendet werden.

Die Korrektur ist daher wie folgt zu modifizieren:

$$cal_i(t=T) \quad = \quad cal_i(t=0) \cdot \frac{\left[\frac{1}{n} \cdot \sum\limits_{j=1}^{n} \frac{ADC_{i,j,Laser}(t=0)}{ADC_{Ref,j,Laser}(t=0)}\right]}{\left[\frac{1}{m} \cdot \sum\limits_{j=1}^{m} \frac{ADC_{i,j,Laser}(t=T)}{ADC_{Ref,j,Laser}(t=T)}\right]}$$

Die Höhe des Monitorsignals in der Referenzdiode ist mit $ADC_{Ref,j,Laser}$ bezeichnet.

Eine Langzeitstabilität des Lasermonitorsystems wird erreicht indem eine solche Referenzdiode mit einem γ-Präparat bestrahlt wird. Der Photopeak wird dabei zur Eichung

---

[4] Die Unterbringung außerhalb des H1-Detektors stellt sicher, daß die beiden Referenzsysteme nicht unter den gleichen Belastungen wie die BEMC-Module stehen. Dies gewährleistet die erforderliche Stabilität von Laser- und Hauptreferenzsystem

[5] Die Signalhöhe des Laserlichts unterliegt auch kurzzeitig geringfügigen Schwankungen (siehe hierzu auch Kapitel 5)

[6] nach [Pic94]; siehe hierzu auch Abschnitt 7.2

der Referenzdiode herangezogen.
In der vorherigen Gleichung kann daher die folgende Korrektur vorgenommen werden:

$$ADC_{Ref,j,Laser}(t=T) \longrightarrow ADC_{Ref,j,Laser}(t=T) \cdot \frac{ADC_{Ref,Photopeak,\gamma}(t=0)}{ADC_{Ref,Photopeak,\gamma}(t=T)}$$

Dabei muß die Lage des Photopeak über separate Monitorläufe ermittelt werden.

4.2.3 Intrakalibration und Interkalibration

Wir unterscheiden grundsätzlich die Überwachung der relativen Signalhöhen innerhalb eines BEMC-Moduls, die **Intrakalibration**, die durch Lichtzuführung durch eine Quarzfaser zum Modul ermöglicht wird, von dem weitgesetzten Ziel des Abgleichs aller Dioden, die **Interkalibration** der verschiedenen Module, die eine konstante Verteilung des Lichts auf das Quarzglasfasersystem erfordert.

Aus den bisherigen Messungen, die in Abschnitt 7.2 dargestellt werden, können obere Grenzen über die Stabilität von Signalen bzw. Signalquotienten der Monitorläufe angegeben werden, aus denen wir auf eine Reproduzierbarkeit von etwa 2 % schließen.

4.2.4 Rekalibration nach Detektorausbau

Bei Wartungsarbeiten im Innenbereich des H1-Detektors wird das BEMC, mitsamt dem Verteilungssystem für das Laserlicht, aus seiner Normalposition entfernt. Hierfür ist die Trennbarkeit aller elektrischen und optischen Kabelverbindungen notwendig. Die Eichinformation bleibt jedoch für das Lasermonitorsystem erhalten, da das Nebenreferenzsystem am BEMC verbleibt. Dadurch kann das Lasermonitorsystem seine Arbeit, nach Wiedereinbau des BEMC, ohne Unterbrechung fortsetzen.

4.3 Funktionskontrolle am BEMC mit dem Lasermonitorsystem

Die reine Funktionskontrolle[7] aller Kanäle des BEMC wurde mit dem Lasermonitorsystem mehrfach durchgeführt. In Kapitel 7.1 werden die Ergebnisse solcher Funktionskontrollläufe vorgestellt. Die Auswertung wurde dabei durch einfache Inaugenscheinnahme der Plots ausgeführt und lieferte wertvolle Hinweise auf defekte, schwache und oszillierende BEMC-Kanäle. In den längeren Betriebspausen von HERA konnten somit gezielte Reparaturen durchgeführt werden. Hierbei diente das Lasermonitorsystem außerdem zur schnellen Überprüfung des Reparaturergebnisses.

Künftig sollte die Auswertung solcher Funktionskontrollläufe voll computerisiert erfolgen. Für eine schnelle Auswertung können Algorithmen eingesetzt werden, die, entsprechend den Möglichkeiten der Intrakalibration, prüfen, ob die Diodensignalverhältnisse innerhalb der Module mit den für den jeweiligen Modultyp erwarteten Diodensignalverhältnissen übereinstimmen.
Die Funktionskontrolle wird sich damit im wesentlichen auf die aus jeweils einer Lasermessung gewonnenen Daten beschränken.

---

[7] Monitoring

4.4 Linearitätstests mit dem Lasermonitorsystem

Die Laserlichtintensität kann, vor Eintritt in das BEMC in mehreren Stufen gezielt abgeschwächt werden. Das Lasermonitorsystem kann damit Messungen zur Linearität des Ansprechverhaltens der BEMC-Module, ähnlich wie das elektronische Testpulsersystem, durchführen. Hierbei erweist sich der Vergleich von Laser- und Hauptreferenzsystem als nützlich, da das erste konstante Referenzsignale liefert, und das letztere die Abweichung der Signale registriert.

Kapitel 5

Komponenten des Lasermonitorsystems

5.1 Der Stickstofflaser

Für das Lasermonitorsystem des BEMC wurde ein gepulster Stickstofflaser als zentrale Lichtquelle ausgewählt. Seine Emissionswellenlänge ist mit $337,3\,nm$ dem Emissionsspektrum der Polystyrolbasis des Szintillators optimal angepaßt (vgl. Kapitel 2.6). Außerdem liegt seine Pulsdauer mit $5\,nsec$ *(FWHM)* in der Größenordnung der Abklingzeit der Szintillation. Das elektronische Testpulsersystem stellt dagegen nur Signale mit einer Breite von ca. $20\,\mu sec$ zur Verfügung [Bre92]. Der Stickstofflaser ist damit wesentlich besser zur Simulation von Teilcheneinfällen in das BEMC geeignet.

5.1.1 Allgemeines zu Stickstofflasern

Das von Stickstoff-(N_2)-Lasern emittierte Licht stammt aus einem Übergang zwischen den Molekülzuständen $C^3\Pi_u$ und $B^3\Pi_g$. Die stärkste Linie befindet sich im ultravioletten und hat eine Wellenlänge von $337,3\,nm$. Sie wird durch den Übergang zwischen den Vibrationsniveaus mit $v = 0$ hervorgerufen.

Um das obere Laserniveau ($C^3\Pi_u$) aus dem Grundzustand anzuregen, wird zwischen die Elektroden im Gasraum eine Hochspannung angelegt, welche über das Lasergas entladen werden muß. Dies wird über zusätzliche Zündelektroden erreicht. Die Anregung der N_2-Moleküle erfolgt dann durch Elektronenstöße in der Gasentladung. Die Lebensdauer des oberen Laserniveaus liegt bei $40\,nsec$. Das untere Laserniveau ($B^3\Pi_g$) besitzt eine viel höhere Lebensdauer mit einer Größe von $10\,\mu sec$. Weil es sich langsamer entleert als es wieder aufgefüllt wird, können Stickstofflaser nicht kontinuierlich Laserlicht aussenden. Es zerfällt spontan in einen metastabilen $A^3\Sigma_g^+$-Zustand welcher eine Lebensdauer von mehreren Sekunden besitzt.

Die Pulsdauer ist vom Druck der Stickstofffüllung abhängig. Ein Laser, der kontinuierlich von extern zugeführtem Stickstoff durchströmt wird, arbeitet unter nahezu atmosphärischen Drücken und liefert Pulsdauern um $300\,psec$. Laser mit einer Stickstoffdauerfüllung in einem abgeschmolzenem Entladungsrohr erreichen bei Drücken von einigen $10^3\,Pa$ Pulsdauern von bis zu $20\,nsec$ [Eic90].

5.1.2 Aufbau des LN300

Der LN300 von Laser Photonics, USA, ist ein Stickstofflaser mit Dauerfüllung. Die Hochspannungsentladung wird ausgelößt über eine Kombination aus Hochspannungskondensatoren und einem Thyratron. Ein solches Thyrathron ist ein schneller Schalter für hohe

Spannungen und Ströme [Swe61]. Es arbeitet nach dem Prinzip einer Röhre und bedarf daher einer ständig anliegenden Heizspannung. Die dabei entstehende Wärme wird mit einem internen Kühlventilator nach außen abgeführt.
Mit dem Begriff *Thyratron-reservoir-voltage* wird die Gitterspannung des Thyratrons bezeichnet. Sie ist über ein Potentiometer einstellbar und kann mit einem extern anzuschließendem Digitalvoltmeter an einem Spannungsteiler abgelesen werden. Über die Thyratron-reservoir-voltage (im folgenden auch mit U_{mon} bezeichnet) ist die Intensität der Laserpulse einstellbar, wie es auch Messungen, die in diesem Kapitel vorgestellt werden, zeigen.
Eine Zeitschaltung im Gerät verhindert, daß der Laser unmittelbar nach dem Einschalten in Betrieb gesetzt werden kann. Erst nach Ablauf einer Aufheizphase von ca. 3 *Minuten* kann der Laser in Betriebsbereitschaft[1] geschaltet werden.

Das Gerät ermöglicht sowohl eine externe Antriggerung, als auch die Verwendung eines internen Pulsgenerators; dessen Frequenz ist mit einem eingebauten Potentiometer regelbar. Ergänzend wird von der eingebauten Elektronik ein separates Triggersignal, zur Synchronisation angeschlossener Experimente, zur Verfügung gestellt.

Desweiteren können die Grundfunktionen des Lasers ferngesteuert angesprochen und überwacht werden.
Eine Kurzanleitung für den Laborbetrieb befindet sich in Anhang B.

5.1.3 Gegenüberstellung mit dem LN120 C

Der in den vorangegangenen Diplomarbeiten verwendete LN120 C[2] ist ein kontinuierlich zu spülender Stickstofflaser, der bei atmosphärischen Drücken betrieben wird. Die Zündung geschieht mittels einer Funkenstrecke[3].
Der Umstand, diesen Laser nur mit einer externen N^2-Druckflasche betreiben zu können, führte zur Anschaffung des LN300. Die in der Halle Nord geltenden Sicherheitsbestimmungen forderten für die Druckflasche einen Schutzbehälter, dessen Anschaffungskosten in vergleichbarer Höhe gelegen hätten.

Der Wechsel des Gerätes bietet, wie auch die Tabelle 5.1 zeigt, weitere Vorteile:

- Die wöchentlich erforderlichen Reinigungsintervalle am LN120 C entfallen ersatzlos. Allerdings ist die Laserröhre nach 10^8 Pulsen gegen eine, vom Hersteller gefüllte, auszutauschen. Bei einem täglichen Betrieb von einer Stunde bei 10 *Hz* ist dies erst nach mehr als sieben Jahren erforderlich.
- Für einen vollautomatisierten Betrieb des Lasers LN300 sind keine motorischen Elemente erforderlich (keine Ventile am LN300).
- Es steht eine höhere Pulsenergie zur Verfügung.
- Die geringere Leistungsdichte (bedingt durch längere Pulsdauer und größerer Querschnittsfläche) liegt nicht mehr im Bereich der Zerstörschwelle für die Beschichtungen der Graufilter[4].

Abbildung 5.1 zeigt für beide Geräte jeweils ein Intensitätsspektrum. Gemessen wurde bei einer Frequenz von 10 *Hz* und $U_{mon} = -7,0$ *Volt* (nur LN300). Die Spektren zeigen eine Gaußförmige Intensitätsverteilung für beide Laser. Dabei besitzt der LN300 die dreifache

---

[1] Betriebsbereitschaft herstellen bedeutet das Umschalten in den **enable**-Zustand, in welchem die Laserröhre ständig unter Hochspannung steht

[2] PRA Laser, Inc.; von Laser Photonics übernommen

[3] Spark Gap

[4] Am LN120 C wurde die Leistungsdichte mit einer Strahlaufweitungsoptik herabgesetzt

	LN300	LN120 C
Zündtechnik	Thyratron	Funkenstrecke
Bauart	N^2-Dauerfüllung	N^2-Spülung
Lebensdauer einer N^2-Dauerfüllung	10^8 *Pulse*	—
Wellenlänge	$337,1\,nm \pm 0,1\,nm$	
Photonenenergie	$3,68\,eV$	
Anzahl Photonen pro Puls	$4,2 \cdot 10^{14}$	$1,3 \cdot 10^{14}$
Pulsdauer (FWHM)	$5\,nsec$	$300\,psec$
Energie pro Puls bei (10 *Hz*)	$250\,\mu J \pm 3\%$	$75\,\mu J \pm 5\%$
mittlere Leistung (über die Pulsdauer)	$50\,kW$	$250\,kW$
maximale mittlere Leistung (total)	$7\,mW$	*k. A.*
Leistungsdichte	$140\,\frac{kW}{cm}$	$4,2\,\frac{MW}{cm}$
Strahldimension (B×H)	$9\,mm \times 4\,mm$	—
Strahlquerschnittsfläche	$36\,mm^2$	$6\,mm^2$
Strahldivergenz (B×H)	$1,6\,mrad \times 0{,}7\,mrad$	$3\,mrad \times 7\,mrad$
Jitter	$\pm 2\,nsec$	$1\,\mu sec$
maximale Pulsfrequenz		
bei interner Triggerung	$30\,Hz$	$20\,Hz$
bei externer Triggerung	$40\,Hz$	—

Tab. 5.1: *Technische Daten von "altem" und "neuem" Laser [LPh91], [PRA88]*

Intensität des LN 120 C bei geringerer Halbwertsbreite bei Kurzzeitmessungen ($\sigma_{LN300} = 0,27\%$ und $\sigma_{LN120\,C} = 0,8\%$).

Das Laserlicht wurde für diese Messung mit einer Bikonvexlinse in eine Glasfaser eingekoppelt und anschließend auf eine Szintillatorplatte geleitet. Eine angeklebte PIN-Diode setzte daraufhin das Licht in Ladung um. Die Elektronik zur Signalauslese bestand aus einem ladungsempfindlichen Vorverstärker, einem Hauptverstärker und einem Vielkanalanalysator.

5.1.4 Aufgetretene Mängel am Gerät

Der LN300 zeigte, wie auch sein Vorgängermodell, erhebliche Schwächen im Bereich der Funkentstörung, Ursache ist hier hauptsächlich der Aufbau der Zündelektrik mit dem Thyratron. So sendet das Gerät über das Gehäuse, aber auch über die angeschlossenen Leitungen hochfrequente Störungen aus. Abbildung 5.2 zeigt solche Störungen die über die Triggeranschlüsse abgegeben werden.

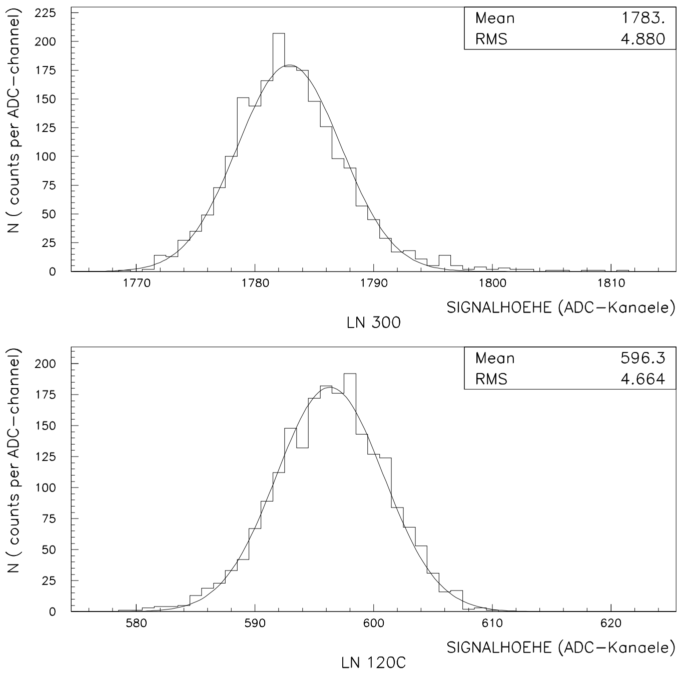


Abb. 5.1: *Energiespektrum von altem und neuem Laser*
Der Gauß-Fit wurde mit dem Programmpaket PAW erstellt [PAW89]

Abb. 5.2: *Störungen auf den Triggerleitungen des Lasers*
Auf den TTL-Signalen (Rechtecksignale; ca. 5 *Volt* hoch) von Triggereingang (**reg**) und Triggerausgang (**sync out**) befindet sich eine hochfrequente, gedämpfte Schwingung. Diese Störung wird etwa zeitgleich mit dem Laserpuls ausgelöst. Einstellung des Oszillografen: horizontal: 1 $\mu sec/DIV$, vertikal: unkalibriert

Daher mußten in ersten Laborversuchen die Triggerleitungen mit Gate-Delay-Generatoren entkoppelt und die Meßelektronik, vor allem die Vorverstärker, weit entfernt vom Laser plaziert werden. Durch spätere Modifikationen wurde das Gerät schrittweise abgeschirmt und entstört. Diese Maßnahmen sind im Anhang A genau beschrieben.

Zu den weiteren Mängeln gehörten das Auftreten ungetriggerter Laserimpulse im **enable**-Zustand und ein nicht zur Gehäuselängsachse paralleler Lichtaustritt[5].

Außerdem zeigten verschiedene Messungen mit lichtempfindlichen Detektoren, daß die Zeitangaben für die Abstände zwischen Triggersignalen und Lichtimpuls von den Herstellerangaben wie folgt abweichen:

	Herstellerwert	gemessener Wert
Zeitdifferenz zwischen ansteigender Kante des eingegebenen TTL-Triggerimpulses (**reg**-Eingang) und dem Lichtpuls	$750\,nsec$	$1,5\,\mu sec$
Zeitdifferenz zwischen ansteigender Kante des ausgegebenen TTL-Synchronisationsimpulses (**sync out**-Ausgang) und dem Lichtpuls	$250\,nsec$	$0,3\,\mu sec$

Aus Gründen, die bei den späteren Messungen zum Jitter deutlich werden, sind die gemessenen Werte hier nicht genauer wiedergegeben.

5.1.5 Eigenschaften des LN300

Um das Leistungsspektrum des LN300 im Lasermonitorsystem des BEMC voll ausschöpfen zu können, wurden im Labor zahlreiche Messungen, vor allem zu Stabilität und Zeitverhalten, durchgeführt. Die Darstellung der Meßaufbauten und die Diskussion der Meßergebnisse ist Gegenstand der nächsten Seiten. Parallel dazu wird erläutert, welche Folgen diese Ergebnisse für die in Kapitel 6 geschilderte Systemintegration haben werden.

Zeitaufgelöste Darstellung der Laserintensität

Um eine Vorstellung von der zeitlichen Verteilung der Laserintensität über die volle Dauer des Laserpulses zu gewinnen wurden die Lichtpulse auf einen HAMAMATSU R2184--Photomultiplier gegeben. Dieser Photomultiplier besitzt nur eine einzige Dynode und wird daher auch besser als Triode bezeichnet. Seine Vorteile liegen in einer deutlich höheren Zeitauflösung gegenüber Photomultipliern mit vielen Dynoden.

Für die Messung wurde die Spannungsteilerschaltung aus Abbildung 5.3 bei einer Betriebsspannung von $-U_0 = 900\ Volt$ eingesetzt.

Die Intensität des Laserlichts wurde mit Graufilter geschwächt um eine Übersteuerung der Triode zu verhindern. Außerdem wurde das Licht vor Einfall auf die Kathode mit einer Bikonvexlinse in ein $6\,Meter$ langes Quarzglasfaserkabel eingekoppelt, um der Störungen wegen eine ausreichende Entfernung zum Laser einhalten zu können.

Das Oszillographenbild 5.4 zeigt einen Peak von $5\,nsec$ Breite bei halber Höhe; das Ergebnis entspricht damit voll den Herstellerangaben. Bei Erhöhung der Pulsfrequenz wurde lediglich eine verminderte Amplitude beobachtet, die Form des Peaks blieb jedoch erhalten.

---

[5] Die Befestigungsschrauben für die Ausrichtung der Laserröhre befinden sich an der Geräteunterseite, und sind teilweise durch eine nur sehr umständlich zu entfernende Elektronikplatine verborgen

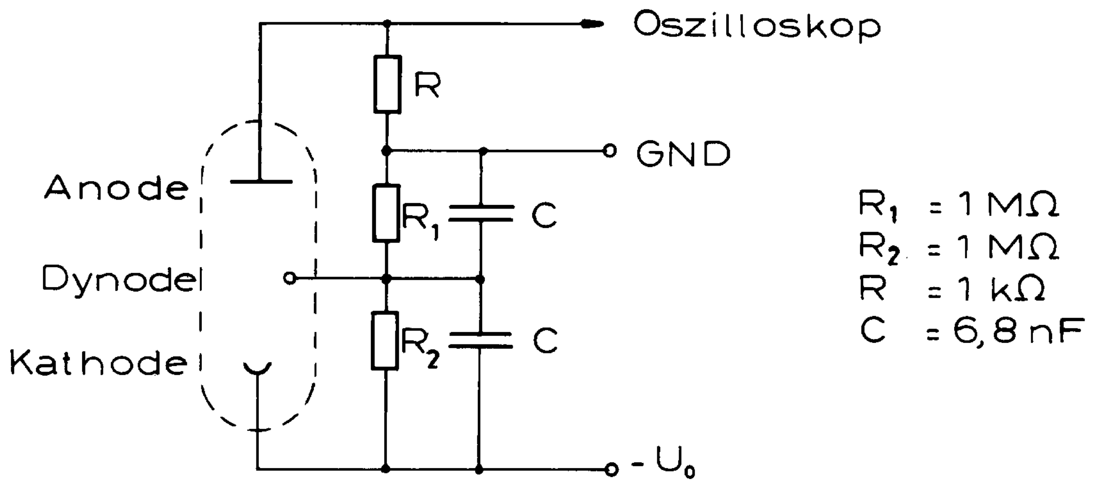


Abb. 5.3: *Spannungsteilerschaltung für die R2184-Triode [Fin89]*

Abb. 5.4: *Pulsform des LN300*
Einstellung des Oszillografen: horizontal: 5 *nsec/DIV*, vertikal: unkalibriert

Untersuchungen zur Energiestabilität

Trotz Quotientenmethode kommt der Energiestabilität des Lasers eine Bedeutung zu, wenn das Lasermonitorsystem zur Erhaltung der 1 % Kalibration herangezogen werden soll.

Am LN300 sind Frequenz ν und Thyratron-reservoir-voltage (U_{mon}) vom Benutzer einstellbar. Um deren optimalen Werte zu bestimmen wurde der in Abbildung 5.5 dargestellte Versuchsaufbau benutzt.

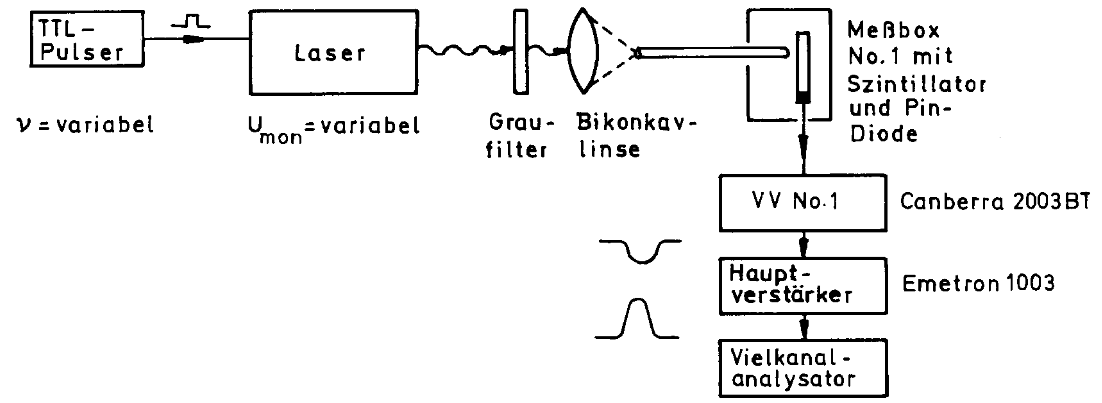


Abb. 5.5: *Versuchsaufbau zur Energiestabilität*

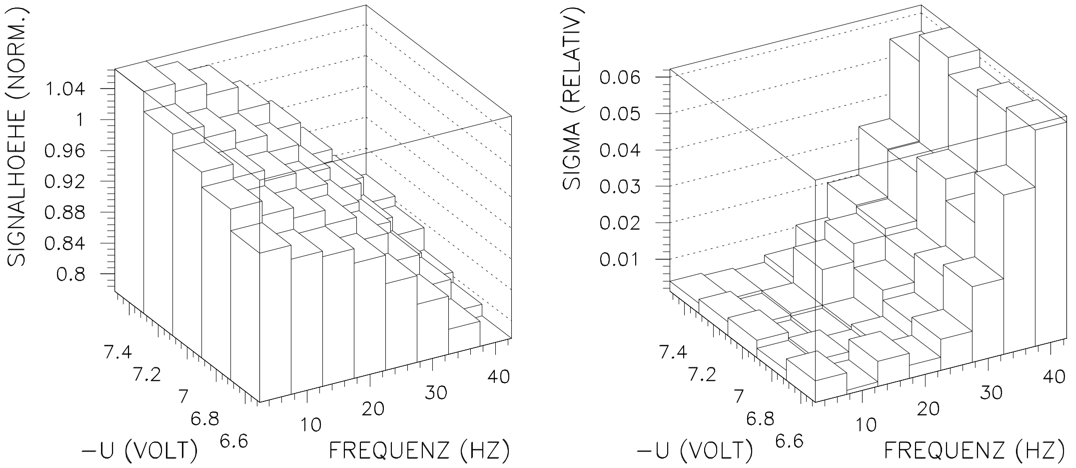
Vor Beginn der Messungen wurden der LN300 über mehrere Stunden warmgepulst. Dann wurde mit dem Vielkanalanalysator für jede eingestellte Kombination der Betriebsparameter (ν, U_{mon}) ein Pulshöhenspektrum über 2000 Laserpulse aufgezeichnet. Vor jeder Messung wurde eine mehrminütige Pause eingehalten, um dem Laser Zeit für die Anpassung an die neuen Betriebsparameter zu geben.
Der Variationsbereich für den Betriebsparameter U_{mon} wurde zwischen den Einstellwert bei Auslieferung[6] von $-6,6$ *Volt* und dem minimal zulässigen Wert von $-7,5$ *Volt*[7] gelegt.

Als Ergebnis dieser Messungen erhält man je ein Kennfeld für die Pulshöhen und Standardabweichungen σ bei den gewählten Kennwerten. Abbildung 5.6 zeigt diese Kennfelder.

---

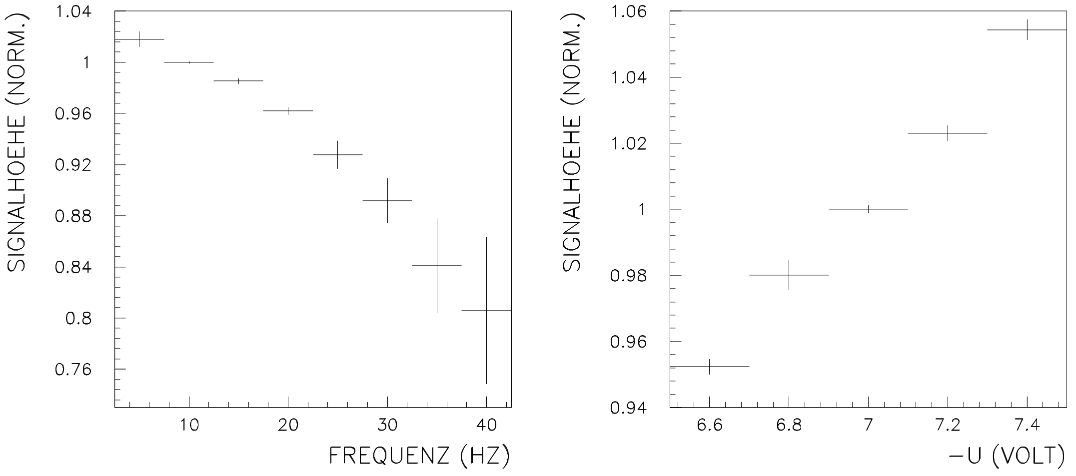
[6] siehe auch Endkontrollbogen des Herstellers

[7] Das Gerät wurde nach einem Reparaturaufenthalt beim Hersteller mit einer Thyratron-reservoir-voltage nahe dieses Minimalwertes zurückgesandt



MEAN

SIGMA



U = −7.0 VOLT

FREQUENZ = 10 HZ

Abb. 5.6: *Kennfelder zur Energiestabilität*

In der Abbildung oben links ist die Pulshöhe als Funktion von U_{mon} und ν aufgetragen. Die Pulshöhenangaben wurden auf den betriebsoptimalen Wert von $U_{mon} = -7,0\ Volt$ und $\nu = 10\ Hz$ normiert.

Oben rechts ist für jede Betriebsparameterkombination das jeweilige σ als Funktion aufgetragen.

Die unteren Abbildungen zeigen Schnitte durch den Pulshöhenplot, bei jeweils einem konstantgehaltenen betriebsoptimalen Parameter. Die vertikalen Fehlerbalken repräsentieren das σ, passend zum Maßstab der Ordinate.

Die beiden unteren Meßkurven zeigen die Signalhöhe als Funktion der Frequenz und die Signalhöhe als Funktion von U_{mon} für die festgewählten Betriebsparameter $U_{mon} = -7,0\,Volt$ und $\nu = 10\,Hz$. Bei dieser Betriebsparameterkombination steht eine relativ große Signalhöhe bei äußerst niedrigem σ von weniger als $\pm 0,2\%$[8] zur Verfügung.

Der σ-Plot zeigt, daß die Standardabweichung im wesentlichen nur von der Frequenz ν abhängig ist.

Die Thyratron-reservoir-voltage wirkt sich auf den durch das Schaltthyratron hervorgerufenen Entladungsstrom durch die Laserröhre aus. Der tiefere Sinn des Drehpotentiometers zur Einstellung von U_{mon} liegt offenbar darin, daß er bei der Endkontrolle durch den Hersteller zur Justierung der Pulsenergie auf genau $250\,\mu J$ (bei einer Frequenz von $10\,Hz$) dient. Das Manual [LPh91] erwies sich in Bezug auf derartige nützliche Hinweise stets als äußerst sparsam.

Zu Bemerken ist auch, daß U_{mon} von Schwankungen der Stromversorgung abhängig ist. Oftmals wurde zwischen mehreren Betriebszyklen eine Veränderung von U_{mon} um mehr als $0,2\,Volt$ beobachtet, ohne das eine Justierung am Drehpotentiometer erfolgte. Alle Messungen wurden daher vorwiegend am Abend oder an Wochenenden durchgeführt.

Die Kennfeldmessung liefert nur eine Information über den warmgepulsten LN300. Im künftigen Betrieb wäre jedoch höchstens ein täglicher Laserbetrieb von allenfalls einer halben Stunde Dauer denkbar. Dabei müßte der Laser aus kaltem Zustand heraus gestartet werden. Um die Aufheizphase von über drei Minuten umgehen zu können wäre allenfalls ein Warmstart, aus einem standby-Betrieb heraus, denkbar. Der Laser würde hierzu in den Betriebspausen eingeschaltet, aber in einem **disable**-Zustand[9] verweilen [LPh91].

Aus diesem Grunde wurden mit dem vorher beschriebenen Aufbau Messungen zur Energiestabilität in der Startphase durchgeführt. Hierzu wurde mit dem Laser nach einer 24-stündigen Betriebspausen ein Kalt- und ein Warmstart durchgeführt. Eine halbe Stunde lang wurden dann Pulshöhenspektren über Zeitintervalle von je einer Minute genommen. Die Ergebnisse sind in Abbildung 5.7 dargestellt.

Sie zeigen, daß in beiden Fällen einem kurzzeitig geringen σ von über eine Minute ca. $\pm 0,5\%$ eine deutlich größere Pulshöhendrift gegenübersteht. Diese Pulshöhendrift ist in guter Übereinstimmung mit der Herstellerangabe von $\pm 3\%$ für die Energiestabilität. Besonders auffällig ist beim Warmstart das in der ersten Minute geringe σ von weniger als

---

[8] Wo immer in dieser Arbeit ein σ erwähnt ist, ist damit stets die Standardabweichung (oft auch mit r.m.s. bezeichnet) gemeint. Die Standardabweichung wird stets berechnet mit :

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(x_i - \overline{x})^2}{N-1}}$$

wobei:

$$\overline{x} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_i$$

den Mittelwert bezeichnet.

Übrigens ist die Halbwertsbreite einer Gaußverteilung mit der Standardabweichung σ direkt verknüpft [Tay88]. Es gilt:

$$\Gamma = FWHM = 2\sigma\sqrt{2 \cdot ln2} = 2,35 \cdot \sigma$$

Die Standardabweichung σ ist nicht zu verwechseln mit der Standardabweichung des Mittelwertes zu:

$$\sigma_{\overline{x}} = \frac{\sigma_x}{\sqrt{N}}$$

.

[9] im **enable**-Zustand sind die Elektroden der Laserröhre unter Hochspannung gesetzt; bei ungepulstem Betrieb würden Lasergas und -röhre somit unnötig beansprucht

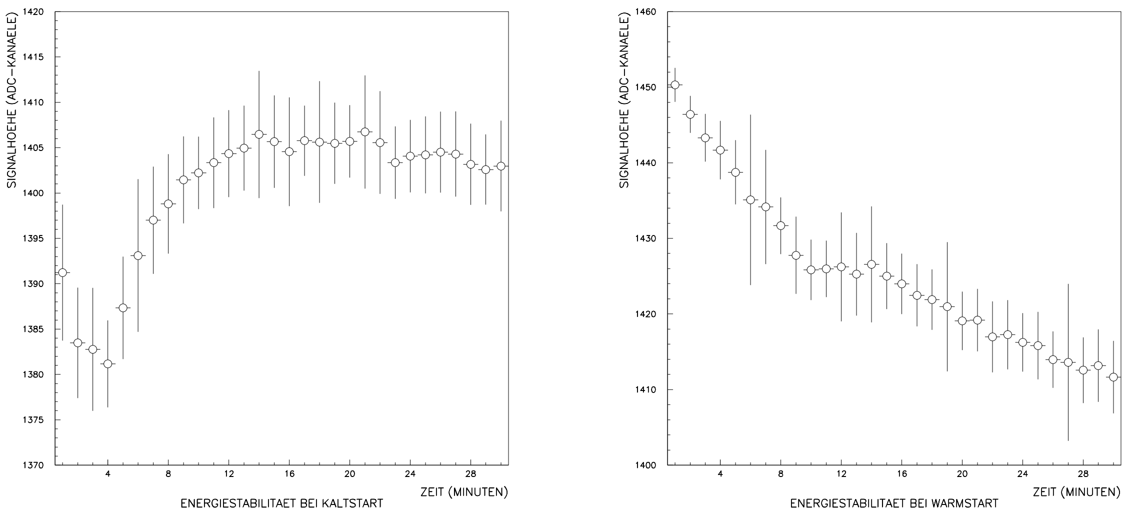


Abb. 5.7: *Energiestabilität in der Startphase*
Die Plots zeigen die Pulshöhendrift in den ersten 30 Betriebsminuten für Kalt- (links) und Warmstart (rechts).
Die vertikalen Fehlerbalken kennzeichnen dabei das σ bei der jeweiligen Einzelmessung.

$\pm 0,2\%$.
Der Plot für den Kaltstart läßt vermuten, daß sich hier die offenbar entgegengesetzt gerichteten Effekte des erholten Lasergases, und des zu Beginn noch nicht voll warmgeheizten Thyratrons überlagern. So stehen beim Kaltstart anfangs noch weniger Elektronen zur Stoßanregung des Lasergases zur Verfügung, was hier zu einem Ansteigen der Pulshöhe führt. Im Warmstartplot taucht nur der absteigende Anteil auf, der von einer zunehmenden Besetzung aller unteren Laserniveaus in der Röhre herrühren dürfte.

Untersuchungen zum Jitter

Für den Einsatz des LN300 im Lasermonitorsystem war interessant, ob das vom Laser zur Verfügung gestellte Synchronisationssignal dem Lichtpuls so exakt vorauseilt, daß mit ihm das Datenacquisitionssystem des BEMC getriggert werden könnte[10]; oder ob sich der Laser gar derart exakt von außen antriggern läßt, so daß ein zur HERA-Clock synchronisierter Betrieb möglich wäre.
Letzteres hätte für den Einsatz des Lasermonitorsystems einen entscheidenden Vorteil gehabt. Das Design der Datenacquisition im H1-Detektor ermöglicht den Kalorimetern nur dann einen simultanen Testbetrieb, wenn die Kalorimeterdatenacquisitionssysteme synchron zur HERA-Clock getriggert werden. Benötigt eines der Kalorimeter einen eigenen Trigger, so können die anderen Kalorimeter in dieser Zeitspanne nicht arbeiten. Grund hierfür ist Verwendung einer gemeinsamen *STC-Fanout-Card* für alle H1-Kalorimeter [Mei91].

Aus diesen Gründen wurde der LN300 sehr genau auf sein Zeitverhalten hin untersucht. Die Herstellerangabe für den Jitter war hierfür keinesfalls heranzuziehen, da in

---

[10] Für eine Pulshöhenmessung durch die BEMC-Elektronik auf eine Genauigkeit von einem Prozent, muß der Zeitabstand zwischen Trigger- und Lichtpuls auf weniger als 12 *nsec* konstant bleiben (vgl. hierzu auch Kapitel 6.2).

der Lasertechnik unter einem Jitter lediglich Pulsfolgeschwankungen verstanden werden [Eic90].

Im Versuchsaufbau (siehe Abbildung 5.8 wurden ein **Timing Filter Amplifier** und ein **Constant Fraction Discriminator** hintereinandergeschaltet um aus dem Vorverstärkersignal ein schnelles Zeitsignal generieren zu können, welches weder von durch den Laser abgestrahlten Störungen, noch durch Pulshöhenschwankungen beeinflußt wird. Ein weiteres Zeitsignal wurde wahlweise von der Triggereingangsbuchse oder der Zeitsynchronisationssignalausgangsbuchse entnommen und von einem **Delay-Gate-Generator** in ein schnelles NIM-Signal umgewandelt. Aus praktischen Erwägungen wurde dieses Zeitsignal mit dem **Delay-Gate-Generator** zeitlich hinter den Lichtpuls gelegt. Die beiden schnellen Zeitsignale wurden nun als **Start**- und **Stop**-Signal auf einen **Time-To-Pulse-Height-Converter** gegeben. Dieses Gerät setzt die Zeitdifferenz zwischen Eingang von **Start**- und **Stop**-Signal, quasi durch konstantes Aufladen eines internen Kondensator, in eine zu ihr proportionalen Spannung um. Dieser Spannungswert wird als bipolarer Impuls ausgegeben und vom nachgeschalteten Vielkanalanalysator in einen digitalen Wert umgesetzt. Um eine Umrechnung von ADC-Kanälen in Zeiteinheiten zu ermöglichen, konnte eines der Zeitsignale mit einer **Delay-Box** wahlweise um weitere 50 *nsec* verschoben werden. Die Kanaldifferenz zwischen den Maxima zweier Vielkanalspektren, mit unterschiedlicher Einstellung der **Delay-Box** entsprach dann dieser Zeitdifferenz[11].

Abb. 5.8: *Versuchsaufbau zum Jitter*

Wie schon bei den Messungen zur Energiestabilität wurden auch hier wieder die beiden Betriebsparameter U_{mon} und ν variiert. Abbildung 5.9 zeigt die entsprechenden Kennfelder und Schnitte für eine Messung des Jitters zwischen externem Triggersignal und dem Lichtpuls des Lasers.

---

[11] Alle in diesem Absatz aufgeführten Geräte sind sind Standard in der Nuklearen Meßtechnik. Ihre Arbeitsweise kann aus [Smi86] entnommen werden

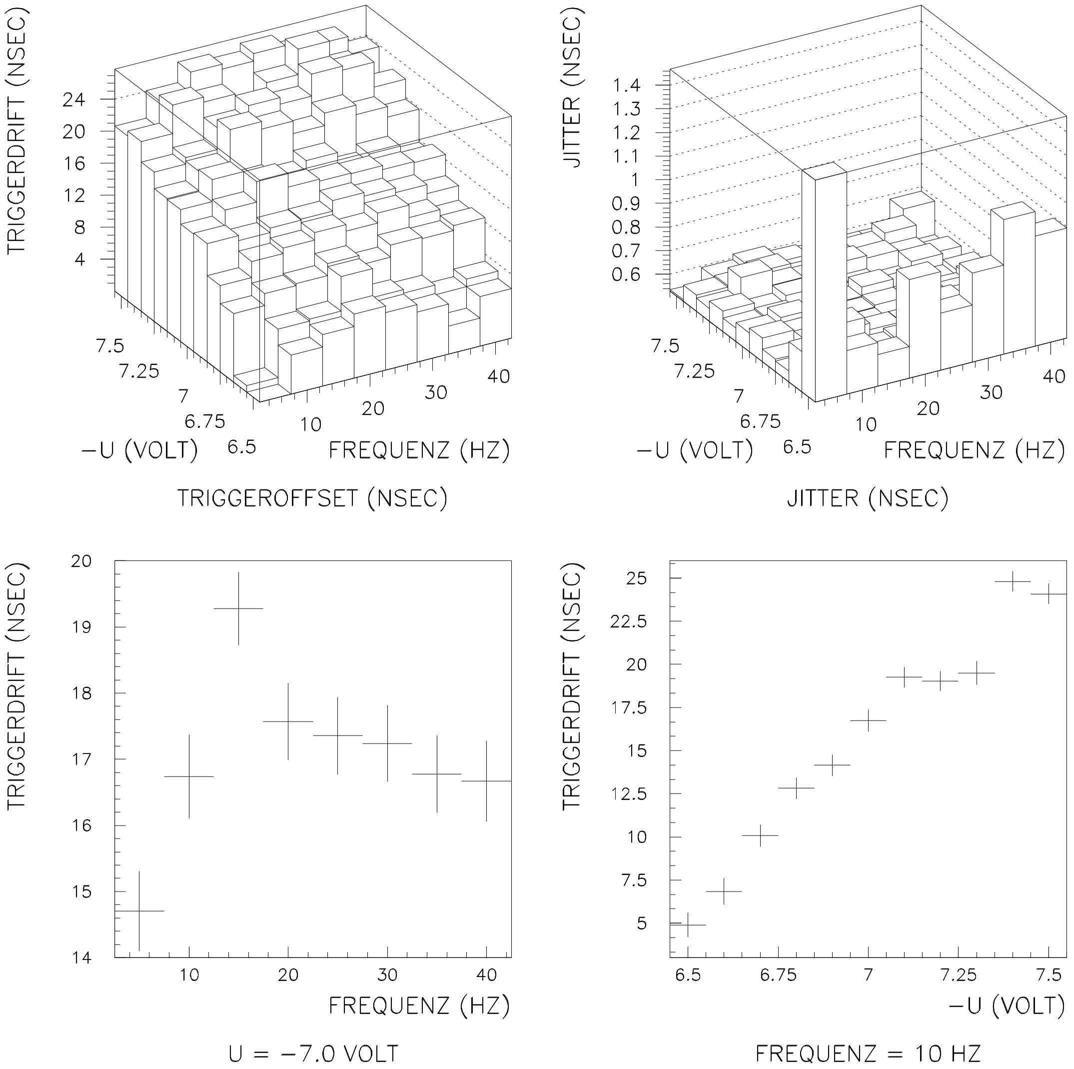


Abb. 5.9: *Kennfelder zum Jitter*

In der Abbildung oben links ist die zeitliche Verschiebung des Triggerzeitpunkts relativ zur Lage des Laserlichtpulses, bei Variation von U_{mon} und ν, aufgetragen. Mit zunehmenden Werten für diesen **Triggeroffset** rückt der Triggerimpuls näher an den Laserlichtpuls heran.

Rechts daneben befindet sich das Kennfeld für den eigentlichen Jitter. Die Jitterwerte wurden als das σ der einzelnen Vielkanalspektren bestimmt.

Die unteren Abbildungen zeigen Schnitte durch den Triggeroffsetplot, bei jeweils einem konstantgehaltenen betriebsoptimalen Parameter. Die vertikalen Fehlerbalken repräsentieren den Jitter, passend zum Maßstab der Ordinate.

Für jede Kombination aus U_{mon} und ν wurden 1000 Laserpulse herangezogen.

Aus dieser Meßreihe wird deutlich, daß bei warmgepulstem Laser weniger der hier ermittelte Jitter von Bedeutung ist, als vielmehr die Verschiebung des Triggerzeitpunktes.

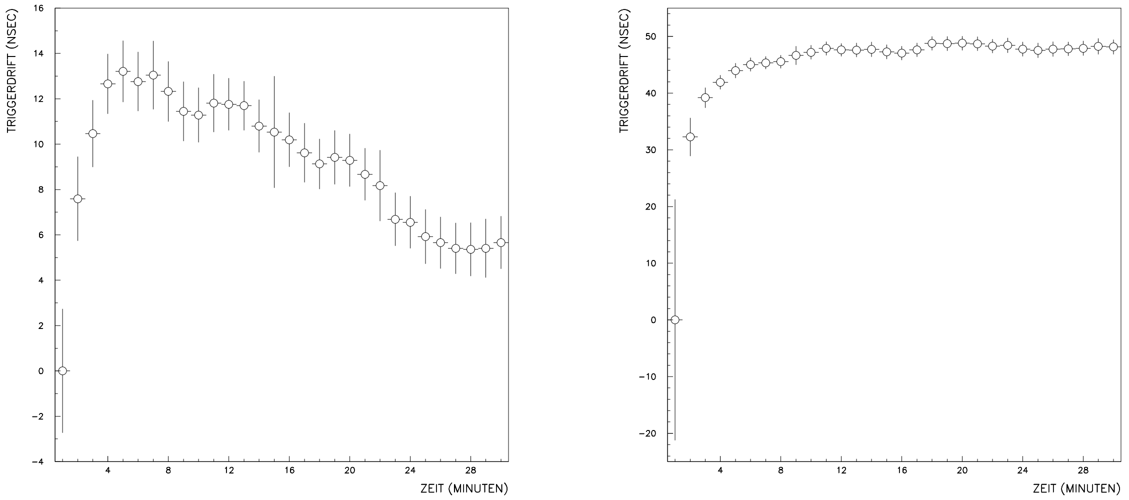
Die Lage des Triggerzeitpunktes ist gegen eine Veränderung der gewählten Pulsfrequenz, und noch viel stärker gegen Änderungen der Thyratron-reservoir-Voltage U_{mon} empfindlich. Da, wie schon bei den Untersuchungen zur Energiestabilität erwähnt, U_{mon} durch Schwankungen der Netzspannung beeinflußt wird, ist für die Integration des Lasermonitorsystems ein stabiler Netzanschluß absolut notwendig.

In Abbildung 5.10 sind die Meßergebnisse für den Triggeroffset und den Jitter in der Startphase abgebildet.

Es wird deutlich, daß die Triggerdrift in den ersten fünf bis acht Minuten der Startphase für den Kaltstart weniger drastisch als für den Warmstart ausfällt. Unter Vernachlässigung dieser ersten Minuten erscheint dagegen der Warmstart eher brauchbar. Der Vergleich zwischen den Plots für die beiden Triggervarianten zeigt überdies, daß zwischen dem externen Triggerpuls und dem Zeitsynchronisationspuls ein Jitter besteht. Dies bestätigte ein kurzer Versuche mit einem Jitter zu ca. ± 1 *nsec* bei einem über wenige Minuten vorgepulstem Laser.

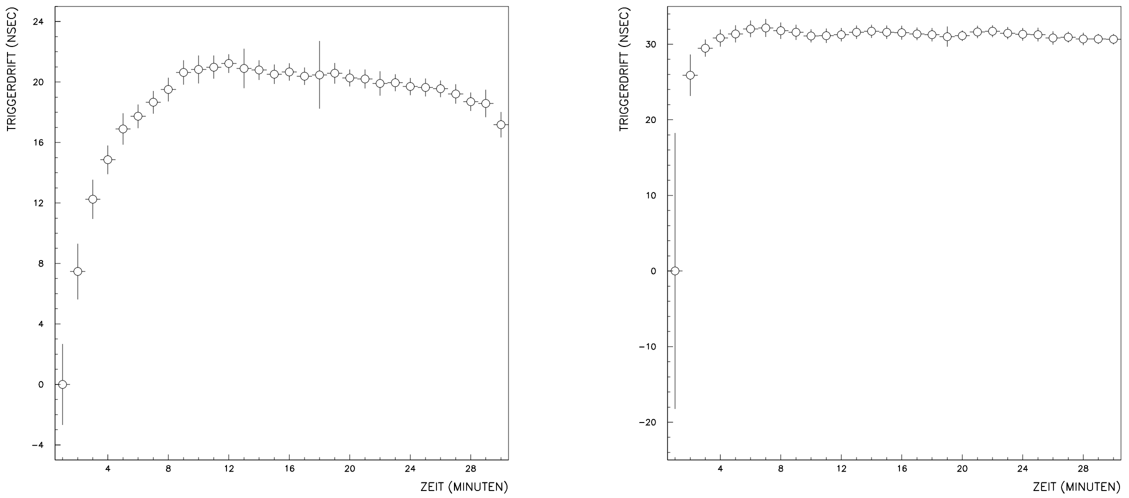
Die Kombination der Unsicherheiten bei der Festlegung des Triggerzeitpunktes, gewonnen aus den Messungen mit warmgepulstem Laser und aus den Messungen in der Startphase, weisen die elektronische Triggerung für eine Laserkalibration als zu unzuverlässig aus. Die Triggerung des Datenacquisitionssystems muß daher mit einem aus dem Laserlicht generierten Triggersignal erfolgen.

Für ein reines Monitoring ist dagegen der Einsatz der elektronischen Triggerung volkommen ausreichend, wie es auch die in Kapitel 7 angeführten Messungen zur Funktionskontrolle bereits bewiesen haben.



TRIGGERDRIFT (NSEC) BEI KALTSTART UND EXTERNER TRIGGERUNG

TRIGGERDRIFT (NSEC) BEI WARMSTART UND EXTERNER TRIGGERUNG



TRIGGERDRIFT (NSEC) BEI KALTSTART UND INTERNER TRIGGERUNG

TRIGGERDRIFT (NSEC) BEI WARMSTART UND INTERNER TRIGGERUNG

Abb. 5.10: *Triggeroffset und Jitter in der Startphase*

Die Plots zeigen die Drift des Triggerzeitpunktes in den ersten 30 Betriebsminuten für Kalt- (links) und Warmstart (rechts).

In den oberen Plots wurde zwischen dem an den Laser abgegebenen Triggersignal und dem Lichtpuls gemessen. In den unteren Plots dagegen zwischen dem vom Laser ausgegebenem Zeitsynchronisationssignal und dem Lichtpuls.

Die vertikalen Fehlerbalken kennzeichnen dabei den Jitter, bezogen auf die jeweilige Einzelmessung.

Der Mittelwert der ersten Einzelmessung dient als Zeitnullpunkt für die Triggerdrift. Der Lichtpuls folgt diesem Zeitnullpunkt in den oberen/unteren Diagrammen um einen konstanten Wert von ca. $1,5\,\mu sec/0,3\,\mu sec$.

5.2 Aufbau der detektorseitigen Optik

Die Installation aller detektorseitigen Bestandteile des Lasermonitorsystems und die Verlegung der Quarzglasfasern, die das Laserlicht zwischen dem BEMC und der Laserplattform[12] transportieren, wurde mit [Sri91] abgeschlossen.

Die detektorseitige Optik soll daher nur kurz vorgestellt werden, um in die Schnittstellenbeziehungen zur detektorfernen Optik und zum BEMC einzuführen.

Abbildung 5.11 zeigt diesen detektorseitigen Aufbau der direkt an der Rückseite des BEMC montiert ist. Die den detektorseitigen Aufbau (am BEMC) und den laserseitigen Aufbau (beschrieben in Abschnitt 5.3) verbindenden Quarzglasfasern werden in einem gemeinsamen Wellschlauch geführt. Das Laserlicht kann dabei über wahlweise zwei **Primärfasern** in die beiden Lichtmischersysteme, bestehend aus jeweils einer Lichtaufweitungsoptik und einem Mischerstab aus Quarzglas, eingekoppelt werden. Ihnen schließt sich jeweils ein Quarzglasfaserbündel aus je 110 **Sekundärfasern an**. Diese Sekundärfaserbündel, oft auch als "rotes" und "blaues" Bündel bezeichnet, verteilen das Laserlicht auf die BEMC-Module, das Nebenreferenzsystem und auf die **Referenzfasern** die das Licht zum Hauptreferenzsystem des detektorfernen Aufbaus führen.

Abb. 5.11: *Der detektorseitige Aufbau des Lasermonitorsystems*
Die Steckverbindungen erleichtern den Ausbau des BEMC aus dem H1-Detektor.

Jedes BEMC-Modul mit zwei Lichteinkopplungspunkten wird aus jedem der beiden Faserbündel mit einer Sekundärfaser versorgt. Durch den doppelten Aufbau von Mischer und Referenzsystemen wird damit eine gewisse Redundanz erzielt. Außerdem sind zu den zwei eingesetzten Primärfasern zwei weitere als Reserve verlegt. Aus historischen Gründen sind diese beiden **Reservefasern** noch in einem gemeinsamen Messingstecker konfektioniert [Sri91].

In beiden Aufbauten wurde stets Quarzglasoptik verwendet, da ein alternativer Aufbau aus Kunststoffasern und optischen Elementen aus BK 7 keine genügende Transmission für das UV-Licht des Stickstofflaser aufweist.

---

[12] Die Laserplattform befindet sich außerhalb des H1-Detektors, an einer Außenwand des doppelstöckigen Elektronik-Trailers. Sie trägt den Laser, einen optischen Aufbau, das Hauptreferenzsystem und ein Treiberinterface. Der Aufbau dieser detektorfernen Optik ist Gegenstand des anschließenden Abschnitts (5.3).

5.3 Aufbau der laserseitigen Optik

Der laserseitige optische Aufbau wurde für den neuen Laser komplett neu erstellt. Gründe hierfür waren die neue Gehäuse- und Strahlgeometrie des LN300, die Forderung nach einem komplett rechnersteuerbarem Aufbau und der Wunsch, den alten optischen Aufbau mit dem LN120 C, für Labormessungen zu erhalten.

Abb. 5.12: *Der laserseitige optomechanische Aufbau des Lasermonitorsystems*
Der Laser und das staubdichte Gehäuse mit der Optik zur Lichteinspeisung in die Primärfasern sind auf einer gemeinsamen Grundplatte, dem sogenannten **Laserboard** montiert.
Nicht abgebildet sind die Reservefasern und das Hauptreferenzsystem (siehe hierzu Abbildung 5.16. Letzteres ist unmittelbar neben dem Laserboard angebracht.

Eine Prinzipskizze des neuen Aufbaues zeigt Abbildung 5.12. Das Laserpulse treten über ein Lichteintrittsfenster in das staubdichte Optikgehäuse ein. Dieses verhindert eine Verunreinigung der nachfolgenden optischen Elemente, durch Schmutzpartikel aus der Kühlluft des Laser. Die Halterung für das Lichteintrittsfenster läßt sich zu Reinigungszwecken leicht herausschrauben. Das Lichteintrittsfenster selbst besteht aus einer unbeschichteten Quarzglasscheibe mit einer Transmission von 91 %. Sollte später der Wunsch nach einer höheren Lichtintensität bestehen kann an dieser Stelle auch eine Quarzglasscheibe mit Antireflexbeschichtung[13] eingesetzt werden.

Das Laserreferenzsystem

Im Optikkasten trifft das Licht eine Quarzglasplatte, die unter einem Winkel von 45° in den Strahlengang gebracht ist. Sie dient zur Auskopplung eines Lichtanteils in das Laserreferenzsystem das in Abbildung 5.13 dargestellt ist. Im Laserreferenzsystem fällt das ausgekoppelte Licht auf eine Szintillatorplatte mit zwei angeklebten HAMAMATSU S2575 - Photodioden deren Signale über *ladungsempfindliche Vorverstärker* und *Line Driver* dem Datenacquisitionssystem zugeführt werden. Zur Anpassung der Lichtintensität an

---

[13] Ein in den äußeren Abmessungen passendes "High Energy Laser Window" ist bei Fa. Melles Griot unter der Bezeichnung 08 WLQ 003/507 erhältlich. Es hat bei einer Wellenlänge von 337 nm eine Transmission von über 99 Prozent.

den dynamischen Bereich des Vorverstärkers und zur Schonung der Szintillatorplatte lassen sich Graufilter und eine Streuscheibe in den Strahlengang bringen. An eine der beiden Photodioden läßt sich mit einem Umkehrdrehmagneten ein γ-Präparat heranbewegen[14]. Für die Eichung dieser Referenzdiode wird eine Co^{57}-Quelle benutzt, die eine stark ausgeprägte Photolinie bei $122\,keV$ aufweist. Die andere Photodiode wird zur Generierung eines Triggersignals auf die Laserlichtpulse verwendet; sie sieht die γ-Quelle nicht.

Abb. 5.13: *Das Lasereferenzsystem (im Rohbau)*
Auf der Fotografie (links) ist der Kupferkasten geöffnet und der Bleibunker zur Abschirmung der radioaktiven Quelle entfernt. Der Präparathalter ist in die Meßposition gedreht. Dagegen befindet sich der Präparathalter in der Prinzipskizze (rechts) in der Parkposition.

Das Laserreferenzsystems ist von einem Kupferkasten umgeben, um elektromagnetische Störungen von den Photodioden und der Ausleseelektronik fernzuhalten. Die Umkehrdrehmagnete werden für einen Positionswechsel des γ-Präparates nur durch einen kurzen Stromstoß erregt. Dadurch wird während der Datennahme ein zusätzliches Magnetfeld vermieden. Die Einhaltung von Park- oder Meßposition des Präparates werden durch eine Feder garantiert.

Einsatz von Graufiltern zur Intensitätsabschwächung

Zur Abschwächung der Lichtintensität sind im Strahlengang ein einzelner Filterhalter und ein Filter (wechsel) rad mit acht Filterplätzen eingebaut. Mit dem stationären Filter kann die im nachfolgenden System verfügbare Lichtintensität auf einen Maximalwert begrenzt werden; das Filterrad ermöglicht die in Kapitel 4.4 erwähnten Linearitätstests.

Die eingesetzten Graufilter[15] bestehen aus Quarzglas als Substratmaterial und einer aufgedampften Schicht zur Minderung der Transmisssion. Seitens des Herstellers wird jedem Graufilter ein Datenblatt mit einer Eichkurve beigefügt, welche die *optische Dichte* als Funktion der Wellenlänge angibt.

---

[14] Die Daten zu allen verwendeten motorischen Komponenten und den radioaktiven Präparaten befinden sich im Anhang C

[15] Fa. Melles Griot

Zwischen Transmission (T) und optischer Dichte (D) besteht die Beziehung:

$$T = 10^{-D} \qquad \Longleftrightarrow \qquad D = log \frac{1}{T}$$

Werden mehrere Graufilter hintereinandergesetzt reduziert sich, bei Vernachlässigung von Mehrfachreflektionen, die Transmission, entsprechend der Addition der optischen Dichten.

Labormessungen mit dem LN300 ließen jedoch vermuten, daß die Lichtintensität nicht homogen über die gesamte Filteroberfläche reduziert wird. Aus diesem Grunde wurde mit einem Filter der optischen Dichte 4,0 und dem Aufbau aus Abbildung 5.5 ein kleiner Versuch durchgeführt: Hierbei kam zum Tragen, daß der LN300 keinen kreisförmigen Strahlfleck besitzt. Ein Drehen des Graufilters um die Strahlachse sollte daher mit reproduzierbaren Änderungen der Lichtintensität verbunden sein. Die Graufiltereinfassung (Durchmesser = $30\,mm$) wurde zu diesem Zweck an der äußersten Kante mit vier willkürlich gesetzten Filzstiftmarkierungen versehen um die so definierten Winkelpositionen durch Drehen wiederholt anfahren zu können. Die Auswertung der aufgezeichneten Spektren (siehe Abbildung 5.14 ergibt in der Tat reproduzierbare Intensitätsveränderungen für verschiedene Winkelstellungen. Der in allen Filterpositionen beobachtete kontinuierliche Abfall der Pulshöhe beruht offenbar auf dem Startphasenverhalten des Lasers.

Abb. 5.14: *Effektive Graufilterinhomogenitäten*
Die Winkelpositionen (1 bis 4) wurden in abwechselnder Reihenfolge je fünfmal angewählt.

In jedem Fall ist für den Einsatz der Graufilter eine dauerhaft sichere Befestigung und ein exakt positionierbares Filter (wechsel) rad notwendig.

Der Antrieb des erstellten Filterrades (siehe Abbildung 5.15) erfolgt durch einem Gleichstrommotor mit spielfreiem Getriebe[16]. Haltepunkt sowie Filterposition werden durch Leuchtdioden, Phototransistoren und einer geeigneten Lochung am Rand des Filterrades nach dem Lichtschrankenprinzip ermittelt.

Abb. 5.15: *Das Filterrad (im Rohbau)*
Die äußere Lochung (linkes Bild) dient zur Haltepunktermittlung; über die drei anderen Lochpositionen sind die acht Filterpositionen binär kodiert. Die vier erforderlichen Leuchtdioden und Phototransistoren befinden sich in zwei schwarzen Kunststoffblöcken (rechtes Bild).

Strahlteiler und Spiegel

Zur Aufspaltung des Laserlichts werden eine Strahlteilerplatte[17] und ein Spiegel eingesetzt. Sie bestehen runden Quarzglasplatten die mit geeigneten Beschichtungen versehen sind. Eichkurven zu Transmission und Reflexion befinden sich im Anhang C.

Bei der Konstruktion des optischen Systems war der der am Strahlteiler entstehende Strahlversatz des transmittierten Anteils in der Größe von ca. $3,2\,mm$ zu berücksichtigen[18]. Er läßt sich über das Snellius' schen Brechungsgesetz: $\frac{n_{Luft}}{n'_{Quarzglas}} = \frac{sin\alpha'}{sin\alpha}$ herleiten. Die Brechzahl von Quarzglas wird mit $n' = 1,479$ angegeben.

---

[16] Fa. Faulhaber, Schönaich
Die technischen Daten von Motor und Getriebe befinden sich in Anhang C.

[17] Aufgrund der hohen Intensität des Lasers läßt sich hier kein geklebter Strahlteilerwürfel einsetzen

[18] Ein Strahlversatz an der Quarzglasplatte, für die Lichtauskopplung zum Laserreferenzsystem, wurde ebenfalls mitberücksichtigt, fällt aber wegen der fünfmal dünneren Plattenstärke entsprechend weniger ins Gewicht.

Die Shutter

Die Shutter werden von Drehmagneten[19]. angetrieben, die werksseitig mit einer Rückholfeder ausgestattet sind. Der Strahlengang wird nur für die Dauer der Bestromung des Drehmagneten freigegeben.

Lichteinkopplung in die Primärfasern

Zur Einkopplung des Laserlichts in die Enden der Primärfasern werden Bikonvexlinsen aus Quarzglas eingesetzt.
Vor den Linsen sind Halterungen für Graufilter angebracht. Dies ermöglicht einen Intensitätsabgleich zwischen "roten" und "blauen" System.
Die Primärfaserenden[20] können mit jeweils zwei Justiervorrichtungen[21] auf die Brennpunkte der Linsen ausgerichtet werden. Eine Verstellung längs der Strahlachse kann über je eine Kunststoffschraube vorgenommen werden; Die Lichteinkopplung verhält sich in dieser Raumrichtung weniger empfindlich.

Das Hauptreferenzsystem

Das Hauptreferenzsystem (siehe Abbildung 5.16) ist unmittelbar neben dem Laserboard untergebracht. Zum Schutz von Photodioden und Ausleseelektronik vor elektromagnetischen Störungen befindet es sich, ebenfalls wie das Laserreferenzsystem, in einem Kupferkasten.
Es registriert das Laserlicht aus den von der detektorseitigen Optik zurückkehrenden Referenzfasern[22] und besitzt dementsprechend zwei Referenzdioden mit eigener Szintillatorplatte. Beide Referenzdioden werden mit je einem Cd^{109}-Präparat geeicht, welche unabhängig voneinander mit Umkehrdrehmagneten zwischen Park- und Meßposition bewegt werden können. Die Cd^{109}-Präparate emittieren eine Photolinie bei $88\,keV$.

Von der Ausleseelektronik wird ein Meßanschluß für ein Oszilloskop abgezweigt. Das Hauptreferenzsystem bietet damit eine Hilfe zur Justierung der Primärfaserenden.

---

[19] Fa. Kuhnke, Malente
Die technischen Daten befinden sich in Anhang C.

[20] Die Primärfaserenden sind in Messinghülsen konfektioniert.

[21] Fa. Spindler & Hoyer, Göttingen; Verstellweg $4\,mm$

[22] Die Befestigung am Hauptreferenzsystem wird über SMA 905 - Verbindungen vorgenommen.

Abb. 5.16: *Das Hauptreferenzsystem*
Die Fotografie (oben) zeigt das Hauptreferenzsystem im Rohbau. Beide Präparatträger befinden sich in der Parkposition. Die Münze dient zum Größenvergleich. In der Prinzipskizze (unten) befinden sich dagegen beide Präparatträger in der Meßposition.

Unterbringung von Laserboard und Laserplattform am Elektronik-Trailer

Die **Laserplattform** befindet sich an einer Seitenwand des Elektronik-Trailers[23] Auf ihr sind sowohl das Laserboard mit dem LN300 und dem Optikkasten, als auch das Hauptreferenzsystem montiert. Darüber befindet sich eine Abdeckhaube aus Aluminiumblech. Diese Abdeckhaube besitzt an zwei Außenseiten je ein Lüftungsgitter mit Filtereinsatz. Ein Lüfterpaar, daß fest am Laserboard montiert ist, erzeugt damit einen Luftstrom zur Kühlung des Lasers[24].

Unter der Laserplattform befinden sich das in Kapitel 6 näher erläuterte Treiber-Interface und ein Kupferkasten mit Verzögerungsleitungen für die Referenzsysteme. Der Wellschlauch mit den Quarzglasfaserkabeln zum BEMC wird auch an der Unterseite der Laserplattform herausgeführt.

Abbildung 5.17 zeigt eine Fotographie der Laserplattform.

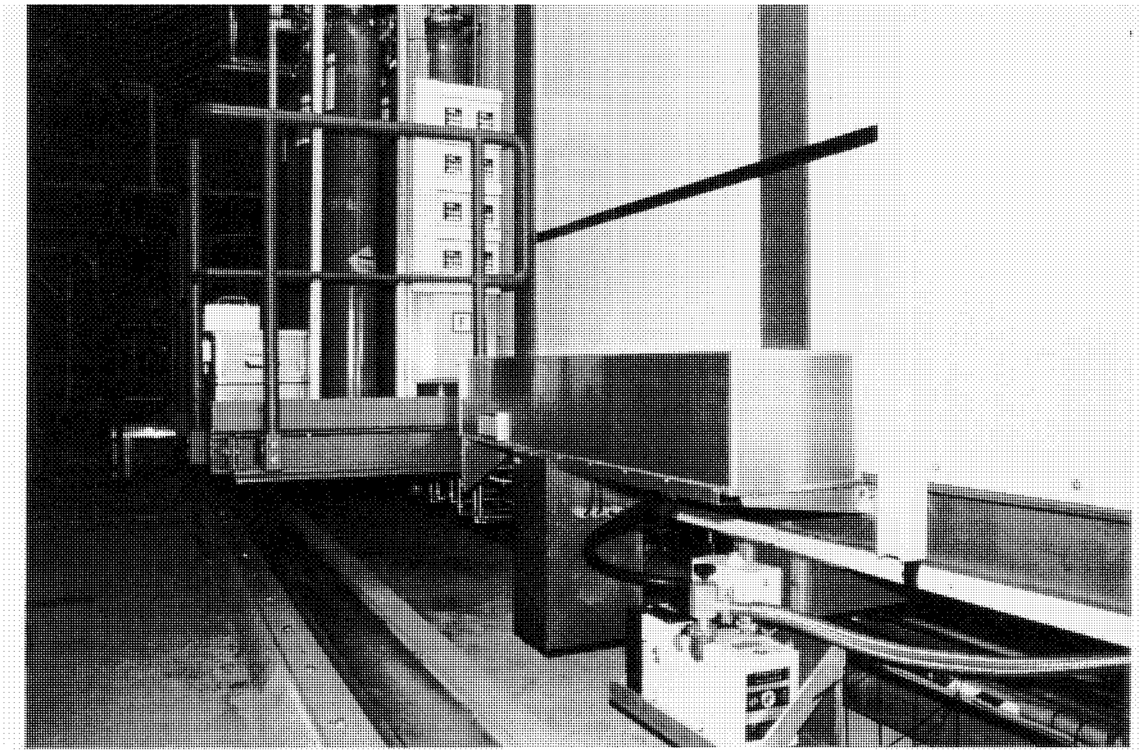


Abb. 5.17: *Die Laserplattform am Elektronik-Trailer*
Das Elektronik-Interface war zum Zeitpunkt noch nicht fertiggestellt. Die Vorpumpe im Vordergrund gehört nicht zum Lasermonitorsystem.

---

[23] Der Elektronik-Trailer ist fest mit dem H1-Detektorverbunden und trägt in seinen zwei Stockwerken die unmittelbar vor Ort benötigten elektronischen Komponenten.

[24] Zum einen wird so die erwärmte Abluft des Lasers abgeführt; zum anderen wird durch direkte Anströmung das Kupfergehäuse, welches zur Abschirmung elektromagnetischer Störungen um den Laser befestigt wurde (vgl. Anhang A), gekühlt.

Kapitel 6

Integration des Lasermonitorsystems in die bestehende Rechnerumgebung

6.1 Datenverarbeitung am H1-Experiment

Als Einführung in die Rahmenbedingungen für die Integration des Lasermonitorsystems ist es sinnvoll, zunächst einige Highlights der Datenverarbeitung am H1-Experiment vorzustellen und zu erläutern.

Die Datennahme am H1-Detektor stellt an die eingesetzte Rechnerumgebung hohe Anforderungen. So fallen bei einer einzigen Auslese aller 270 000 Kanäle des Detektors insgesamt ca. 3 *Mbyte* an Rohdaten an. Es kann alle 96 *nsec* ein Ereignis stattfinden, so daß den Triggereinheiten zur Untergrundelimination und Reduktion der Datennahme große Bedeutung zukommt. Eine solche Aufgabe ist nicht durch einen einzelnen zentralen Rechner zu bewältigen.

Aus diesem Grunde wurde am H1-Experiment folgender Weg beschritten. Zunächst wurde eine dezentrale Verteilung der Rechenleistung vorgenommen. Hierzu wurde die Elektronik der Subdetektoren vorwiegend auf Basis der VMEbus-Technologie[1] aufgebaut. In den VME-Crates stehen den Subdetektoren eigene Rechner zur Datenacquisition zur Verfügung[2], für die Datennahme bei regulärem HERA-Betrieb übernehmen jedoch Rechner in den sogenannten "Master-Crates"[3] die Kontrolle über die VME-Crates von jeweils ganzen Subdetektorzweigen. Die Master-Crates geben über eine faseroptische Ringverbindung ihre Informationen an das Event Coordinator-Crate in der zentralen Datenacquisition weiter.

Die Selektion nach brauchbaren Physik-Ereignissen erfolgt bei H1 über vier sogenannte *Trigger-Level*. Mit ihnen wird nicht nur die Aufzeichnung von unerwünschten Untergrundereignissen vermieden, sie ermöglichen auch eine Triggerung auf bestimmte Ereignisklassen. Bei den Trigger-Leveln 1 und 2 handelt es sich um reine Hardware-Trigger. In den beiden anderen Trigger-Leveln wird die Triggerentscheidung über Software getroffen. Als Trigger-Level 3 arbeiten schnelle Prozessoren in RISC-Technologie in den Master-Crates. Der Trigger-Level 4 wird durch die *Filter Farm* in der zentralen Datenacquisiton

---

[1] Die Wahl eines Industriestandards ermöglicht den Zugriff auf eine breite Produktpalette bei gleichzeitig geringen Kosten.

[2] Diese Rechner werden vorwiegend außerhalb des HERA-Betriebs zu Test- und Kalibrationszwecken verwendet.

[3] ebenfalls in VMEbus-Technologie

repräsentiert. Die Filter Farm reduziert die Datenmenge auf eine Rate von ca. 5 *Hz*, mit der dann die Datenübermittlung an das Rechenzentrum auf dem DESY-Gelände erfolgt. Weitere Informationen können u. a. aus [Els93], [Hay92] und [Tut91] entnommen werden. Abbildung 6.1 gibt einen Überblick über die Datennahme am H1-Experiment.

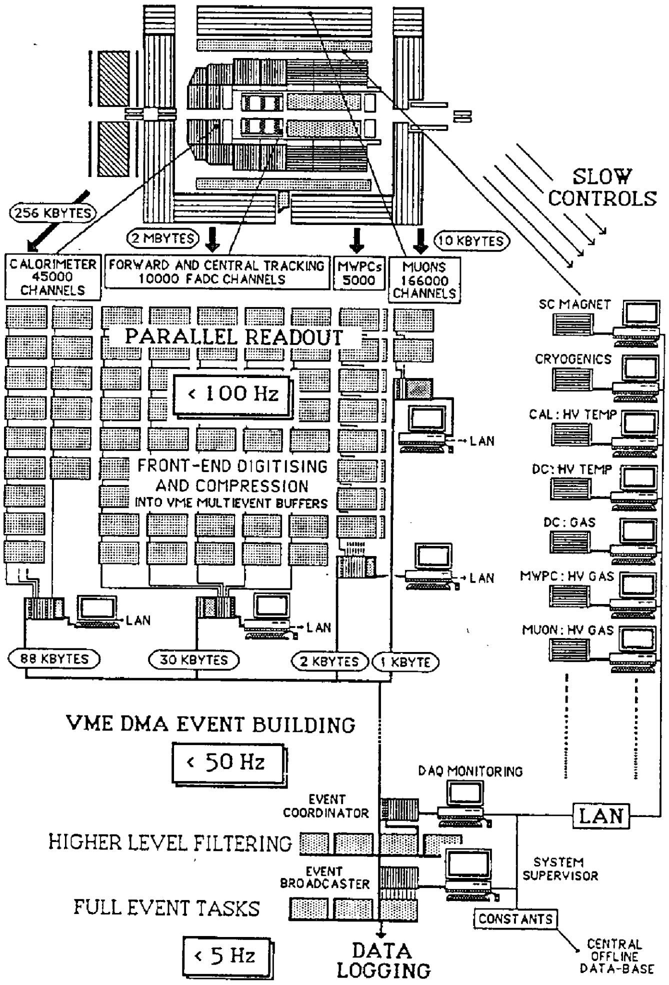


Abb. 6.1: *Das Datenacquisitionssystem des H1-Detektors [Hay89]*

Die Abbildung macht aber auch deutlich, daß hier nicht nur Daten aus dem Physik-Experiment verarbeitet werden müssen, sondern daß auch unterschiedliche Überwachungsaufgaben anfallen. Bei letzteren sind die Ereignisraten jedoch viel geringer. Daher fallen diese Aufgaben unter den Begriff der **Slow control** (Zum Slow control-System bei H1 siehe auch [Gün93]).

6.2 Das Datenacquisitionssystem des BEMC

Für das BEMC und das PLUG-Kalorimeter steht zur Datennahme ein gemeinsames VME-Crate zur Verfügung. Während einer Datennahme bei HERA Betrieb wird die Kontrolle über dieses Crate von einem Master-Crate des Kalorimeter-Zweiges übernommen. Dies geschieht über ein VMV-Protokoll zwischen einem VIC 8250-Board[4] im Master Crate und einem VBR 8212-Board[5] im BEMC-PLUG-VME-Crate[6]. Außerhalb der HERA-Datennahme wird ein FIC 8232-Board[7] als VMEbus-Master eingesetzt. Dieser *Single Board Computer* (SBC) steuert die Datenacquisitionssysteme von BEMC und PLUG bei Testmessungen und Kalibrationen. Eine SCSI-Harddisk am FIC 8232-Board trägt die hierfür notwendigen Programme und dient zur Zwischenspeicherung der Daten. Die Datenanalyse wird, zur Entlastung des FIC 8232, auf der am Netzwerk befindlichen Calorimeter-Vax[8] durchgeführt.

Abbildung 6.2 gibt den Aufbau des BEMC-Datenacquisitionssystems im Elektronik-Trailer, ohne Integration des Lasermonitorsystems wieder.

Abb. 6.2: *Das Datenacquisitionssystem des BEMC im Elektronik-Trailer*
Die Skizze zeigt die Einbindung in das Slow Control System nicht auf

Der Rechner steuert hier über den VME-Bus den BEMC-Single-Electron-Trigger, das Testpulsersystem und die Bausteine zur Datenacquisition.

Zu den VME-Modulen des Datenacquisitionsystems gehören der Sequencer, das Service-Modul und das DSP 8150-Board[9]. Die Datennahme für ein Ereignis wird bei Eingang

---

[4] Vertical Intercrate Communication; Fa. C.E.S., Geneva, Schweiz

[5] Vertical Bus Receiver; Fa. C.E.S., Geneva, Schweiz

[6] Ein VIC 8250-Board kann maximal fünfzehn, mit VBR 8212-Boards ausgestattete VME-Crates als VMEbus Master kontrollieren

[7] Fast Intelligent Controller, mulituser- und multitaskingfähig, mit 68030-Prozessor und OS9-Betriebssystem; Fa. C.E.S., Geneva, Schweiz

[8] MicroVAX, Digital Equipment Corporation

[9] Digital Signal Processing, mit Motorola DSP 56001; Fa. C.E.S., Geneva, Schweiz

eines Hardware-Triggers im Service Modul eingeleitet. Der Sequencer erzeugt dann die erforderlichen Signale für die Auslese der **AN***alog***B***o***X***en*[10] (Hold-Signal auf die Sample & Hold Hybridverstärker und Einleitung des Multiplexing über die Kanäle der Analogbox) über die **AN**alog**R**eceiving**U**nits. Die Signale werden daraufhin nacheinander vom ADC digitalisiert. Das DSP-Board liest den *FiFo-Buffer* des ADC-Boards aus, führt eine Eichung mithilfe eines Polynoms dritter Ordnung[11] durch und leistet das Demultiplexing durch Speicherung. Der *output buffer* kann dann über den VME-Bus ausgelesen werden. Die Daten werden dann von der zentralen Datenacquisition[12], oder vom lokalen FIC 8232-Board entgegengenommen. Die Justierung des Zeitabgleichs zwischen Analog- und Steuersignalen erfolgt über die programmierbaren Software-Delays (**DLY 1** bis **5**) des Sequencers für die Triggersignale. Für eine genauere Information siehe [Ber91].
Zu beachten ist, daß das Datenacquisitions- und das Testpulsersystem vom Liquid-Argon-Kalorimeter übernommen, und für das BEMC und das PLUG-Kalorimeter geeignet modifiziert wurde.

Die Elektronik des BEMC-Single-Electron-Triggers ist in drei Standard-VME-Crates untergebracht, Von den dreien wird jedoch nur eines gemäß den VME-Spezifikationen genutzt. Dieses eine Crate ist, mittels zweier *VMIVME-Repeat* Module, als direkte Erweiterung des BEMC-PLUG-VME-Crate geschaltet. Der BSET generiert aus den Summensignalen der elektromagnetischen Wellenlängenschieber schnelle Triggersignale [Fer92].

Das Testpulsersystem besteht aus der *Upper Command Card* und dem lower system. Es ermöglicht die Versorgung aller oder auch einzelner BEMC-Module mit Testpulsen von variabler Amplitude [Bre92].

Wie sich die Signalübertragung, beginnend von den Photodioden des BEMC bis in die AnalogBoxen hinein, vollzieht zeigt die Abbildung 6.3.

Zunächst setzen die Photodioden das einfallende Licht in eine zur Lichtmenge proportionale Ladungsmenge um. Die Anstiegszeit dieses Stromimpulses beträgt nur ca. $10\,nsec$ [Gen91]. Auf der Ausleseelektronik eines jeden BEMC-Moduls befinden sich ein *Preamplifier*[13] und ein *Line Driver*. Der ladungsempfindliche Vorverstärker integriert das Photodiodensignal zu einem Impuls dessen Amplitude zur Ladung proportional ist. Anstiegs- und Abfallzeit dieses Signals betragen $100\,nsec$ bzw. $400\,\mu sec$. Die Line Driver wandeln diese Signale in weniger störungsempfindliche Differenzensignale um und treiben sie über ein $30,48\,Meter$ lange Twisted-pair-Leitungen[14] zu den *Line Receivern* in den *Cable-Distribution-Units* (CDU's). An den CDU-Ausgängen stehen zusätzlich zu den negativen unipolaren Einzeldiodensignalen die Modulsummen der elektromagnetischen Wellenlängenschieber für den BSET zur Verfügung. Die Einzeldiodensignale werden von den Shapern auf den **AN**alog **CA**rds in den Analogboxen in unipolare Signale von $500\,nsec$

---

[10] Zum BEMC gehören vier **AN***alog***B***o***X***en* mit je acht **AN***alog* **CA***rds*. Jede **ANCA** leistet die Auslese und das Multiplexing für 16 BEMC-Kanäle. In jeder **ANBX** steckt ein *Translator Board* zum Multiplexing zwischen den 8 **ANCA**'s einer **ANBX**.

[11] Die Umrechnung des ausgelesenen ADC-Wertes in eine geeichte Ladung Q für eine Diode i des BEMC erfolgt gemäß:

$$Q_i \quad = \quad \sum_{n=1}^{3} p_{i,n}\ (ADC_i - pedestal_i)^n$$

Die Eichfaktoren $p_{i,n}$ stammen aus der elektronischen Kalibration [Fle92].

[12] über das VBR 8212-Board

[13] ladungsempfindlicher Vorverstärker

[14] In der *Cable-Distribution-Area* (CDA), nahe des BEMC, sind die Fileca-Kabel mittels Steckverbindungen trennbar, um einen leichten Ausbau des BEMC zu ermöglichen.

Abb. 6.3: *Der analoge Signalzweig des BEMC; (hier simplifiziert für einen BEMC-Kanal)*

Jedes BEMC-Modul ist über ein 30,48 *Meter* langes Fileca-Kabel mit den *Cable-Distribution-Units* verbunden, und erhält über dieses Kabel zugleich die Biasspannung für die Photodioden, die Testpulserzuleitung und die Stromversorgung für die Ausleseelektronik. Die Fileca-Kabel bestehen aus zwölf twisted-pair-Leitungen; zwei Pole der 26-poligen Steckverbinder sind mit der Abschirmung verbunden.

Breite[15] verwandelt. Gleichzeitig werden diese Signale so verzögert, daß ihr Maximum, gegenüber den Signalen der Line Receiver, um $2,8\,\mu sec$ versetzt ist. Diese Zeitverzögerung liefert einer Triggergenerierungselektronik und dem Datenacquisitionssystem die erforderliche Zeitspanne um die Triggerentscheidung zu treffen. Bei einer positiven Triggerentscheidung müssen dann die Sample & Hold Schaltungen ein Hold-Signal erhalten, daß auf $60\,nsec$ genau auf dem Peak des Shaper-Signals liegen muß, wenn eine Genauigkeit von einem Prozent erreicht werden soll (siehe hierzu auch Abbildung 6.4).

Zum BEMC gehören zwei CDU-Crates und vier AnalogBoxen mit je acht AnalogCards. Dies ermöglicht die Auslese von insgesamt 512 Detektorkanälen. Am BEMC fallen ohne die Referenzsysteme des Lasermonitorsystems nur 472 Kanäle an.

Nicht berücksichtigt wurde in dieser Darstellung der BEMC-Elektronik die Einbindung in das Slow Control System am H1-Detektor. So werden zum einen die Bias-Spannungen vom *Hamburg Slow Control System* gesetzt und kontrolliert. Zum anderen werden die elektronischen Komponenten des BEMC-Datenacquisitionssystems mit dem *BBL3-System*[16] oder dem *Calo-Scanner-System*[17] überwacht. Für genauere Informationen zum BEMC-Analogsignalzweig siehe auch [Mei91b] und [Koc92].

6.3 Integration des Lasermonitorsystems

Das Lasermonitorsystems benötigt für einen vollautomatisierten Betrieb mehrere Schnittstellen zum Datenacquisitionssystem und zu Überwachungseinrichtungen, die besonderer

---

[15] FWHM

[16] Direkter Alarm an die H1-Schichtmannschaft durch Aufleuchten einer Lampe im Kontrollraum

[17] Elektronische Aufzeichnung eines Alarms mit Alarmzeitpunkt und -dauer

Abb. 6.4: *Maximum des unipolaren BEMC-Shapers [BEM92] bzw. [Kas94]*
Innerhalb eines Zeitintervalls von 60 *nsec* wird die Amplitude nicht um mehr als 1 % unterschritten. Eine Einrichtung die zu einer 1 % Kalibration herangezogen werden soll, muß deutlich besser mit dem Maximum des Shapers zu synchronisieren sein.

Gegenstand dieser Arbeit sind.

Schnittstelle zum OS9-Rechner ist ein weiterer *VME-Slave-Einschub*[18], über den die vollautomatisierte Ansteuerung und Kontrolle aller Komponenten des Lasermonitorsystems geleistet wird.

Eine als *Trigger-Generator* bezeichnete Elektronik erzeugt Triggersignale für das Datenacquisitionssystem auf die Laserlichtimpulse und die γ-Ereignisse in den Referenzsystemen.

Zwischen VME-Slave-Einschub, Trigger-Generator und den Komponenten auf der Laserplattform (vgl. Kapitel 5.3), ist ein Treiber-*Interface* geschaltet, über das auch Alarmmeldungen an das *Slow Control System*[19] abgesetzt werden können. Es ermöglicht zudem eine eingeschränkte Handbedienung des Lasermonitorsystems über Schalter auf der Frontplatte. Der gesamte Aufbau auf der Laserplattform erhält seine Versorgung mit Strom und Leistungssignalen über dieses Interface.

Abbildung 6.5 zeigt die elektronischen Komponenten des Lasermonitorsystems mit ihren Schnittstellenbeziehungen zum Datenacquisitionssystem des BEMC.

In der Abbildung wird Bezug genommen auf die beiden verschiedenen Triggerarten für Funktionskontrolle und Kalibrationsläufe.
Für Funktionskontrollen werden der Laser und das Datenacquisitionssystem synchron zur HERA-Clock mit untersetzter Zählrate getriggert. Aufgrund des Laserjitters ist diese Triggervariante nicht für Kalibrationszwecke geeignet; ermöglicht aber eine Datennahme des Lasermonitorsystems, ohne den Testbetrieb der anderen Kalorimeter unterbrechen zu müssen (vgl. auch Kapitel 5.1.5 *Untersuchungen zum Jitter*).
Für Laserkalibrationsläufe kann der Laser das Triggersignal auch vom VME-Slave-Einschub erhalten. Damit ist die Pulsfrequenz frei programmierbar. Das Datenacquisiti-

---

[18] siehe Kapitel 6.4.1

[19] Hiermit sind das *BBL3*- und das *Calo Scanner*-System gemeint.

Abb. 6.5: *Integration des Lasermonitorsystems in die bestehende Datenacquisitionsanlage*

onssystem erhält dann einen, aus dem Lichtpuls generierten, Triggerpuls vom Trigger Generator.
Für die Acquisition von γ-Ereignissen in den Referenzsystemen ist die Triggerung des Datenacquisitionssystem mittels Trigger-Generator unumgänglich, da die radioaktiven Präparate nicht extern angetriggert werden können.

6.4 Die elektronischen Komponenten des Lasermonitorsystems

6.4.1 Der VME-Einschub

Als Schnittstelle des Lasermonitorsystems zum OS9-Rechner wurde ein interruptfähiger VME-Slave-Einschub mit vier geeignet ausgewählten *piggy-back*-Aufsteckmodulen beschafft[20] (siehe Abbildung 6.6). Auf diese Weise ließen sich zu geringen Kosten, und unter Verbrauch nur eines Steckplatzes im VME-Crate die Ansteuerung und Überwachung des Lasers leisten, ohne einen hohen Aufwand für eine signalumsetzende Elektronik[21] leisten zu müssen. Außerdem ermöglichten die, für den Laser nicht verbrauchten, Resourcen des VME-Einschubs den Betrieb aller weiteren Komponenten des Lasermonitorsystems.

---

[20] VMEbus-Eingabe/Ausgabe Grundkarte bestückt mit einem *Watchdog*- einem *ADC*- und zwei *TTL-I/O-Modulen*; Fa. Krauss-Maffei Automatisationstechnik GmbH, München

[21] Das Treiber-*Interface*

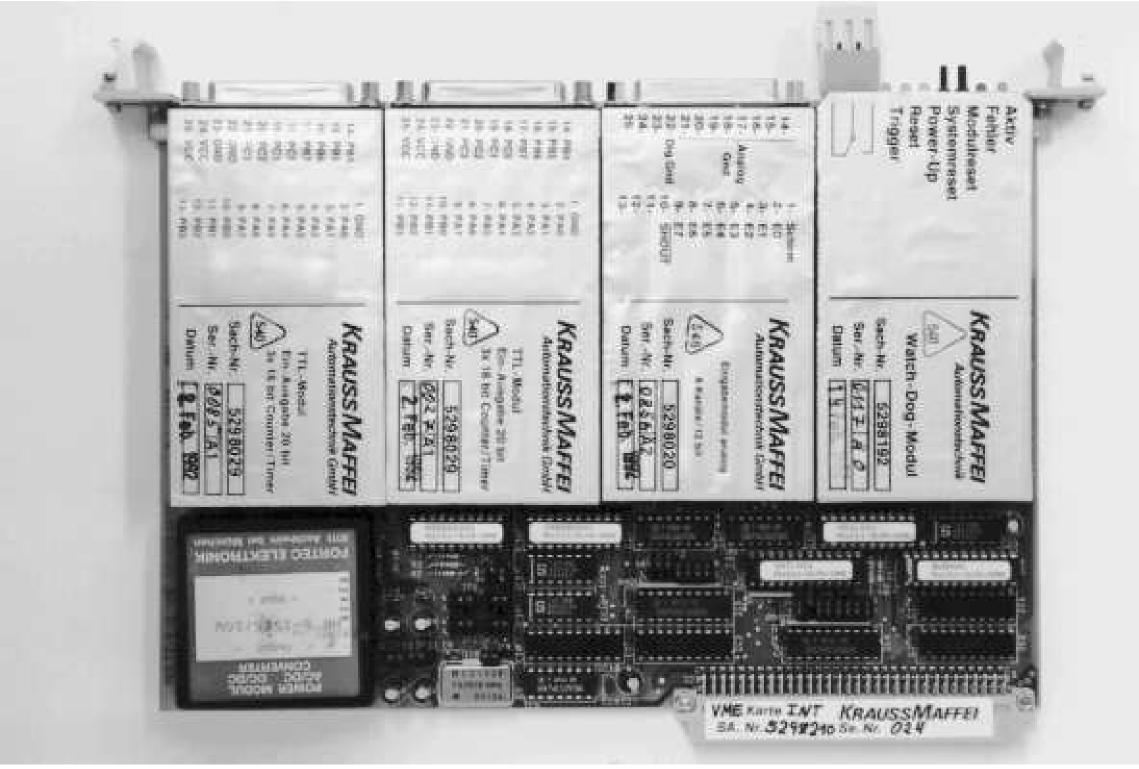


Abb. 6.6: *VMEbus-Eingabe/Ausgabe Grundkarte mit "piggy-back-Modulen"*

Die VMEbus-Eingabe/Ausgabe Grundkarte

Die VMEbus-Eingabe/Ausgabe Grundkarte [KMa91] vermittelt zwischen den *piggy-back*-Modulen und dem VME-Bus. Es sind vier solche Module auf einer Grundkarte aufsteckbar (Modulplätze MD0 bis MD3). Da die Grundkarte über keine eigene CPU verfügt, kann sie den OS9-Rechner nicht durch eigene Rechenleistung entlasten; dies war aber im Wunsch nach möglichst einfacher Programmierbarkeit auch nicht beabsichtigt. Durch das Fehlen des P2-Connectors (einfache Europa-Norm) verkürzt sich ihre Adreßbreite auf 24 und ihre Datenbreite auf 16 Bit. Aufgrund der Verwendung des ADC-Moduls (siehe weiter unten) wurde eine Grundkartenversion mit Interrupt und DC/DC-Wandler ausgewählt.

Das Watchdog-Modul

Das Watchdog-Modul [KMa91b] ermöglicht bei einem Rechnerabsturz das "Herunterfahren" des Lasermonitorsystems, in einen sicheren Zustand. Dies war gewünscht, um in einem solchen Fall sicher zu verhindern, daß die Laserröhre über längere Zeit unter Hochspannung bleibt[22] oder der Laser gar unkontrolliert Lichtpulse in das BEMC verschießt.

Hierzu ist auf dem OS9-Rechner eine Hintergrundroutine zu starten, über die das Watchdog ständig ein Triggersignal[23] erhält. Erscheint dieses Triggersignal nicht innerhalb eines auf dem Watchdog-Modul einstellbaren Zeitfensters, so wird dies als Rechnerabsturz interpretiert und ein Watchdog-Schalter[24] umgelegt. Ein hier angeschlossenes externes Gerät, in unserem Fall das *Interface*, kann durch die Unterbrechung oder Durchschaltung eines Steuerstroms erkennen ob der Rechner korrekt arbeitet, und eventuelle

---

[22] **enable**-Zustand des Lasers

[23] Dies bedeutet daß in eine Adresse des Watchdog-Moduls ein vorher definiertes Datenwort geschrieben wird.

[24] Die Anschlußkontakte des Watchdog-Schalters sind frontseitig aus dem Modul herausgeführt.

Überwachungsfunktionen wahrnehmen kann.

Das ADC-Modul

Das ADC-Modul [KMa91c] ermöglicht die Auslese von acht Spannungen bei einer Auflösung von 12 Bit. Der Meßbereich liegt, je nach Jumperung zwischen 0 und ±5 bzw. ±10 *Volt*.

Diese ADC-Leitungen werden unter anderem genutzt, um die Thyratron-reservoir-voltage U_{mon} und den Betriebszustand des Lasers über die STATUS-Spannung erfassen zu können (siehe hierzu auch Anhang A, Anhang B und Tabelle E.1).

Die TTL-Module

Die beiden TTL-Module [KMa91d] besitzen jeweils einen *CIO Z8536*-Chip [SGS83d] dessen Ports A (8 Bit), B (2 × 4 Bit) und C (4 Bit) aus dem Modul herausgeführt werden. Die Ports lassen sich vielseitig zu Ein- und Ausgabezwecken, aber auch als Counter oder Timer initialisieren. Im Extremfall sind auf einem TTL-Modul 20 I/O-Kanäle oder 8 I/O-Kanäle[25] und drei 16 Bit Counter/Timer möglich. Außer dem Setzen oder Auslesen von TTL-Pegeln ist damit auch ein Triggern des Lasers, und ein Zählen von Laserpulsen möglich. Alle 20 Kanäle können durch Jumperung mit Ein- oder Ausgangstreibern versehen werden. Zur Verwendung der einzelnen Port-Kanäle siehe die Tabellen E.2 bis E.4 im Anhang.

6.4.2 Das Interface

Das *Interface*[26] befindet sich an der Unterseite der Laserplattform. Es vermittelt zwischen dem VME-Slave-Einschub und allen anderen elektronischen und elektromechanischen Komponenten des Lasermonitorsystems. Seine Bedienungseinrichtungen auf der Frontplatte ermöglichen zudem einen eingeschränkten Handbetrieb.

Über das Interface wird die Stromversorgung aller Geräte auf der Laserplattform geleistet[27]. Im Inneren des Interface erreicht ein Trenntrafo eine galvanische Entkopplung aller nachgeschalteten Verbraucher, inklusive des Lasers[28].

Bei Ausfall der Netzversorgung wird das *Slow Control System* des H1-Detektors automatisch vom Interface alarmiert. Das Interface kann diese Alarmierung auch auf Befehl des Rechners ausführen. Letzteres ist sinnvoll, wenn der Rechner einen Fehlerzustand auf der Laserplattform erfaßt, der nur von Hand zu korrigieren ist. Kann der OS9-Recher, infolge Absturzes, keine Überwachungsaufgaben wahrnehmen, so wird dies über das Watchdog-Modul des VME-Slave-Einschubs vom Interface registriert, und eine Abschaltung von Laser und weiteren Komponenten eingeleitet. *Slow Control*-Alarme werden in diesem Fall nicht ausgelöst, da mit einem Neustart des Rechners der Fehler behoben ist.

Die Bedienung des Interfaces wird in Anhang D erläutert. Anhang E liefert die Pinbelegung der SUB-D-Anschlüsse zu VME-Slave-Einschub und Plattformgeräten.

6.4.3 Der Trigger-Generator

Der Trigger-Generator hat die Aufgabe, schnelle Triggerimpulse aus den Signalen von Laser- und Hauptreferenzsystem zu generieren.

---

[25] auf Port A

[26] Fa. Wolfgang Haase, Elektronische Systeme, Hamburg

[27] Das Interface selbst wird über einen eigenen Anschluß im Sicherungskasten des Elektronik-Trailers versorgt.

[28] Der Laser ist, wie in Kapitel 5 aufgezeigt, auf eine stabile Stromversorgung angewiesen.

Er besteht aus einer Elektronik zur Aufspaltung und Verstärkung von Analogsignalen, die direkt auf den Einzeldiodenausgang der BEMC-CDU's gesteckt werden kann (siehe Abbildung 6.7) und einem separaten NIM-Einschub.

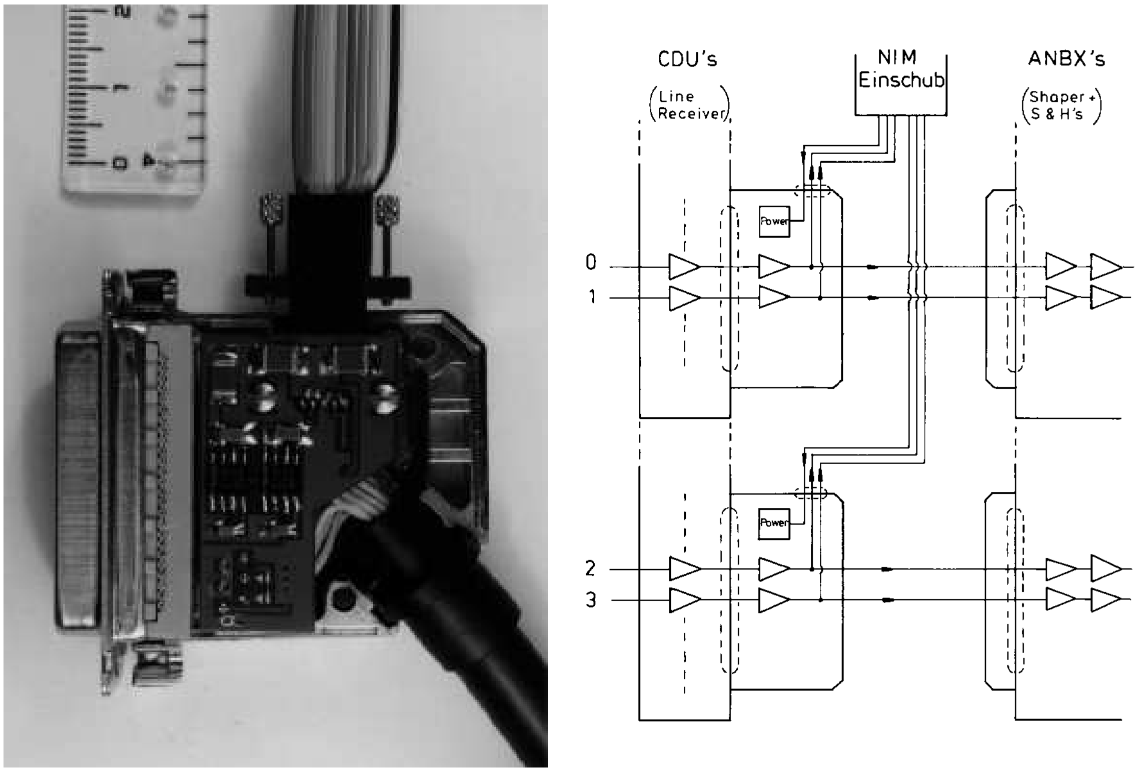


Abb. 6.7: *Elektronik zur Aufspaltung und Teilung der Referenzsignale*
Das Foto (links) zeigt die Unterbringung einer Elektronikplatine zur Aufspaltung und Teilung der Referenzsignale.
Sie befindet sich in einem Sub-D-Gehäuse und wird auf einen CDU-Ausgang aufgesteckt. Das schwarze, runde Kabel führt zur Analogbox. Das Flachbandkabel versorgt die Platine mit Strom und leitet die abgespaltenen Signale zur Triggergenerierung auf den NIM-Einschub.
Die Skizze (rechts) verdeutlicht dies schematisch für die vier Referenzkanäle.

Nach der Signaltrennung gelangen die Referenzsignale, zeitlich fast unbeeinflußt, zu den Analogboxen; die abgespaltenen Signale stehen im NIM-Einschub für die Generierung von schnellen Triggersignalen zur Verfügung.

Tabelle 6.1 zeigt eine Auflistung der abgespaltenen Referenzkanäle. Die Triggergenerierung erfolgt im NIM-Einschub mit Hilfe von **Leading-Edge-Discriminatoren**. Getriggert wird also, falls das die Amplitude des Referenzsignals einen vorgewählten Schwellwert überschreitet.

Da die Signale der γ's nur knapp über dem Rauschen liegen, werden für sie sehr niedrige Schwellwerte eingestellt werden müssen. Für den Referenzkanal 0, auf dem nur auf Laserpulse getriggert werden soll, ist der Schwellwert deutlich höher einzustellen. Damit wird verhindert, daß ein γ-Ereignis aus der Co^{57}-Quelle, zu einem Triggersignal auf Referenzkanal 0 führt[29].

Ein Laserimpuls wird daher bei allen Referenzkanälen stets zu einem Triggerimpuls führen. Deshalb können, im Falle eines Defektes am Referenzkanal 0, auch die anderen

---

[29] Bedingt durch die Geometrie des Laserreferenzsystems, ist auf der Referenzdiode 0, mit einem kleinen Anteil an γ-Quanten zu rechnen, die nur für den Referenzkanal 1 bestimmt sind.

Referenzkanal (Gate) Nr.:	Referenzsystem	Trigger auf:	γ-Quelle
0	Laserreferenzsystem	Laser	—
1	Laserreferenzsystem	γ	Co^{57}
2	Hauptreferenzsystem	γ	Cd^{109}
3	Hauptreferenzsystem	γ	Cd^{109}

Tab. 6.1: *Zur Triggerbildung verwendete Referenzkanäle*
Eine Zuordnung der Referenzkanäle, zu Kanälen der BEMC-Elektronik, ist vor Abschluß der Arbeiten noch nicht möglich; jedoch wird es sich um freie Kanäle auf CDU-Karten des Typs "C" handeln.

Referenzkanäle zur Triggerung auf Laserlicht herangezogen werden[30].

Außer der Schwellwerthöhe läßt sich auch eine Verzögerung des Triggersignals einstellen. Dies ermöglicht es die Referenzkanäle in der Zeit relativ zueinander zu justieren.

Zur Triggerauswahl ist hinter jeden **Leading-Edge-Discriminator** ein Gate geschaltet. Die Gates können vom Rechner über VME-Slave-Einschub und Interface angesteuert werden. Die Gates lassen sich auch von Hand setzen, indem an den jeweiligen Gate-Eingang ein TTL-Pegel (+5 *Volt*) herangeführt wird[31].

Die Trigger der vier Referenzkanäle werden dann durch ein **Fan-in** zusammengefaßt, und können mit einem externen **Delay-Generator**[32] geeignet verzögert werden.

Die Triggerleitung wird dann auf den Triggereingang[33] des Datenacquisitionssystems gelegt.

Abbildung 6.8 zeigt ein Blockschaltbild der NIM-Elektronik.

6.5 Betriebsvarianten des Lasermonitorsystems

Das Lasermonitorsystem kann von Hand aber auch über den Rechner betrieben werden. Bei Rechnerbetrieb ist eine ständige Überwachung aller Komponenten des Lasermonitorsystems möglich.

Im folgenden werden, getrennt nach Hand- und VME-gesteuertem-Betrieb, alle Betriebsvarianten kurz beschrieben, die durch die Integration des Lasermonitorsystems unterstützt werden.

6.5.1 Handgesteuerter Betrieb

Für einen Handbetrieb des Lasermonitorsystems ist das Interface mit einem Schalter an der Frontplatte vom **remote**- in den **local**-Modus[34] zu setzen. Diese Zustandsänderung kann vom OS9-Recher, bei Implementierung einer entsprechenden Hintergrundroutine, über einen TTL-Eingang des VME-Slave-Moduls erkannt werden.

---

[30] Bei heraufgesetzter Discriminatorschwelle sogar zur alleinigen Triggerung auf Laserlicht.

[31] Hierzu kann der (+6 *Volt*)-Testausgang des NIM-Crates herangezogen werden, ohne daß der TTL-Eingang des NIM-Einschubs überlastet wird [Koc93].

[32] An dieser Stelle ist ein **Delay-Generator**, der Verzögerungszeiten bis $3\,\mu sec$ ermöglicht und eine Rasterung in *nsec*-Schritten aufweist, vorteilhaft.

[33] Dieser Triggereingang befindet sich auf dem **Service Modul**, einem speziellen Einschub im VME-Crate des BEMC-Datenacquisitionssystems.

[34] Handbetriebs-Modus; vergleiche Anhang D

Abb. 6.8: *Blockschaltbild des NIM-Einschubs*
BEMC-Elektronik und NIM-Crate befinden sich auf unterschiedlichem Potential. Dies macht eine Trennung der Elektronik über Optokoppler, und entsprechend getrennte Stromversorgungen erforderlich.
An mehreren Stellen stehen für alle Kanäle Testausgänge zur Verfügung. Der Testausgang auf Referenzkanal 0, direkt hinter dem Optokoppler, wird zum Zählen der Laserpulse mit dem Rechner verwendet.

Im **local**-Modus lassen sich alle Komponenten auf der Laserplattform vom Interface aus ansteuern, ohne daß ein umständliches Entfernen der Aluminiumabdeckhaube notwendig wird. Für den Einsatz des Lasers sind allerdings noch eine kleine Handfernbedienung[35] und ein externer Pulser[36] erforderlich.

Handfernbedienung und externer Pulser können mit Hilfe verlegter Verlängerungsleitungen in unmittelbarer Nähe zum **Trigger Generator** beziehungsweise zum OS9-Terminal plaziert werden.

Für genaue Hinweise zum Handbetrieb des Lasermonitorsystems siehe Anhang D.

Vom Datenacquisitionssystem unabhängiger Laserbetrieb

Ein vom Datenacquisitionssystem unabhängiger Laserbetrieb, kann sich ergeben, falls das Lasermonitorsystem zu Servicezwecken, zum Beispiel für den BSET, eingesetzt wird.

Der Laser wird dann über die Interface-Frontplatte und die kleine Handfernbedienung gesteuert. Als Trigger ist ein externer Pulser einzusetzen. Erzeugt dieser Pulser Standard-NIM-Signale so können diese, anstatt der HERA-Clock-synchronen NIM-Signale vom Testausgang des *Calibration Upper Board*, vom Interface in TTL-Signale konvertiert, und direkt an den Laser weitergeleitet werden. Erzeugt der externe Pulser stattdessen

---

[35] siehe Abbildung D.2

[36] Außer bei Verwendung des Testausgang des *Calibration Upper Boards* zur Triggerung des Lasers.

TTL-Signale, so können diese direkt auf die Triggerleitung zum Laser geschaltet werden.

Filterrad und Shutter lassen sich über die Schalter des Interfaces bedienen.

HERA-Clock-synchrone Datennahme von Laserereignissen

Im Gegensatz zum vom Datenacquisitionssystem unabhängigen Laserbetrieb (siehe oben), entfällt hier die Verwendung des externen Pulsers.
Die Triggerung von Laser und Datenacquisitionssystem erfolgt hier synchron zur HERA-Clock über das *Calibration Upper Board.*
Zur Datennahme kann die bereits verfügbare Testpulsersoftware[37] eingesetzt werden.
Mit dieser Triggertechnik wurden die in Kapitel 7.1 vorgestellten Funktionskontrollmessungen durchgeführt.

Datennahme von Laserereignissen mittels Trigger-Generator

Hier ist wieder der Einsatz eines externen Pulsers, zur Triggerung des Lasers erforderlich. Um eine exakte Triggerung des Datenacquisitionssystems auf die Laserlichtpulse zu erreichen, muß am **Trigger Generator** das **Gate** für den Referenzkanal 0 gesetzt werden. Dies geschieht bei Handbetrieb, indem ein TTL-Pegel (+5 *Volt*) auf den entsprechenden Gate-Eingang gelegt wird.

Die Datennahme erfordert jedoch eine geeignete Software.

Datennahme von γ-Ereignissen mittels Trigger-Generator

Hierzu wird kein Laser benötigt. Die γ-Präparate lassen sich vom Interface aus von der Park- in die Messposition einschwenken. Die entsprechenden Gates sind am **Trigger Generator** zu setzen.

Auch hier ist ein geeignetes Datenacquisitionsprogramm erforderlich.

6.5.2 VME-gesteuerter Betrieb

Bei VME-gesteuertem Betrieb des Lasermonitorsystems verbleibt das Interface im **remote**-Modus. Bedienung und Überwachung können vollständig über Software abgewickelt werden.

Wird ein **standby- Betrieb** des Lasermonitorsystems gewünscht, um die Aufheizphase des Lasers zu umgehen, kann eine auf dem OS9-Rechner installierte Hintergrundroutine sicherstellen, daß sich alle prüfbaren Betriebsparameter des Lasermonitorsystems in einem korrekten Bereich bewegen. Bei der Ermittlung eines Fehlerzustandes können dann vom Rechner Gegenmaßnahmen, bis zum Alarm an das *Slow Control System* eingeleitet werden. Der Fall eines Rechnerabsturzes ist, wie bereits erwähnt, über das Watchdog-Modul und das Interface abgedeckt.

HERA-Clock-synchrone Datennahme von Laserereignissen

Triggerung von Laser und Datenacquisitionssystem erfolgen hier wie bei Handbetrieb automatisch durch die Testpulsersoftware. Jedoch ist das Lasermonitorsystem vorher durch Einschalten des Lasers und Vorwählen von Filterrad- und Shutterstellung geeignet zu initialisieren.

---

[37] Um die Lasersignale nicht mit Testpulsersignalen zu überlagern, ist die Testpulsamplitude in der Software stets auf Null zu setzen ($DAQ\text{-}Level = 0$).

Datennahme von Laserereignissen mittels Trigger-Generator

Hier wird der Laser über einen Timer-Ausgang des VME-Slave-Moduls getriggert. Allerdings muß der Rechner vorher im Interface eine Umschaltung auf die andere Triggerquelle erwirken. Die Triggerung des Datenacquisitionssystems auf Laserlicht wird bewirkt, indem das **Gate 0** des **Trigger Generators** angesteuert wird. Filterrad- und Shutter sind selbstverständlich beliebig durch den Rechner anzusteuern.

Datennahme von γ-Ereignissen mittels Trigger-Generator

Hierzu sind nur die Umkehrdrehmagnete, zum Positionieren der radioaktiven Präparate und die entsprechenden Gates anzusteuern. Auf diese Weise wird automatisch auf die gewünschten Referenzkanäle getriggert.

6.6 Die Berücksichtigung der Signallaufzeiten im Glasfaserkabel

Die Laufzeiten der Lasersignale im Glasfaserkabel stellten ein erhebliches Problem bei der Systemintegration dar.
Das Design des Lasermonitorsystems bewirkt, daß die Lasersignale am frühesten in den PIN-Dioden des Laserreferenzsystems, dann in den PIN-Dioden des BEMC und zuletzt in denen des Hauptreferenzsystems registriert werden.
Die BEMC-Elektronik ermöglicht aber nur ein gleichzeitiges **Hold**-Signal auf die Sample & Hold-Schaltungen aller BEMC-Kanäle[38].

Um die Zeitunterschiede zu messen wurde mit dem in Abschnitt 5.1 bereits erwähnten HAMAMATSU R2184-Photomultiplier die Laufzeit zwischen Primärfasereinkopplung und Referenzfaserende ermittelt[39] Hierzu wurde der Laserstrahl mit dem Strahlteileraufbau aufgespalten und sowohl direkt, als auch nach Durchlaufen des Fasersystems auf den Photomultiplier geschickt. Unter Berücksichtigung der zusätzlichen Verzögerung durch den Strahlteiler und eines kurzen Glasfaserkabels zur Lichtsignalzuführung, ergab sich eine Laufzeit 219 *nsec*.

Im folgenden wurde für die unterschiedlichen Glasfaserkabeltypen angenommen, daß sie vom Laserlicht mit gleicher Geschwindigkeit durchquert werden. Nach Ansetzen weiterer Verzögerungen für die verschiedenen optischen Baugruppen, sollten sich die in Tabelle 6.2 angegebenen Zeitdifferenzen zwischen Lasersignalen auf den Photodioden der Referenzsysteme und dem BEMC ergeben.

---

[38] Auf den Analogkarten (ANCA's) der BEMC-Elektronik ermöglichen Analogdelaybausteine eine Verschiebung der Shaper-Signale in zehn Schritten zu jeweils 20 *nsec* durch das Setzen von Steckjumpern. Diese Delay-Jumperung wird benötigt um unterschiedliche Signalverzögerungen auf den einzelnen Kanälen innerhalb der Analogkarten auszugleichen.
Damit wäre ein zeitliches Verschieben einzelner Shaper-Signale möglich gewesen. Dies hätte jedoch der Philosophie wiedersprochen, die Jumper so einzusetzen, daß alle Analogkarten beliebig gegeneinander vertauscht werden können [Mei92].

[39] Zu Beginn dieser Diplomarbeit waren das Fasersystem und das BEMC bereits fest im H1-Detektor installiert. Eine Labormessung an allen entscheidenden Punkten war daher nicht mehr möglich. Ideal wäre es gewesen je ein schnelles Zeitsignal von den Ausleseelektroniken von Laserreferenzsystem, Hauptreferenzsystem und einem angeschlossenen BEMC-Modul abzugreifen und auf ein Oszilloskop zu legen.

Zeitdifferenz zwischen Lichteinfall auf:	
Laserreferenzdioden und BEMC-Dioden	$+ \quad 119\,nsec$
BEMC-Dioden und Hauptreferenzdioden	$+ \quad 101\,nsec$
Laserreferenzdioden und Hauptreferenzdioden	$= \quad 220\,nsec$

Tab. 6.2: *Laufzeiten im Quarzglasfasersystem*

Diese Zeitdifferenzen wurden ausgeglichen, mit für das Laser- und das Hauptreferenzsystem geeignet verlängerten und verkürzten Fileca-Kabeln[40]. Aufgrund der unterschiedlich lang gewählten Fileca-Kabel ergibt sich für die Zuleitung der Testpulse die Notwendigkeit eines separaten Zeitausgleichs, der durch die Einbringung unterschiedlich langer LEMO 00-Kabel erfolgt.

Abbildung 6.9 gibt schematisch wieder, wie die Zeitdifferenzen mit Verzögerungsleitungen ausgeglichen sind. Der Berechnung der Kabellängen wurden die in Tabelle 6.3 angegebenen Kabellaufzeiten zugrundegelegt.

Kabel:	Laufzeit:
Fileca	$6,56 \ \pm\ 0,01\,\frac{nsec}{m}$
LEMO 00	$5,2 \ \pm\ 0,1\,\frac{nsec}{m}$
zum Vergleich:	
BNC	$5,2 \ \pm\ 0,1\,\frac{nsec}{m}$
BEMC-Quarzglasfaser	$5,36 \ \pm\ 0,02\,\frac{nsec}{m}$
Vakuum	$3,3357\,\frac{nsec}{m}$

Tab. 6.3: *Kabellaufzeiten I*

---

[40] Die Ausleseelektroniken der BEMC-Module sind über Fileca-Kabel an die *CDU*'s angeschlossen (vgl. Abbildung 6.3).

Abb. 6.9: *Ausgleich der Zeitdifferenzen für Analog- und Testpulsersignale*

Die Pfeile im oberen Teil der Abbildung geben die Längen der Analogsignalleitungen an, mit denen die Signale vom BEMC, bzw. von Laser- und Hauptreferenzsystem zu den *CDU*'s geführt werden.
Die Doppelpfeile (in der Mitte) kennzeichnen die ermittelten Laufzeitdifferenzen.
Die Pfeile im unteren Teil geben an, wie die Testpulsersignale auf das BEMC und die beiden Referenzsysteme geführt werden.

Aus technischen Gründen sind Laser- und Hauptreferenzsystem über je ein 10 *Meter* langes Fileca-Kabel an eine *CDU* angeschlossen. Die erforderlichen unterschiedlichen Verzögerungen von Analog- und Testpulsersignal werden über, am jeweiligen Referenzsystem eingeschleifte, Fileca- und LEMO 00-Kabel erreicht.

Durch die Verdrahtung in den Referenzsystemen treten weitere geringfügige Verzögerungen auf, die in der Abbildung nicht wiedergegeben sind, aber in den Berechnungen berücksichtigt wurden.

Probleme mit der Anstiegszeit des Testpulsersignals, siehe hierzu auch Kapitel 7.4, führten zu der Entscheidung, die Testpulsersignale nicht mehr über die Fileca-Kabel, sondern über neuzuverlegende (LEMO 00-Kabel), zum BEMC und zu den Referenzsystemen zu führen.
Tabelle 6.4 zeigt die Ergebnisse von Laufzeitmessungen mit den hierzu verwendeten Kabeln.

Kabel:	Laufzeit:
PKI 0234 C-50-2-1 FRNC verlegt zwischen Testpulserausgang und CDA (**Cable Distribution Area**) auf 25 *Meter* Länge	$5,3 \pm 0,2 \frac{nsec}{m}$
PKI 0234 C-50-1-1 FRNC verlegt zwischen CDA und BEMC auf 5 *Meter* Länge	$5,6 \pm 0,1 \frac{nsec}{m}$

Tab. 6.4: *Kabellaufzeiten II*

Durch diese Maßnahme verkürzt sich die Laufzeit der Testpulsersignale zum BEMC von $(30,48\,m \cdot 6,56\,\frac{ns}{m} = 200\,ns)$ auf $(25 \cdot 5,3\,\frac{ns}{m} + 5 \cdot 5,6\,\frac{ns}{m} = 160\,ns)$.
Für die Zuführung der Testpulsersignale zum Laserreferenzsystem stehen damit statt 81 ns nur noch 41 ns zur Verfügung. Die damit erforderliche Testpulserzuleitung von unter 8 *Metern* Länge läßt sich aufgrund von räumlichen Abständen nicht erreichen.

Zur Lösung dieses Problems sei daher folgender Weg vorgeschlagen:

- Durchführung des "Abgleich der Testpulserleitungen" mit den vom Testpulserausgang zu den beiden Referenzsystemen verlegten LEMO 00-Kabeln[41].
- Entsprechendes Verkürzen (falls in ausreichendem Maße möglich) bzw. Verlängern dieser Testpulserzuleitungen.
- Falls sich eine für das Laserreferenzsystem erforderliche Leitungsverkürzung nicht mehr realisieren läßt, ist, können, durch Anschluß dieser Testpulserzuleitung an eine separate *Calibration Generator Card* im *Calibration "lower" System*, zeitlich vorverlegte Testpulse erhalten werden[42].

---

[41] PKI 0234 C-50-2-1 FRNC; je 10, 00 *Meter* lang.

[42] Auf der *Calibration Generator Card* ist eine Verzögerung einstellbar [Bre92].

Kapitel 7

Messungen mit Komponenten des Lasermonitorsystems am BEMC

7.1 Funktionskontrollmessungen zum BEMC

Mit dem LN300 konnten bereits mehrfach Messungen zur Funktionskontrolle der BEMC-Dioden durchgeführt werden.

Hierzu wurde der Laser von einem Testausgang des *Calibration Upper Board* angetriggert. Der Laser und das Datenacquisitionssystem wurden also synchron zur HERA-Clock betrieben. Dadurch wurde der Testbetrieb der anderen Kalorimeter nicht unterbrochen. Mit der auf dem OS9-Rechner verfügbaren Testpulsersoftware konnten dann Laserereignisse aufgenommen werden. Das Programm berechnete für jeden Durchlauf die Mittelwerte und σ's für alle BEMC-Kanäle, und ermöglichte deren graphische Darstellung und Abspeicherung.
Es waren jedoch nur die berechneten Mittelwerte brauchbar. Grund hierfür war, daß die Triggerung durch das Testpulsersystem, mit einer für den Laser zu hohen Triggerfrequenz erfolgte[1]. Eine Einflußnahme war hier nicht möglich. Daher wurden während jedes Funktionskontrollruns zu etwa 90% Pedestals[2] gemessen, die vollwertig in die Berechnung von Mittelwerten und σ's einbezogen wurden. Außerdem besitzen die Laserpulse, aufgrund der hohen Pulsfrequenz, nur eine geringe Energiestabilität (vgl. Abbildung 5.6).

Trotz dieser Nachteile zeigte sich bei der Inaugenscheinnahme der Plots ein deutlich charakteristisches Bild für die BEMC-Dioden. In Abbildung 7.1 ist eine Darstellung der Mittelwerte für alle 512 *Kanäle* der BEMC-Elektronik zu sehen.

Der hohe Anteil an Pedestals[3] führte dazu, daß wenn die Lichtintensität den BEMC-ADC in die Sättigung führte, die Sättigung bei ADC-Kanälen unter 800 auftrat, obwohl der ADC eine Auflösung von 4096 Kanälen besitzt.

Abbildung 7.2 zeigt einen Vergleich bei Einschuß in jeweils eine oder beide Fasersysteme in denselben Quadranten. Zum Nachweis der Eignung zur Funktionskontrolle ist ein älterer Plot beigefügt, auf dem deutlich einige defekte BEMC-Kanäle zu erkennen sind.

Auf diese Weise konnte das Lasermonitorsystem wertvolle Hilfe beim schnellen Aufspüren defekter Kanäle leisten. Ebenso war nach Reparaturen eine schnelle Verifikation des Reparaturergebnisses möglich.

Bei dieser Triggertechnik ist zu beachten, daß die Testpulsamplituden für die BEMC-Module vorher stets auf Null gesetzt werden müssen, damit die Lasersignale nicht von

---

[1] Die maximale Triggerfrequenz des LN300 von 40 Hz wurde um etwa das zehnfach überstiegen.

[2] Ein Pedestalabzug findet innerhalb des Programms nicht statt.

[3] Die Pedestals der BEMC-Kanäle liegen etwa zwischen 200 und 240 ADC-Kanälen

Abb. 7.1: *Mittelwerte aller BEMC-Kanäle bei Einschuß in beide Fasersysteme (ohne Pedestalabzug)*
Die höchste Mittelwerte treten erwartungsgemäß bei den hadronischen Kanälen auf (Zwei Photodioden an einem BEMC-Kanal).
Bei mittleren Werten finden sich vor allem die dem Fasereinkopplungspunkt nahen elektromagnetischen Kanäle der quadratischen Module.
Nur knapp über den Pedestals, von nicht angeschlossenen Kanälen, liegen die Mittelwerte von dem Einkopplungspunkt fernen Wellenlängenschiebern.
Für diese Messung wurde der Laser betrieben, bei $U_{mon} = -7,0$ *Volt*. Seine Lichtintensität wurde gedämpft mit einer Kombination zweier Neutralfilter der optischen Dichten 0,5 und 0,1.

Testpulsersignalen überlagert werden.

Es wurden in dieser Triggertechnik auch Pedestalmessungen mit ausgeschaltetem Laser durchgeführt. Es muß jedoch gesagt werden, daß die HERA-Clock-synchron ermittelten Pedestals von den richtigen, die über zufällige Trigger ermittelt werden[4], abweichen.

Genaue Hinweise zur Durchführung dieser Messungen siehe [Zbk92].

---

[4] sogenannte "**random**"-Pedestals

Abb. 7.2: *Funktionskontrollplots für einen BEMC-Quadranten (ohne Pedestalabzug)*
Die oberen Plots zeigen die Mittelwerte für einen Einschuß in das rote (linkes Bild) bzw. blaue Fasersystem (rechtes Bild).
Unten links befindet sich ein Plot für einen Einschuß in beide Fasersysteme.
Auf dem Plot rechts unten fallen deutlich die defekten BEMC-Kanäle auf. (Ebenfalls Einschuß in das blaue Fasersystem. Die schwarzen Balken deuten die tatsächlich defekten Kanäle an; unabhängig davon, ob deren Defekt statt durch einen "blauen Run" nur durch einen "roter Run" detektiert werden kann.
Für diese Messungen wurde der Laser betrieben, bei $U_{mon} = -7,0$ *Volt*. Seine Lichtintensität wurde gedämpft mit einer Kombination zweier Neutralfilter der optischen Dichten 0,5 und 0,1.

7.2 Antwortverhalten unterschiedlicher BEMC-Kanaltypen bei Lasereinschuß

Im August 1992 stand die Laserplattform mit dem optomechanischen Aufbau erstmals für einen Funktionstest in der Halle Nord zur Verfügung. Alle BEMC-Kanäle waren, unter Ausnutzung einer mehrmonatigen Betriebspause von HERA, in frischrepariertem Zustand.

Neben den in Abschnitt 7.1 beschriebenen Funktionskontrollmessungen wurden auch Laserereignisse aufgezeichnet, wobei der BSET zur Triggerung des Datenacquisitionssystems eingesetzt wurde. Dies war jedoch nur unter alleiniger Nutzung der zentralen Datenacquisitionseinrichtungen[5] des H1-Detektors möglich. Diese Variante ist daher für einen regelmäßigen Einsatz des Lasermonitorsystems nicht geeignet.

Die Besonderheit dieser Variante liegt darin, daß die Daten, wie bei den regulären HERA-Runs, alle Korrekturen erfahren, sofort zur DESY-IBM transferiert und dort in Datenbänken des **BOS**-Formats abgespeichert werden [Blo87]. In der **BRCE**-Bank[6] befinden sich die kalibrierten Ladungen, d. h. die BEMC-Daten nach Pedestalabzug und DSP-Korrektur. Die **BENR**-Bank[7] enthält die kalibrierten Energien; nach Anwendung weiterer Korrekturen für die unterschiedlichen Wellenlängenschiebertypen, Auswirkungen des äußeren Magnetfeldes etc. [BEM92b].

Es wurden sechs Runs bei Einschuß in jeweils eines bzw. beide Fasersyteme und mit unterschiedlichen Laserintensitäten vorgenommen.
Dabei wurde, mit Hilfe von Neutralfiltern der optischen Dichten 1,0 und 0,3, die Lasergesamtintensität auf ca. 10 % bzw. 5 % herabgesetzt. Ergänzend erfuhr das rote Fasersystem eine weitere Dämpfung mit Neutralfiltern[8] der optischen Dichte 0,14. Der Laser selbst, wurde mit den Betriebsparametern $U_{mon} = -7,0\ Volt$ und $\nu = 20\ Hz$ betrieben.

Datensatzname	Fasersystem	Optische Dichte
‘I04ZBK.RUN27714’	Blau+Rot	1,0
‘I04ZBK.RUN27715’	Rot	1,0
‘I04ZBK.RUN27716’	Blau	1,0
‘I04ZBK.RUN27717’	Blau+Rot	1,3
‘I04ZBK.RUN27718’	Rot	1,3
‘I04ZBK.RUN27719’	Blau	1,3

Tab. 7.1: *Verzeichnis der mittels BSET gewonnen Daten*
Tip: Dem “H1-Logbook” lassen sich unter den aufgeführten Run-Nummern weitere Informationen entnehmen.

Die Aussagekraft dieser Daten wird jedoch durch folgende Gesichtspunkte, für einen Vergleich mit später zu gewinnenden Daten, eingeschränkt:

- Es stand keine stabile Stromversorgung zur Verfügung; der Laser war, nur über einen Trenntrafo getrennt, an die normale Hallenstromversorgung und nicht an die Stromversorgung für die Detektorelektronik angeschlossen.
  Das **Interface** stand zu diesem Zeitpunkt ebenfalls noch nicht zur Verfügung.
- Die Referenzsysteme waren nicht angeschlossen.

---

[5] **Central Data Acquisition** (CDAQ)

[6] Backward Response Calo Event

[7] BEMC ENergy in channels

[8] Kombination aus Neutralfiltern der Optischen Dichten 0,04 (unbeschichtetes Quarzglas) und 0,1.

- Laser, Neutralfilter und Faserenden waren nur vorläufig befestigt.

Dennoch können bereits erste Aussagen zum Antwortverhalten der verschiedenen Kanaltypen in den BEMC-Modulen gemacht werden.

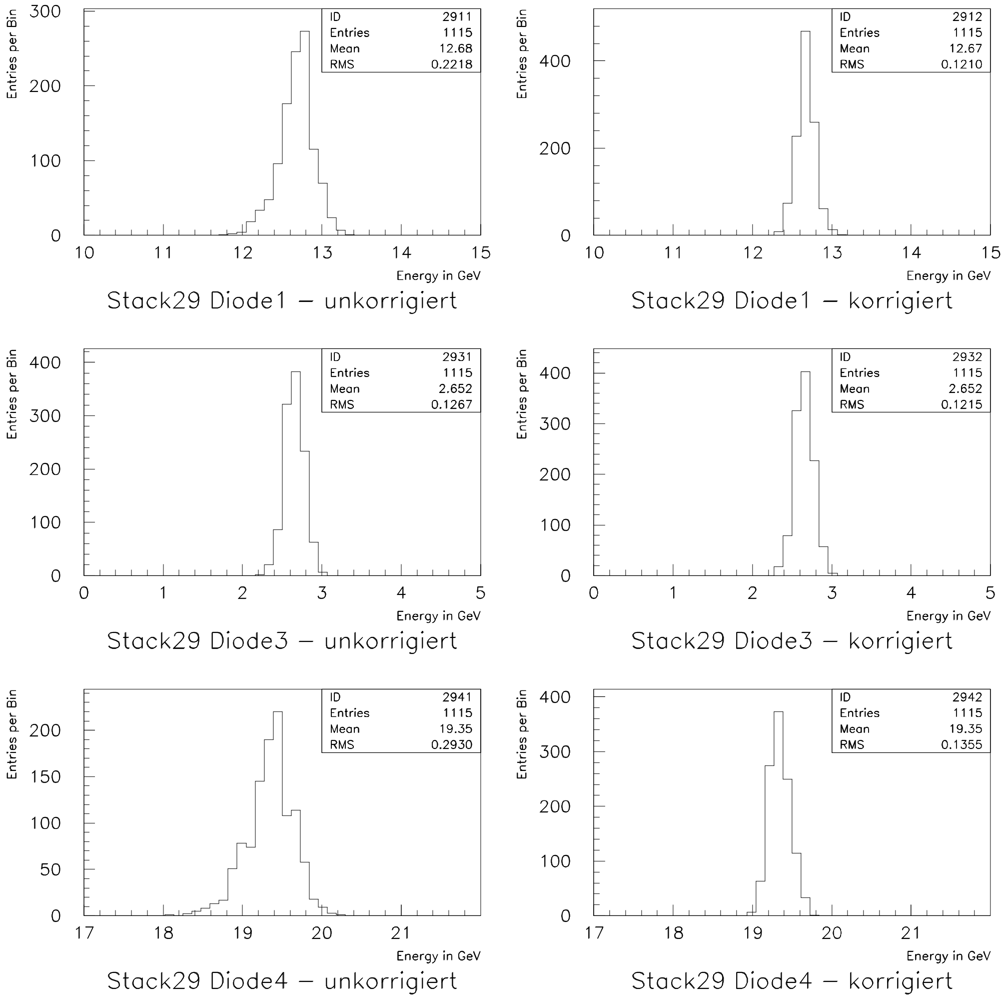
So wurde für einen Einschuß in das rote Fasersystem[9], geprüft, ob eine eventweise Korrektur, bei Quotientenbildung mit dem Mittelwert aller BEMC-Kanäle, eine Verschmälerung der Halbwertsbreite bewirkt, und wie sich die Einzeldiodensignale der verschiedenen Wellenlängenschiebertypen relativ zu den elektronischen und hadronischen Energiesummensignalen des BEMC-Moduls verhalten. Hierzu wurde jeweils ein BEMC-Modul exemplarisch für alle anderen BEMC-Module gleichen Typs betrachtet.

Tabelle 7.2 zeigt typische Ergebnisse für alle Modulgeometrien. Es zeigt sich, daß die eventweise Korrektur in dem meisten Fällen zu einer Verschmälerung der Halbwertsbreite führt. Davon ausgenommen sind die Exoten vom Typ C und E.
Desweiteren fällt auf, daß bei Dioden die viel Licht sehen, die relative Halbwertsbreite geringer ist; auch wird in der Regel bei ihnen die relative Halbwertsbreite durch die Korrektur stärker verringert. Ursache hierfür ist das Diodenrauschen um 200 MeV, daß sich bei Signalen von geringerer Intensität stärker auswirkt.
In dem betrachteten exotischen BEMC-Modul vom Typ D führt die Korrektur zu einer erheblichen Verschmälerung der relativen Halbwertsbreite. Abbildung 7.3 zeigt die Intensitätsverteilung vor und nach erfolgter Korrektur.

Im Interesse einer zügigen Fertigstellung des Lasermonitorsystems wurden die Daten nicht vollständig ausgewertet; sie stehen aber weiterhin auf der DESY-IBM zur Verfügung. Weitere Untersuchungen zur Lichtsammeleffizienz bei Lasereinschuß sollten alle Module einschließen. Dies ist jedoch erst bei vollständiger Installation des Lasermonitorsystems sinnvoll. Dann können auch Korrekturmöglichkeiten, die die Referenzsysteme einbeziehen, ausgetestet werden.

---

[9] RUN27115



Stack29 Diode1 – unkorrigiert

Stack29 Diode1 – korrigiert

Stack29 Diode3 – unkorrigiert

Stack29 Diode3 – korrigiert

Stack29 Diode4 – unkorrigiert

Stack29 Diode4 – korrigiert

Abb. 7.3: *Intensitätsverteilung — mit und ohne Korrektur*

Modul-typ	Modul-Nr.	Diode Nr.	E_i in $[GeV]$	$\frac{\sigma_{unkorrigiert}}{E_i}$	$\frac{\sigma_{korrigiert}}{E_i}$	Korrektur von σ in %	Licht-sammel-effizienz
A	26	1	16,67	0,020	0,019	− 7,9	0,43
		2	2,59	0,12	0,11	− 2,7	0,07
		3	16,58	0,032	0,025	− 22,8	0,43
		4	2,68	0,12	0,11	− 1,7	0,07
		5	9,53	0,020	0,014	− 28,5	0,53
		6	8,38	0,027	0,020	− 26,3	0,47
B1	05	1	18,14	0,027	0,020	− 26,6	0,42
		2	3,15	0,10	0,10	− 1,1	0,07
		3	16,89	0,021	0,016	− 24,7	0,40
		4	4,54	0,06	0,06	− 2,4	0,11
		5	10,24	0,032	0,024	− 25,3	0,58
		6	7,49	0,026	0,020	− 25,2	0,42
B2	49	1	2,54	0,11	0,11	− 1,8	0,08
		2	14,03	0,022	0,019	− 15,1	0,42
		3	1,93	0,17	0,17	− 1,5	0,06
		4	14,85	0,022	0,017	− 22,0	0,45
		5	9,25	0,025	0,018	− 29,3	0,49
		6	9,68	0,023	0,016	− 29,8	0,51
C1	06	1	15,11	0,016	0,014	− 10,6	0,44
		2	4,82	0,04	0,04	+ 1,3	0,14
		3	9,76	0,023	0,018	− 19,3	0,28
		4	4,76	0,05	0,05	− 4,9	0,14
C2	39	1	3,87	0,06	0,05	− 5,0	0,13
		2	9,33	0,033	0,038	+ 15,1	0,31
		3	1,88	0,10	0,10	+ 0,1	0,06
		4	15,47	0,022	0,014	− 34,6	0,51
D2	29	1	12,68	0,017	0,010	− 42,6	0,37
		3	2,65	0,05	0,04	− 5,7	0,08
		4	19,35	0,015	0,007	− 54,1	0,56
E	18	1	10,60	0,027	0,020	− 27,0	0,31
		2	4,03	0,04	0,04	+ 0,1	0,12
		3	2,12	0,07	0,07	+ 0,0	0,06
		4	17,61	0,015	0,018	+ 17,0	0,51

Tab. 7.2: *Lichtsammeleffizienz bei Lasereinschuß in verschiedene BEMC-Module*
Es wurde bei den Modultypen B und C sowohl ein normales als auch ein Modul von spiegelsymmetrischer Geometrie betrachtet. Dies entspricht bei diesen Exoten einem Wechsel des Fasereinkopplungsortes (vgl. Abbildung 2.2).
Bei den Energien E_i aus der **BENR**-Bank ist erstens zu beachten, daß gemäß BEMC-Konvention jede Diode die gesamte elektromagnetische bzw. hadronische Energie eines Moduls "sieht". Sie sind daher stets durch die Anzahl der entsprechenden Dioden zu teilen. Zweitens, daß die hadronischen Kanäle zusätzlich mit dem Faktor $0,527$ korrigiert sind (vergleiche hierzu [BEM92b]).
Die Lichtsammeleffizienzen beziehen sich stets auf die Energiesummen der elektromagnetischen oder hadronischen Wellenlängenschieber des Moduls.

7.3 Einsatz zwecks Timing des BSET

Das Lasermonitorsystem konnte bereits mehrfach zu Servicezwecken für den **BEMC Single Electron Trigger** (BSET)[10]. eingesetzt werden. Hierbei wurde die Tatsache ausgenutzt, daß alle BEMC-Module gleichzeitig von den Laserlichtpulsen erreicht werden. Damit war eine Kontrolle des BSET-Timings möglich.

Für diese Serviceläufe wurde bisher ein einfacher Testaufbau mit dem LN300 eingesetzt; zwischen Laser und Datenacquisitionssystem wurden auch keine Triggersignale ausgetauscht.

Derartige Serviceläufe werden von der, in dieser Arbeit beschriebenen, Integration des Lasermonitorsystems , bei Hand- wie auch bei VME-gesteuertem Betrieb voll unterstützt.

7.4 Vergleich zwischen Laser und elektronischen Testpulser

Das Testpulsersystem wird unter anderem für den BSET zur Simulation von Elektronenclustern eingesetzt. Hierbei ist es wichtig, daß die an den CDU-Ausgängen bereitgestellten BEMC-Signale eine konstante Anstiegszeit besitzen; unabhängig davon, wieviele BEMC-Module gleichzeitig angepulst werden.

Die Abbildung 7.4 macht jedoch deutlich, daß die Anstiegszeiten bei Anpulsen eines oder aller BEMC-Module, um bis zu zwei *Bunchcrossings* differieren.

Zum Vergleich wurde am gleichen Einzeldiodenausgang auch das Antwortsignal auf Laserpulse erfaßt. Hierzu wurde nur in das blaue Faserbündel eingeschossen, und das Laserlicht mit Neutralfilterkombinationen der optischen Dichte 1,0 oder 1,3 gedämpft. Abbildung 7.5 zeigt, daß sich die Anstiegszeiten mit je 90 $nsec$ nicht unterscheiden.

In Abbildung 7.6 ist das volle Signal für einen Lasereinschuß mit optischer Dichte 1,0 abgebildet. Auf ihr zeichnet sich die Abfallzeit der BEMC-Elektronik auf Physiksignale in einer Größenordnung von 100 μsec ab.

---

[10] Der **BSET** ist eine Entwicklung des Institute of Experimental Physics, Košice, ČSFR; [Fer92].

Abb. 7.4: *Antwortverhalten der BEMC-Elektronik auf Testpulsersignale*
Die Oszillographenfotos zeigen das Einzeldiodensignal, von Diode 4 des BEMC-Modul 51, am CDU-Ausgang bei einem Testpuls mit DAC-Level 10 000.
Das linke Bild (*vertikal: unkalibriert, horizontal:* 50 *nsec/DIV*) zeigt das Einzeldiodensignal bei Anpulsen nur eines BEMC-Moduls. Die Anstiegszeit liegt bei 120 *nsec* .
Das mittlere Bild (*vertikal: unkalibriert, horizontal:* 100 *nsec/DIV*) entstand bei Anpulsen aller BEMC-Module. Die Anstiegszeit liegt hier mit 300 *nsec* deutlich höher.
Das rechte Bild (*vertikal:* 0,5 *Volt/DIV* , *horizontal:* 5 *µsec/DIV*) zeigt das gesamte Rechtecksignal von ca. 17,6 *µsec* Dauer. Der sich dem Rechtecksignal anschließende Überschwinger ist erst nach ca. 120 *µsec* abgeklungen.

Abb. 7.5: *Anstiegszeiten der Einzeldiodensignale bei Lasereinschuß*
Die Anstiegszeiten sind bei Einschuß mit optischer Dichte 1,0 (*linkes Bild; vertikal: unkalibriert (Höhe des Signals ca.* 540 *mV), horizontal:* 50 *nsec/DIV*) und optischer Dichte 1,3 (*rechtes Bild; vertikal: unkalibriert (Höhe des Signals ca.* 310 *mV), horizontal:* 50 *nsec/DIV*) gleich.

Abb. 7.6: *Einzeldiodensignal bei Lasereinschuß*
(*vertikal: unkalibriert, horizontal:* 50 μ*sec/DIV*)

Kapitel 8

Künftige Arbeiten am Lasermonitorsystem

8.1 Hardware

Nach Fertigstellung aller Hardwarekomponenten sind zahlreiche Einstellarbeiten erforderlich um das Lasermonitorsystem erfolgreich in Betrieb nehmen zu können.

Diese Arbeiten lassen sich auf relativ einfache Weise durchführen, wenn die nachstehenden Hinweise, in der genannten Reihenfolge, beachtet werden.

8.1.1 Filterauswahl für die Referenzsysteme

Bei den Referenzkanälen besteht das Problem, daß zum einen das Laserlicht stark gedämpft werden muß, zum anderen, daß die Shapersignalmaxima der Referenzsignale trotz Kabellängenanpassung[1] nicht gleichzeitig mit denen der BEMC-Signale liegen könnten.

Die geeigneten Neutralfilter für die Referenzsysteme lassen sich ohne Einsatz des Datenacquisitionssystems bestimmen. Einzige Voraussetzung ist eine korrekte Justierung von Laser und Primäsereinkopplungen[2]. Mit einem Oszillografen werden dann an den CDU-Ausgängen die Einzeldiodensignale von einem guten hadronischen BEMC-Kanal[3] und dem anzupassenden Referenzkanal abgegriffen. Es sollte jeweils ein Filter ausgewählt werden, bei dem die Höhe des Referenzsignals nicht über der des hadronischen Signals liegt.

8.1.2 Prüfung auf korrekten Kabellängenabgleich

Die Prüfung auf korrekten Kabellängenabgleich gliedert sich in zwei Schritte. Erstens die Kontrolle des Antwortsignalleitungslängenabgleichs unter Benutzung des Lasers, und zweitens, die Kontrolle für die Testpulsersignalleitungen mit dem Testpulsersytem. Bei letzterem wird für die Anfang 1993 geänderten Testpulserzuleitungen zum BEMC und zu den Referenzsystemen noch der Längenabgleich erforderlich[4].

Bei der Prüfung des Kabellängenabgleichs muß auch sichergestellt sein, daß die Delay-Jumper auf den *Analogkarten* (ANCA's) richtig gesetzt sind.

---

[1] Vergleiche Abschnitt 6.6

[2] Vergleiche Abschnitt 5.3

[3] Die hadronischen Kanäle besitzen die höchsten Antwortsignale

[4] Vergleiche hierzu die Abschnitte 6.6 und 7.4

Abgleich der Signalleitungen

Das *Interface* kann hierbei im *local*-modus betrieben werden; außerdem sollte der Laser bereits mindestens eine Stunde pulsen, um während der Messungen mit höchstmöglicher Energiestabilität zu arbeiten.
Das Datenacquisitionssystem ist mit dem NIM-Triggersignal aus dem *Trigger Generator* des Lasermonitorsystems zu triggern. Mit einer geeigneten Software[5] zur Datennahme, falls nicht anders möglich auch unter Hinzuziehung der Zentralen Datenacquisitionseinrichtungen (**CDAQ**), sollten dann mehrere "Laserruns" mit unterschiedlicher Verzögerung des obengenannten Triggersignals durchgeführt werden. Wünschenswert wäre eine Staffelung in 10 *nsec*-Schritten, wofür ein **Delay Generator** mit Raststellungen zu bevorzugen ist. Es ist über einen Bereich zu verzögern, der die vollständigen Shapersignale (siehe Abbildung 8.1) von allen BEMC- und Referenzkanälen erfaßt.

Abb. 8.1: *Signal des unipolaren BEMC-Shapers [BEM92] bzw. [Kas94]*

Die Shapersignale der BEMC-Kanäle sollten, auf 20 *nsec* genau, übereinanderliegen. Sofern dieses auch für die Referenzkanäle gilt, sind die Signalleitungslängen, wie in Abschnitt 6.6 bestimmt, beizubehalten.

Abgleich der Testpulserleitungen

Auch für das Testpulsersystem muß erreicht werden, daß die Shapersignale von BEMC- und Referenzkanälen gleichzeitig liegen.

Analog zum Abgleich der Signalleitungen wird hier das Triggersignal vom Testpulsersystem für das Datenacquisitionssystem schrittweise verzögert. Die unterschiedlichen Verzögerungen lassen sich hier über die Testpulser-Software erzeugen, da hierbei neben dem **DLY 2** (Verzögerung des *hold*-Signals an die *Sample & Hold*-Hybride auf den Analogkarten in 100 *nsec*-Schritten [Ber91]) das **DLY 6** (Verzögerung des Testpulser-Signals an die Ausleseelektroniken in den BEMC-Modulen und Referenzsystemen in 5 *nsec*-Schritten

---

[5] Von der Anwendung der Triggertechnik für Funktionskontrollläufe des Lasermonitorsystems ist, wegen der Instabilität des Triggerzeitpunkts, abzuraten.

[Bre92]) zur Verfügung steht.

8.1.3 Justierung des Kalibrations-Trigger-Timings

Hier geht es um die Einstellung der “Schwellen” und “Delays” von den **Leading-Edge-Discriminatoren** des *Trigger Generators* und der Verzögerung des Triggersignals auf das Datenacquisitionssystem.

Es wird gewünscht, daß bei Kalibrationsläufen des Lasermonitorsystems keine Änderung der Software-Delays[6] notwendig wird.

Zuerst wird Referenzkanal 0 (*nur Laser*) eingestellt. Hierzu wird die “Schwelle” seines **Leading-Edge-Discriminators** so hoch gelegt, daß ein γ-Quant, des Präparates im Laserreferenzsystem, welches die Referenzdiode erreicht **kein** Triggersignal auslöst.
Das NIM-Triggersignal an das Datenacquisitionssystem wird dann mit einem **Delay Generator** so verzögert, daß das *hold*-Signal genau auf das Signal vom Shapermaximum fällt.

Für die Referenzkanäle 1 bis 3 werden dann die “Schwellen” ihrer **Leading-Edge-Discriminatoren** so eingestellt, daß auf die γ-Ereignisse getriggert wird. Anschließend sind die separaten “Delays” dieser Referenzkanäle so zu justieren, daß ihre Shapersignalmaxima ebenfalls mit dem *hold*-Signal zusammenfallen.

Nach Abschluß dieser Einstellarbeiten kann mittels der **Gate**-Eingänge des *Trigger Generators* beliebig zwischen den Triggerquellen umgeschaltet werden, ohne daß ein Laden von veränderten Software-Delays notwendig wird.

8.1.4 Justierung des Timings für Funktionskontrollruns

Bei den bereits durchgeführten Funktionskontrolläufen[7] erwies sich ein Anpassen des **DLY 2** als komplett ausreichend. Der “Offset” dieses Software-Delays zum BEMC-Normalwert sollte ermittelt und, für eine in der Zukunft zu entwickelnde “Funktionskontrollsoftware”, in einem eigenen *parameter*-file abgelegt werden.

8.2 Software

Nach erfolgreicher Hardwareinstallation wird die Implementation einer geeigneten Software für Systembetrieb und Datenanalyse erforderlich.
Abschließend ist daher kurz aufgezeigt, wie eine Softwarekonzeption für das Lasermonitorsystem aussieht, die mit der H1-Konzeption konform ist.

8.2.1 Softwarestruktur für reinen Systembetrieb

Um mit dem Lasermonitorsystem vollautomatisiert Daten nehmen zu können ist ein Programmpaket, daß die unterschiedlichen Betriebsvarianten[8] abdeckt und entsprechende Hardwareroutinen enthält, erforderlich. Es kann aus einzelnen Programmen bestehen, aber auch zu einem Programm mit Menueauswahl zusammengefaßt sein.

---

[6] DLY 1 bis DLY 5 [Ber91]
Ihre Werte sind in einem *parameter*-file auf dem Massenspeicher des Datenacquisitionsrechners abgelegt. Beim Starten einer Datenacquisitionssoftware werden die Bausteine des Datenacquisitionssystems automatisch mit diesen Werten konfiguriert.

[7] Einzelheiten zu ihrer Durchführung sind in [Zbk92] zu finden.

[8] siehe Abschnitt 6.5

Von einer Einbettung dieses Programmpaketes in das Programmpaket, namens “H1”, ist abzuraten, da letzteres ständigen Änderungen unterworfen ist und damit stets eine Neueinbettung erforderlich wird.

Auf dem OS9-Rechner wurde eigens für das Lasermonitorsystem ein “account” eingerichtet, der zu Entwicklung und Ablauf von Programmen vorgesehen ist.

Hardwarenahe Programmierung

Die Hardwarenahe Programmierung des VME-Slave-Einschubs ist die Grundlage für einen rechnergesteuerten Betrieb des Lasermonitorsystems.

Ideal ist die Erstellung einer C-Funktionsbibliothek, zum Beispiel mit dem Namen *“krauss_maffei_lib.h”*, mit der alle benötigten Funktionen der “piggy-back-module” angesprochen werden können; ohne das dabei auf die Funktion im Lasermonitorsystem Rücksicht genommen wird. Zum Beispiel:

> “Setze am TTL-Modul auf Modulsteckplatz *MD2* das Port *PB5* auf **low**”.

Eine zweite C-Funktionsbibliothek, zum Beispiel mit Namen *“bemc_laser_lib.h”*, könnte dann einen Befehl aus dem Programmpaket, wie:

> “Laser POWER ON”,

durch Zugriff auf die erste Funktionsbibliothek in die gewünschte Aktion umsetzen.

Hintergrundprozesse

Soll das Lasermonitorsystem im **standby**-Modus betrieben werden, so ist zwischen den Laserläufen eine permanente Überwachung des Lasers erforderlich.

Dies ist durch einen geeigneten Hintergrundprozeß möglich, der auf dem OS9-Rechner mit niedrigster Prozeßpriorität initialisiert werden kann. Dieser Hintergrundprozeß sollte zunächst sicherstellen, daß sich das Lasermonitorsystem in einer Betriebspause befindet. Hierzu sind die Abfragen:

> “Ist das Lasermonitorsystem in einem programmgesteuerten Betriebszustand?”
> “Befindet sich das *Interface* im **remote**-Modus?”

notwendig. Liegt eine Betriebspause vor, so sind die folgenden Betriebsparameter von Laser und Interface abzufragen”

> “Laser STATUS”
> “Laser U_{mon}”
> “Laser NTC”
> “Interface Betriebspannung”

Einem ungewollten **enable**-Zustand des Lasers könnte dann mit einem rechnergesteuertem

> “Laser DISABLE”

begegnet werden. Eine unzulässige *Thyratron-reservoir-Voltage* oder eine, mit dem NTC ermittelte, Überhitzung des Lasers[9] sollte dagegen eine Sofortabschaltung des Lasers und einen Alarm an das *BBL3*- und das *Slow Control*-System ausgelöst werden.

---

[9] denkbar bei einem Lüfterausfall

Gegen einen Ausfall der Rechnerüberwachung[10] ist dann eine weitere Hintergrundroutine erforderlich, die das *Watchdog-Modul* auf dem VME-Slave-Einschub regelmäßig "antriggert". Das *Interface* kann dann ein Ausbleiben der Triggerung, und damit der Rechnerüberwachung, erkennen und leitet eine Sofortabschaltung des Lasermonitorsystems ein.

Für diesen Hintergrundprozess muß eine ausreichend hohe Prozesspriorität gewählt werden.

Beide Hintergrundprozesse lassen sich durch einen entsprechenden Eintrag im *startup*-file des OS9-Betriebssystems bei jedem Rechnerneustart automatisch initialisieren[11].

"parameter"- und "logbook"-files

Für den Betrieb des Lasermonitorsystems ist es sinnvoll auf der Festplatte des OS9-Rechners zwei Dateien anzulegen, die zum Herauslesen oder Abspeichern wichtiger Betriebsparameter genutzt werden können.

Die lauffähigen Programme des Lasermonitorsystems würden dann aus dem "parameter"-file Daten wie den *DLY 2-Offset*[12], oder den Grenzwert der am NTC des Lasers abfallenden Spannung lesen können. Wird das Ändern solcher Parameter notwendig entfällt dann ein umständliches Neucompilieren und Linken der Programme.
Der "logbook"-file würde dagegen den Programmen zum Abspeichern von wichtigen Daten einzelner Systemläufe, wie

- Runnummer mit Uhrzeit und Datum
- Runtyp mit Stellung von Filterrad, Shutter und Gates
- Thyratron-Reservoir-Voltage bei Runanfang und -ende
- NTC-Spannung
- Anzahl verschossener Laserpulse
- etc..

dienen.
Es könnte hier aber auch aufgezeichnet werden, welche Bedingungen einen Alarm ausgelöst haben.

Software zur Systemwartung

Bei auftretenden Störungen ist zur schnellen Fehlerdiagnose ein Programm[13] vorteilhaft, daß alle, über den VME-Slave-Einschub erfaßbaren, Systemdaten auf einem am OS9-Rechner angeschlossenen Terminal ausgibt.
Ein solches Programm benötigt nur Zugriffe auf den VME-Slave-Einschub des Lasermonitorsystems.

---

[10] Rechnerabsturz, *power fail* im VME-Crate etc.

[11] Für Hinweise zum OS9-Betriebssystem und zur C-Programmierung unter OS9 siehe [Mic87] und [Mic87b].

[12] Vergleiche Abschnitt 8.1

[13] Oder ein separates Menü im Programmpaket

Software für Serviceleistungen

Für Serviceleistungen, wie in Abschnitt 7.3 beschrieben, ist ein Programm(-Menue) erforderlich, daß eine Ansteuerung von Laser, Filterrad und Shutter erlaubt, ohne daß auf die Bausteine des Datenacquisitionssystems augegriffen wird.

Software für Funktionskontrolläufe

Im Gegensatz zur Software für Serviceleistungen wird hier ein Zugriff auf die Bausteine des Datenacquisitions- und des Testpulsersystems notwendig. Die Programmierung sollte auf die für diese Bausteine vorhandenen Softwareroutinen aufbauen.
Sehr wichtig ist hierbei eine Möglichkeit zur sofortigen Präsentation der Funktionskontrollaufdaten auf dem angeschlossenen Terminal.

Software für Kalibrations- und Linearitätstests

Für Kalibrationstests entfällt der Zugriff auf das Testpulsersystem. Auch kann auf die sofortige Darstellung der Daten auf dem Terminal verzichtet werden. Gemäß H1-Konzeption hat der OS9-Rechner nicht die Aufgabe die Datenanalyse. Vielmehr soll er als Echtzeitsystem die Steuerung des Datenacquisitionssystems leisten. Die Daten aus Kalibrations- und Linearitätstests sind stattdessen mit einem Datentransferprogramm[14] auf die CalorimeterVax zu übermitteln und dort weiter zu analysieren[15].

Zugriffsprobleme auf dem VMEbus

Bei der Entwicklung dieser Programme ist zu beachten, daß alle Zugriffe auf die VME-Einschübe von Datenacquisitionssystemen der H1-Kalorimeter über einen ständig anwesenden Prozeß, den sogenannten **driver**, laufen müssen. Zu den Funktionen dieses Prozesses gehört es, Konflikte zu vermeiden, die bei gleichzeitigem Zugriff zweier Prozesse auf dasselbe VME-Board entstehen.
Für genaue Informationen zum Datenacquisitionssystem der H1-Kalorimeter siehe [Des90].

8.2.2 Software zur Datenanalyse (Entwicklungsschritte)

Die Daten aus Kalibrations- und Linearitätstests sind, wie bereits erwähnt, auf der μVAX der H1-Kalorimeter zu analysieren[16]. Auf diesem Rechner stehen alle, der am H1-Projekt gängigen, Softwarepakete zur Datenanalyse zur Verfügung.

Im ersten Schritt der Datenanalyse ist auszuprobieren, wie eine Korrektur der Rohdaten des Lasermonitorsystems mittels der Quotientenmethode durchgeführt werden kann (Vergleiche hierzu Kapitel 4).

Im zweiten Schritt sind Daten aus Kalibrationsversuchen mittels kinematischem Peak heranzuziehen und mit den Daten des Lasermonitorsystems laufend zu vergleichen. Das hohe Ziel ist, einen Kalibrationsalgorithmus zu entwickeln, der mit regelmäßig zu gewinnenden Daten des Lasermonitorsystems die Kalibration des BEMC zu verbessern hilft.

Dann stellt sich in einem dritten Schritt die Aufgabe, die Kalibrationsinformationen aus Testpulsersystem, kinematischer Peak-Analyse und Lasermonitoring zusammenzufassen. Die so verbesserte Kalibrationsinformation könnte dann auf dem üblichen Weg, das

---

[14] *ftp*

[15] Dies ist der übliche Weg, wie er auch mit mit dem Testpulsersystem beschritten wird.

[16] Die Daten aus Funktionskontrolläufen könnten auf der μVAX ebenfalls einer erweiterten Analyse unterzogen werden. Dies wurde bereits in Abschnitt 4.3 angesprochen.

heißt durch Laden von Korrekturparametern in den DSP des Datenacquisitionssystems, zur Online-Korrektur der BEMC-Daten verwendet werden.

Kapitel 9

Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurde die Hardware auf der Laserplattform neu entwickelt und ihr Aufbau nahezu vollständig abgeschlossen.

Es wurden alle relevanten Eigenschaften des Lasers und der signalverarbeitenden Umgebung geklärt. Gestützt auf diese Untersuchungen wurde die Systemintegration in das VMEbus-gestützte Datenacquisitionssystem geleistet. Das zugehörige Treiber-Interface wurde von der Firma W. Haase, Elektronische Systeme, nach vielen Absprachen mit dem Autor dieser Arbeit, gebaut. Damit steht neben der Handbetriebsmöglichkeit ein vollautomatisierter, und daher schichtmannschaftsgerechter, Betrieb in verschiedenen Betriebsmodi offen. Hierzu gehören die Datennahme mit licht- oder HERA-clock-getriggerten Laserevents und die Datennahme für γ-Ereignisse in den Referenzsystemen zu Zwecken von Funktionskontrollen (Monitoring), Laserkalibrationsexperimenten, und Linearitätstests. Als Service für andere Detektorelemente ist auch ein reines Einspeisen von Laserlichtimpulsen ohne Datennahme unterstützt.

Mit unterschiedlichen Triggertechniken wurden Daten am eingebauten BEMC genommen. Diese konnten eingesetzt werden für eine reine Funktionskontrolle der Signalwege des Detektors und zu einer Untersuchung der Lichtsammeleffizienzen beim Lasereinschuß in unterschiedliche Stackformen. Ernsthafte Messungen zur Frage der Reproduzierbarkeit sind dagegen erst mit der stationären Installation des gesamten Systems und einer Triggerbildung, direkt auf die Laserlichtimpulse, möglich.

Hauptgegenstand künftiger Arbeiten ist die Implementation einer hardwarenahen Programmierung in die Datenacquisitionssoftware und die Einleitung einer regelmäßigen Datennahme.

Anhang A

Modifikationen am LN300

Am LN300 wurden zahlreiche Änderungen erforderlich, um die Abstrahlung von elektromagnetischen Störungen zu verringern. Außerdem war die Elektronik des Lasers geringfügig an das *Interface* und den VME-Slave-Einschub anzupassen.
Daher wird der Änderungskatalog erst mit Fertigstellung des *Interfaces* abgearbeitet sein.
Die Modifikationen umfassen die im folgenden aufgelisteten Maßnahmen:

- Eingriffe in die Elektronik des Lasers, inclusive Entkopplung von Triggereingang[1] und Zeitsynchronisationssignalausgang[2].
  Mit diesen Maßnahmen werden die in Abschnitt 5.1.4 angesprochenen Mängel weitestgehend behoben.

- Eindämmung der Abstrahlung elektromagnetischer Störungen über das Gehäuse, durch Anfertigung eines zusaätzlichen Kupfergehäuses.
  !!! Achtung !!! In Verbindung mit dem Gehäuseumbau entfällt die Interlockschaltung am Gehäusedeckel!

- Entfernung Geräteinterner Einrichtungen für, im Lasermonitorsystem nicht zur Anwendung kommende Triggermodi[3]. Durch den Wegfall der entsprechenden Kabel im Gerät, entfallen die Störungen, die sonst von ihnen abgestrahlt werden.

- In den LN300 wird ein NTC-Widerstand[4]. eingebaut, um eine eventuelle Überhitzung des Lasers erfassen zu können.
  Bei einem Lüfterausfall bei **standby**-Betrieb kann der Rechner daraufhin eine Sofortabschaltung des Lasers, und Alarmmeldungen an das *Slow Control System* auslösen.

- Die Anschlüsse an die *Thyratron-reservoir-Voltage* und den NTC werden zusätzlich über den **remote connectors** geführt. Die Pinbelegung des **remote connectors** wird, wie in Tabelle A.1 beschrieben, verändert. Die Pinbelegung ist so gewählt, daß zusammengehörige Leitungen[5] auf dem verwendeten twisted-pair-Flachbandkabel jeweils miteinander paarig verseilt sind. Bei Messungen über ein solches Pinpaar, sind hierdurch geringere Störeinstrahlungen möglich.

- Die auftretenden **Laser STATUS**-Spannungen, sind dem *ADC-Modul* des VME-Slave-Einschubs anzupassen (siehe hierzu auch Anhang B.

---

[1] **reg**-Buchse

[2] **sync out**-Buchse

[3] Dies betrifft den Umschalter zwischen externer und interner Triggerung, und den Trigger-modus **charge** (siehe hierzu [LPh91]).

[4] NTC=**N**egativer **T**emparatur-**K**oeffizient; NTC-Widerstand werden auch "Heißleiter" genannt. Sie werden mit zunehmender Temperatur niederohmiger [Roh87]

[5] Pin 2 mit Pin 6, Pin 3 mit Pin 7, etc.

Pin 1	remote enable	ex Pin 3
Pin 2	remote interlock	ex Pin 1
Pin 3	Laser STATUS	ex Pin 4
Pin 4	mon	
Pin 5	NTC	
Pin 6	remote interlock	ex Pin 2
Pin 7	GND	ex Pin 5
Pin 8	GND	ex Pin 5
Pin 9	GND	ex Pin 5

Tab. A.1: *Belegungsplan des* **remote connector** *(vgl. Anhang D)*

In der rechten Spalte ist die werksseitige Pinbelegung aufgeführt.
Ein “Laser **enable**” wird über eine kurzzeitiges Schließen einer Verbindung zwischen Pin 1 und Pin 2 erreicht.
Für ein “Laser **disable**” ist ein kurzzeitiges Unterbrechen der **Interlock-Brücke** von Pin 2 nach Pin 6 erforderlich.

Anhang B

Betriebsanleitung für den modifizierten LN300

Der Umbau des Lasers ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch nicht abgeschlossen. Die nachstehende Anleitung soll dennoch in Kurzform vermitteln, wie der Laser künftig im Labor von Hand bedient werden kann.

Kaltstart des Lasers:

1. Der Laser wird mit einer Vierteldrehung am Schlüsselschalter an der rückwärtigen Bedienplatte eingeschaltet. Daraufhin beginnt die **power on** - LED zu leuchten und der interne Lüfter zu arbeiten. Außerdem wird mit der Heizung des Schaltthyratrons begonnen.

2. Nach ca. 3 Minuten beginnt ebenfalls die grüne **ready** - LED zu leuchten. Der Laser kann nun auf **enable** gestellt werden.

Laserbetrieb bei Triggerung durch einen externen TTL-Testpulsgenerator:

1. Mit einem BNC-Kabel können TTL-Signale eines Testpulsgenerators auf die Triggereingangsbuchse **reg** gelegt werden.

2. Wird nun der Laser mittels des Wipptasters auf **enable** gesetzt geht der Laser in Betrieb. Dies bedeutet:

- die rote **enable** - LED leuchtet
- die Laserröhre wird unter Hochspannung gesetzt
- der Laser liefert nach jedem Triggersignal einen Lichtpuls, sofern die maximal zulässige Triggerfrequenz von $40\,Hz$ nicht überschritten wird. Die Zeitdifferenz zwischen ansteigender Kante des TTL-Triggersignals und Laserpuls wird nach erfolgter Modifizierung bei $0,8\,\mu sec$ liegen[1].

---

[1] laut Herstellerangaben sollte diese Zeitdifferenz $750\,nsec$ betragen; Labormessungen zeigten jedoch einen mehr als doppelt so hohen Wert

- von der **sync-out** BNC-Buchse kann ein TTL-Signal abgenommen werden, dessen ansteigende Kante ca. 350 *nsec* vor dem Lichtpuls erscheint[2] liegen.

Der Laser wird aus diesem Zustand zurückgesetzt, wenn der Laser über den Wipptaster wieder auf **disable** gestellt wird.

Laserbetrieb bei interner Triggerung:

1. Verbindung von Triggerausgangsbuchse **int** und Triggereingangsbuchse **reg** mit einem möglichst kurzen BNC-Kabel[3].

2. Der Laser kann nun, wie bei externer Antriggerung, mit dem Wipptaster bedient werden. Jedoch pulst der Laser nun mit einer am Potentiometer eingestellten Frequenz von maximal 30 *Hz*.

Weitere Bedienungshinweise:

- Die Thyratron-reservoir-voltage läßt sich sowohl über die werksseitig angebrachte Bananensteckerbuchse (**mon**) als auch über den **remote connector**[4] kontrollieren. Ihr Wert sollte $-7,5$ *Volt* nicht unterschreiten. Andernfalls ist mit einem Aussetzen der Lasertätigkeit zu rechnen. In solchen Fällen kann durch ein kurzzeitiges **power off** und einer Korrektur der Monitorspannung mittels des **mon adjust** - Potentiometers Abhilfe geschaffen werden.
- Die Monitorspannung sollte, zum Schutz des Digitalvoltmeters, nur im **disable** - Zustand gemessen werden; Messungen bei pulsendem Laser führen darüberhinaus zu einer Herabsenkung der Signalhöhe des Laserlichts.
- Vorsicht bei Betrieb mit geöffnetem Gehäuse; insbesondere im Bereich von Hochspannungskondensatoren und ungeschützen Kontakten.
- Am **remote connector** müssen die **remote interlock** - Pins miteinander kurzgeschlossen sein (z. B. durch einen Blindstecker).
- Das nachträglich montierte Lasergehäuse (aus Kupfer) nimmt im Bereich des Abluftgitters ständig Wärme auf. Das Lasergehäuse muß daher ständig mit einem externen Lüfter gekühlt werden.
  Die Nichtbeachtung dieses Hinweises führt nach wenigen Minuten zu einer Überhitzung des Gerätes und einem Aussetzen des Pulsbetriebes.

Fernsteuerung und -überwachung des Lasers über den remote connector:

Der Laser kann, mittels einer hierfür angefertigten Handfernsteuerung, extern angesteuert und überwacht werden. Dies geschieht rein unter Benutzung der **remote connector** - Pins (siehe hierzu Anhang A). Hierdurch sind **laser enable** und **laser disable**

---

[2] Dieser Wert wurde vor der Modifizierung des Lasers ermittelt. Laut Herstellerangaben sollte dieser Wert bei 250 *nsec* sein

[3] Das Kabel sollte kurz sein um Störabstrahlungen von der Abschirmung des BNC-Kabels zu vermeiden. Im Rahmen der Modifikationen wird der werksseitig angebrachte Umschalter, zur Auswahl von interner oder externer Triggerung, entfernt; hierdurch können im Laser mehrere Leitungen entfallen, über die sonst hochfrequente Störungen abgestrahlt werden

[4] nach erfolgter Modifikation

zu setzen. Desweiteren können Monitorspannung **mon**, Laser STATUS und die NTC-Spannung (Temperaturkontrolle) ausgelesen werden.

Aus der **STATUS** Spannung läßt sich der augenblickliche Zustand des Lasers ermitteln. Vor der Modifizierung stellten sich die Werte wie folgt, dar:

power on (Vorheizphase)	$22,4\ V$
ready	$30\ mV$
enable	$150\ mV$
power off	$0\ V$

Durch Eingriff in die Laserelektronik werden sich die Werte so ändern, daß sie sich einerseits im Meßbereich des ADC-Moduls aufhalten, andererseits ihre gegenseitige Auflösung durch den ADC gewährleistet ist.

Anhang C

Daten der eingebauten Komponenten

C.1 Daten der verwendeten Quarzglasoptiken

Für alle optischen Elemente des Lasermonitorsystems wurde Quarzglas gewählt, da es im Vergleich zu konventionellen Gläsern im ultravioletten bei $337,3\,nm$ eine deutlich bessere Transmission besitzt. Abbildung C.1 zeigt eine Transmissionskurve für Quarzglas. Es besitzt bei $337,3\,nm$ eine Brechzahl von $n' = 1,479$.

Abb. C.1: *Transmission für Quarzglas [Spi92]*

Strahlteiler und -spiegel bestehen selbstverständlich ebenfalls aus Quarzglas. Die Beschichtungen von Strahlteiler und -spiegel sind speziell auf die Wellenlänge des N_2-Lasers ausgelegt, vertragen Laserpulse mit Energiedichten[1] bis zu $1,5\,J/cm^2$, und wurden auf Quarzglassubstraten von $50\,mm$ Durchmesser und $10\,mm$ Stärke aufgebracht. Ihre Transmissionskurven sind in Abbildung C.2 zu sehen.

---

[1] Bezogen auf einen Laserpuls von $10\,nsec$ Dauer

Abb. C.2: *Transmissionkurven von Strahlteiler und -spiegel [Mel92]*
Die Kurven von Strahlteiler (links) und -spiegel (rechts) zeigen bei einem Lichteinfalls- bzw. -ausfallswinkel von 45° die Transmission (in %) als Funktion der Wellenlänge (in *nm*).

C.2 Daten der verwendeten Quarzglasfasern

Für das Lasermonitorsystem werden Quarzglasfasern mit drei unterschiedlichen Kerndurchmessern werwendet (siehe Tabelle C.1). Bei Ihnen handelt es sich um *Stufenindex-Multimode-Quarzglasfasern*[2] die aus einem **Kern** aus Quarzglas, einem ersten Mantel (dem **Cladding**) und einem zweiten Mantel (dem **Buffer**) bestehen. Das **Cladding** besitzt einen geringeren Brechungsindex als der **Kern**, so daß das zu transportierende Licht am Übergang stets eine Totalreflektion erfährt (siehe hierzu auch Abbildung C.3). Der **Buffer** besteht aus *Tefzel* und sichert **Cladding** und **Kern** gegen mechanische und chemische Belastungen.

	Primärfaser	Sekundärfaser	Referenzfaser
Fasertyp	HCN-M1000T-14	HCR-M0200T-05	HCR-M0600T-06
Dämpfung [*dB/km*]	14	5	6
Durchmesser [μm]			
Kern-	1000 ± 15	200 ± 5	600 ± 10
Cladding-	1035 ± 15	230 +0/−10	630 ±10
Mantel-	1400 ± 50	500 ± 50	600 ± 40

Tab. C.1: *Technische Daten der Quarzglasfasern [LCo89]*

---

[2] Fa. Ensign-Bickford, USA

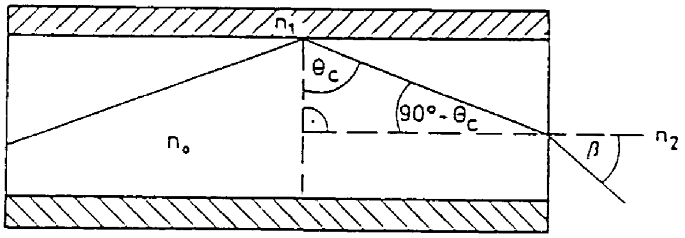


Abb. C.3: *Totalreflexion an den Wänden eines Lichtleiters [Fin89]*

Es gilt für θ_c, den Grenzwinkel der Totalreflektion:

$\theta_c = arcsin\frac{n_1}{n_0}$

n_1 : Brechungsindex des **Claddings**

n_0 : Brechungsindex des **Kerns**

Bei Einkopplung von Licht in ein Faserende gilt für den maximalen Einkopplungswinkel β:

$\beta = arcsin(\frac{n_2}{n_0} sin(90° - \theta_c))$

n_2 : Brechungsindex von Luft

C.3 Der SCSN 38 Szintillator

Der SCSN 38 - Szintillator[3] ist ein Plastikszintillator der zu 99 % aus Polystyrol-molekülen besteht. Ihm sind die Farbstoffe b-PDB und BDP zu 1 % bzw. 0,02 % beigemischt. Abbildung C.4 zeigt die Strukturformeln von Polystyrol und Farbstoffen. Nach Anregung durch geladene Teilchen szintillieren die Polystyrolmoleküle im UV-Bereich. Dieses Szintillationslicht wird anschließend von den beiden Farbstoffen ins Blaue mit ($\lambda \geq 400\,nm$) verschoben.

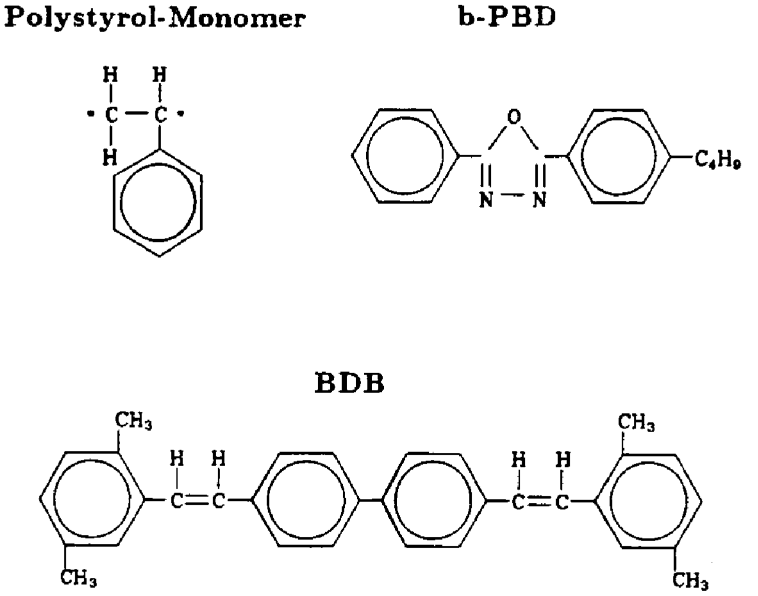


Abb. C.4: *Strukturformeln von Polystyrolbasis, b-PDB und BDP (nach: [Röm73])*

Die Lichtsammeleffizienz des Szintillators ist von der Atmosphäre der Umgebung abhängig. Da das BEMC im Betrieb Atmosphären mit unterschiedlicher Mischungverhältnissen für

---

[3] KYOWA-GAS, Japan

Sauerstoff und Stickstoff ausgesetzt ist, werden zur Zeit Messungen durchgeführt, die diesen Effekt sowohl für Elektronen- als auch für Lasereinschuß untersuchen [Gül93].

C.4 Der Y7 Wellenlängenschieber

Bei dem Y7-Wellenlängenschieber[4] handelt es sich um eine Basis aus Plexiglas (PMMA[5]) in die der Farbstoff Y7 gelöst ist. Er wurde ausgewählt, da sein Absorptionsspektrum gut auf das Emissionsspektrum von SCSN 38 abgestimmt ist. Er emittiert grünes Licht mit ($\lambda \simeq 500\,nm$). Abbildung C.5 zeigt seine Strukturformel.

Abb. C.5: *Strukturformel von PMMA (nach: [Röm73])*

C.5 Die HAMAMATSU S2575-Photodioden

Die HAMAMATSU S2575 - Photodioden sind Silizium-pin-Photodioden. Zwischen den p- und n-dotierten Schichten des Siliziumsubstrats befindet sich eine besonders breite intrinsische (=eigenleitende) Schicht. Wird eine Bias-Spannung (in Sperrichtung) an die Photodiode angelegt, kann die Verarmungszone soweit vergrößert werden, daß sie sich über die gesamte intrinsische Schicht erstreckt. Fallen nun Photonen auf die Photodiode, so werden durch inneren Photoeffekt Elektronen vom Valenzband in das Leitungsband angehoben. Die so entstandenen Elektronen-Loch-Paare werden durch das in der intrinsischen Schicht bestehende elektrische Feld getrennt und driften zur p- bzw. n-dotierten Schicht. Die eingefallene Lichtmenge ist proportional zur Anzahl erzeugter Elektron-Loch-Paare und damit auch zur verschobenen Ladungsmenge. Mit Hilfe von Ladungsempfindlichen Vorverstärkern kann, wie auch im Falle des BEMC, die Ladungsmenge in einen zu ihr in der Amplitude proportionalen Spannungsimpuls umgesetzt werden.

Die HAMAMATSU S 2575 Photodioden können auch, wie in den Referenzsystemen geschehen, als Halbleiterdetektoren eingesetzt werden. Hierbei erzeugen einfallende γ-Quanten Photoelektronen, die in der intrinsischen Schicht durch Stöße Elektronen-Loch-Paare erzeugen.

Für weitere Informationen siehe Tabelle C.2, Abbildung C.6 und [Wun88].

---

[4] KYOWA-GAS, Japan

[5] PolyMethylMethAcrylat

Photodiodentyp	HAMAMATSU S 2575
Sensitive Fläche [mm]	3.4x30=102
Sensitiver Wellenlängenbereich [nm]	320-1060
Maximale Empfindlichkeit [nm]	900
Quantenausbeute $\geq$75% [nm]	600-940
Spektrale Empfindlichkeit im Maximum (A/W)	0.60
Maximale Bias-Spannung	50 $Volt$
Maximaler Dunkelstrom bei $U_{Bias} = 30\ Volt$	5 nA
Temperaturabhängigkeit des Dunkelstroms pro $^\circ C$ ($25^\circ - 65^\circ C$)	$\times$1.15
Übergangskapazität bei $U_{Bias} = 30\ Volt$	80 pF
Fenstermaterial	Resin

Tab. C.2: *Technische Daten der Photodioden [Ham86]*

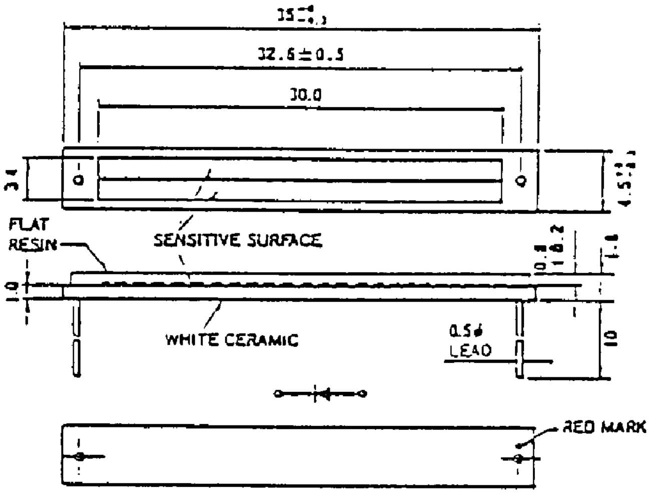


Abb. C.6: *Ansichten der verwendeten Photodioden*

C.6 Technische Daten des HAMAMATSU R2184-Photomultipliers

Triodentyp	HAMAMATSU R 2184
Maximalwerte	
Betriebsspannung	900 *Volt*
Spannung zwischen Anode und letzter Dynode	450 *Volt*
Mittlerer Anodenstrom	0.001 *mA*
Dunkelstrom	$\approx$ 0.7 *nA*
Kathode	
Quantenausbeute bei 390 *nm*	20%
Material	Bialkali
Fenstermaterial	Borosilikat
Bereich der spektralen Empfindlichkeit [*nm*]	300-650
Maximum der spektralen Empflindlichkeit	420 *nm*
Verstärkung	
ohne Magnetfeld	12
bei 0.5 *Tesla*	7.8
bei 1 *Tesla*	7.2
Abmessungen	
Durchmesser	51 *mm*
Kathodendurchmesser	46 *mm*
Länge des Glaskolbens	maximal 31.5 *mm*
Gesamtlänge	maximal 44.5 *mm*

Tab. C.3: *Technische Daten der Triode (aus: [Fin89])*

C.7 Daten der eingebauten Antriebseinheiten

Motor:	
Hersteller:	Fa. Faulhaber, Schönaich
Motortyp:	1616E018S DC-Micromotor
Nennspannung:	$18\ Volt$
Max. empfohlene Drehzahl:	$12\,000\ rpm$
Max. empfohlenes Drehmoment:	$0,8\ mNm$
Max. empfohlene Abgabeleistung:	$0,45\ W$
Max. empfohlene Stromaufnahme:	$0,080\ A$
Anschlußwiderstand:	$210,0\ \Omega$
Drehzahlkonstante:	$915\ rpm/Volt$
Drehmomentkonstante:	$10,44\ mNm/A$
Rotorwellenlagerung:	Sinterlager
Gewicht:	$12\ g$
Getriebe:	
Hersteller:	Fa. Faulhaber, Schönaich
Getriebetyp:	168 1670:1 Stirnradgetriebe *spielfrei*
Mittleres Getriebespiel (unbelastet):	$0°$
Max. empfohlene Eingangsdrehzahl:	$5000\ rpm$
Lagerspiel (gemessen am Lager)	
radial:	$\leq 0,02\ mm$
axial:	$\leq 0\ mm$
Untersetzungsverhältnis:	$1670 : 1$
Gewicht ohne Motor:	$28\ g$
Max. zulässiges Drehmoment	
bei Dauerbetrieb:	$100\ mNm$
bei Kurzzeitbetrieb:	$150\ mNm$
Abtriebswellenlagerung:	vorgespanntes Kugellager

Tab. C.4: *Technische Daten des Filter(wechsel)radantriebes (Herstellerangaben)*
Das Getriebe ist bei Lieferung mit dem Motor fest zusammengebaut.

Drehmagnet:	
Hersteller:	Fa. Kuhnke, Malente
Typ:	D 24 - BOR - F - DS 9420 - 24 VDC 100 % ED Drehmagnet mit Rückholfeder
Gewicht:	$75\,g$
Drehwinkel:	45°
Standardspannung:	$24\,Volt\ DC$
Drehmoment der Rückholfeder:	$0,15\,Ncm$
Nennleistung:	$3,8\,Watt$
Anfangsdrehmoment:	$0,18\,Ncm$
Enddrehmoment:	$0,44\,Ncm$

Tab. C.5: *Technische Daten der Drehmagnete (Herstellerangaben)*
Die Drehmagnete sind die Antriebseinheiten der Shutter.
Sie werden im Lasermonitorsystem mit einer Spannung von 8 *Volt* betrieben, um unnötige Abwärme zu vermeiden.

Umkehrdrehmagnet:	
Hersteller:	Fa. Kuhnke, Malente
Typ:	UD 39 - BOO - F - 24 VDC 4,4 % ED Umkehrdrehmagnet
Gewicht:	$300\,g$
Drehwinkel:	95°
Standardspannung:	$24\,Volt\ DC$
Nennleistung:	$6\,Watt$
Anfangsdrehmoment:	$2,5\,Ncm$
Enddrehmoment:	$2,5\,Ncm$

Tab. C.6: *Technische Daten der Umkehrdrehmagnete (Herstellerangaben)*
Die Umkehrdrehmagnete sind die Antriebseinheiten der Präparathalter in den Referenzsystemen.
Sie werden im Lasermonitorsystem mit einem geringen Spannungsimpuls in Bewegung gesetzt. Ein selbstentwickelter Federmechanismus garantiert die beiden Endstellungen.

C.8 Daten der radioaktiven Präparate

Zur Eichung der Referenzdioden in Laser- und Hauptreferenzsystem werden drei γ-Präparate verwendet, die eine Aktivität von insgesamt ca. 10 MBq aufweisen[6]. Tabelle C.7 listet die wichtigsten Daten der Präparate auf.

	Co^{57}	Cd^{109}	Cd^{109}
Referenzkanal	1	2	3
Aktivität: Meßunsicherheit: Referenzdatum:	$4,72\,MBq$ $\pm 4\%$ 01.09.1990	$4,45\,MBq$ $\pm 6\%$ 01.10.1992	$474\,kBq$ $\pm 6\%$ 01.10.1992
Energie (Intensität)	$122,06\,keV\,(85,59\%)$ $136,47\,keV\,(10,58\%)$	$88,03\,keV\,(3,68\%)$	$88,03\,keV\,(3,68\%)$
Halbwertszeit	$271,84$ *Tage*	463 *Tage*	463 *Tage*

Tab. C.7: *Daten der radioaktiven Präparate [Ame90,92] (Herstellerangaben)*

Bei allen Quellen handelt es sich um "umschlossene" Präparate. Dies bedeutet, daß die radioaktive Substanz in einen Präparateträger[7] aus Kunststoff eingeschlossen ist.

Bei der Konstruktion der Referenzsysteme wurden die Bleiabschirmungen in einer Stärke gewählt, so daß außerhalb des detektorfernen Aufbaues nur eine Strahlung in Höhe der natürlichen Radioaktivität gemessen werden kann.

Beim Transport in die Halle Nord ist zu beachten, daß dieser nur in Absprache mit den zuständigen Strahlenschutzbeauftragten vorgenommen werden darf.
An der Aluminiumabdeckhaube des detektorfernen Aufbaues sind geeignete Aufkleber anzubringen, die allgemein vor Radioaktivität warnen und Angaben über die eingebrachten Quellen machen[8].

---

[6] Dieser Wert entspricht ca. $0,3\,mCi$

[7] $25\,mm$ (Durchmesser) $\times 3\,mm$ (Stärke)

[8] Art und Aktivität (incl. Referenzdatum) der Präparate

Anhang D

Bedienung des Interface

Alle Schalter und Anschlüsse befinden sich an der Frontseite des Interfaces (siehe Abbildung D.1). Es ist als 19"-Einschub ausgeführt und gliedert sich in drei Baugruppen auf. Erstens, in den Logikteil auf und hinter der linken Frontblende. Zweitens in das Netzteil, in der Mitte. Drittens in den Powerteil mit den frontseitigen Netzanschlüssen und einem Trenntrafo.
Anhand dieser Abbildung seien die Funktionen des Interfaces im folgenden erläutert:

Abb. D.1: *Frontplatte des Interfaces*

1 Europa-Kaltgerätesteckerfilter mit Schalter und Feinsicherung ($10\,A$).
zum Anschluß des Interfaces an die Stromversorgung[1] vom Elektronik-Trailer.
Achtung!!! Die Abschaltung des Interfaces, sowohl über den Schalter als auch durch Herausziehen des Netzsteckers führt automatisch zu einem **power fail** des Netzteils (**6**) und damit zu einem **Slow Control**-Alarm.

2 Glimmlampe. Leuchtet bei eingeschaltetem Interface.

---

[1] Das Interface wird über den Anschluß Nr. 70 des Sicherungskastens am Elektroniktrailer separat versorgt. Bei Bedarf stünde hier auch Drehstrom zur Verfügung. Im Falle von Netzstörungen lassen sich im Sicherungskasten Kontakte vertauschen.

3 Glimmlampe. Leuchtet beim Anliegen einer Spannung an der Euro-Kaltgerätekupplung (**4**)

4 Euro-Kaltgerätekupplung zur Versorgung des Lasers. Nur stromführend, bei gesetztem **Laser - power on** durch den Rechner oder den Interface-Schalter (**39**)

5 Steckdose. Ausschließlich für den kurzzeitigen Einsatz eines Oszilloskops gedacht. Ein Oszilloskop wird zur Justierung der Primärfasern benötigt (vgl. "Das Hauptreferenzsystem" in 5.3).

6 Das Netzteil stellt der Interface-Elektronik die benötigten Gleichspannungen zur Verfügung und erzeugt ein **power fail**-Signal, falls seine Stromversorgung unterbrochen wird.

7 Schalter für Wechsel zwischen Handsteuerung (**local**) und Rechnersteuerung (**remote**) über den VME-Slave-Einschub.

8 Anschluß zum *remote connector* des Lasers. Pinbelegung im Anhang A.

9 TTL-Triggerausgang (BNC-Buchse) an *reg*-Buchse des Lasers.
Im Grundzustand wird hier das konvertierte NIM-Signal des *Calibration Upper Board* ausgegeben. Es kann rechnergesteuert auf einen Timer-Ausgang eines TTL-Moduls als Triggerquelle umgeschaltet werden.

10 TTL-Eingang (BNC-Buchse) für das Zeitsynchronisationssignal des Lasers (*sync out*-Buchse). Es wird zum Zählen der Laserpulse auf dem **local scaler** (**41**) benutzt.

11 Anschluß zum ADC-Modul (MD1) des VME-Slave-Einschubs.
Pinbelegung im Anhang E.

12 Anschluß zum ersten TTL-Modul (MD2) des VME-Slave-Einschubs.
Pinbelegung im Anhang E.

13 Anschluß zum zweiten TTL-Modul (MD3) des VME-Slave-Einschubs.
Pinbelegung im Anhang E.

14 Anschluß für das Plattformbuskabel.
Dieses Flachbandkabel ist durch den gesamten Aufbau auf der Laserplattform geschleift. Über Pfostenverbinder greifen sich alle Plattformgeräte, außer dem Laser, die von Ihnen benötigten Kontakte ab.
Pinbelegung im AnhangE.

15 Eingang (LEMO 00-Buchse) für das NIM-Triggersignal vom *Calibration Upper Board* (verwendet bei Funktionskontrolle. Das NIM-Eingangssignal wird, im Grundzustand des VME-Slave-Einschubs, auf den Triggerausgang (**9**) geschaltet.

16 Eingang (LEMO 00-Buchse) für das TTL-Countersignal vom *Trigger Generator*. Es wird im Interface auf den *counter*-Eingang eines TTL-Moduls geschaltet.

17 TTL-Level-Ausgang (LEMO 00-Buchse) an den *Gate 0* - Eingang des *Trigger Generators*. Ist der TTL-Level gesetzt, so erhält das Datenacquisitionssystem Triggerimpulse von "Referenzkanal 0" (Laserlichtpulse).

18 TTL-Level-Ausgang (LEMO 00-Buchse) an den *Gate 1* - Eingang des *Trigger Generators*. Ist der TTL-Level gesetzt, so erhält das Datenacquisitionssystem Triggerimpulse von "Referenzkanal 1" (γ-Ereignisse aus dem Laserreferenzsystem).

19 TTL-Level-Ausgang (LEMO 00-Buchse) an den *Gate 2* - Eingang des *Trigger Generators*. Ist der TTL-Level gesetzt, so erhält das Datenacquisitionssystem Triggerimpulse von "Referenzkanal 2" (γ-Ereignisse aus dem Hauptreferenzsystem).

20 TTL-Level-Ausgang (LEMO 00-Buchse) an den *Gate 3* - Eingang des *Trigger Generators*. Ist der TTL-Level gesetzt, so erhält das Datenacquisitionssystem Triggerimpulse von "Referenzkanal 3" (γ-Ereignisse aus dem Hauptreferenzsystem).

21 Anschluß (Doppel-LEMO-Buchse) zum Watchdog-Modul (MD0) des VME-Slave-Einschubs.
Bei Rechnerabsturz unterbricht der Watchdog-Schalter die Stromschleife. Daraufhin schaltet, das Interface den Laser ab. schließt die Shutter, fährt die γ-Präparate in Parkposition, und schließt die Gates des *Trigger Generators*.

22 Anschluß (Doppel-LEMO-Buchse) an das *Slow Control System*.
Ähnlich wie (**21**). Jedoch befindet sich der Schalter im Interface und die Stromschleife wird von außen herangeführt.
Das Interface unterbricht die Stromschleife, wenn der Rechner einen Alarm setzt[2], oder das Netzteil (**6**) ein **power fail**-Signal erzeugt.
Die Anschlüsse (**22**) und (**23**) werden stets gemeinsam bedient; die Zuleitungen[3] für die beiden *Slow Control*-Alarme, **BBL3** und **Calo Scanner** können deshalb gegeneinander vertauscht werden.
Im Falle eines Watchdog-Alarms werden jedoch **keine** Alarme an das *Slow Control System* herausgegeben. Damit wird verhindert, daß Rechnerabstürze zu unnötigen Kontrollen des Lasermonitorsystems führen.
Achtung!!! Das Abziehen einer *Slow Control*-Leitung vom Interface führt automatisch zu dem entsprechenden *Slow Control*-Alarm.

23 Siehe (**22**).

24 Die LED leuchtet, wenn der Laser über den Rechner oder über den Schalter (**39**) auf **power on** gesetzt ist[4].

25 Die LED leuchtet bei eingeschalteten Filter(wechsel)rad-LED's.

26 Die LED leuchtet bei Ansteuerung von **Gate 0** durch den Rechner.

27 Die LED leuchtet bei Ansteuerung von **Gate 1** durch den Rechner.

28 Die LED leuchtet bei Ansteuerung von **Gate 2** durch den Rechner.

29 Die LED leuchtet bei Ansteuerung von **Gate 3** durch den Rechner.

30 Die LED meldet einen Watchdog-Alarm.

31 Die LED meldet die Herausgabe eines rechnergesetzten *Slow Control*-Alarms.

32 Die LED ist eine Reserve für Interface-Erweiterungen.

---

[2] Zum Beispiel bei Ermittlung einer unzulässigen Thyratron-reservoir-voltage von ($U_{mon} < -7,5$ *Volt*), oder einer zu hohen Lasertemperatur (ermittelt über einen NTC) durch Lüfterausfall.

[3] Die Zuleitungen führen zu einer Klemmleiste im rückwärtigen Teil von Rack G11.
Die Anschlüsse für das Lasermonitorsystem sind:
Signal 7 für **BBL3** und
Calo 17 für **Calo Scanner**

[4] Das Interface setzt bei einem **Laser - power on** stets auch das externe Lüfterpaar (vgl. Kapitel 5.3) in Betrieb

33 Taster zum Starten des Filter(wechsel)radmotors bei Handbetrieb.
Die rote LED leuchtet, solange der Motor in Betrieb ist. Nach Erreichen einer Halteposition wird der Motor gestoppt. Die grüne LED meldet die korrekte Haltepunktermittlung durch den Master-Phototransistor. Die Filter(wechsel)radposition wird durch die Ziffernanzeige (**40**) mitgeteilt.

34 Schalter zum Öffnen des roten Shutters. bei Handbetrieb. Anzeige durch die rote LED.

35 Schalter zum Öffnen des blauen Shutters. bei Handbetrieb. Anzeige durch die rote LED.

36 Wechseltaster zum Positionswechsel des γ-Präparats von "Referenzkanal 1" (Laserreferenzsystem) bei Handbetrieb.
Die rote LED meldet die Quelle in Meßposition;
Die grüne LED meldet die Quelle in Parkposition.

37 Wie (**36**), für "Referenzkanal 2" (Hauptreferenzsystem).

38 Wie (**36**), für "Referenzkanal 3" (Hauptreferenzsystem).

39 *power on*-Schalter für Laser und externem Lüfter bei Handbetrieb.
Betriebsanzeige durch die rote LED.

40 Ziffernanzeige für Filter(wechsel)radposition (Positionsauslese durch Phototransistoren).

41 **local scaler** zum Zählen der Laserpulse (Untersetzung 1:10). Als Zählsignal werden die auf der BNC-Buchse (**10**) eingehenden TTL-Impulse verwendet. Der **local scaler** ist batteriegepuffert.

Anmerkungen zum Handbetrieb

Bei Handbetrieb, **local**-Modus des Interface, sind zusätzlich folgende Punkte zu beachten;

- Die Anschlußleitung vom *remote connector* des Lasers wird vom Interface abgezogen und an die Handfernsteuerung (siehe Abbildung D.2) angeschlossen. Mit den Tastern läßt sich der Laser zwischen *enable*- und *disable*-Zustand umschalten[5]. Über die BNC-Buchsen lassen sich die die Kontrollspannungen des Lasers mit einem Digitalvoltmeter messen. Zur Pinbelegung des **remote connector** siehe Tabelle A.1 und Anhang B.

- Zur Triggerung des Lasers durch einen externen TTL-Pulser wird das Kabel zur *reg*-Buchse des Lasers vom Interface abgezogen und an den Pulser angeschlossen.

- Soll stattdessen ein externer NIM-Pulserverwendet werden so ist dessen Signal, anstatt der Leitung vom vom *Calibration Upper Board*, auf die LEMO 00-Buchse (**41**) des Interface zu legen. Es wird dann vom Interface in ein TTL-Signal konvertiert und an die *reg*-Buchse des Lasersweitergegeben.

- Am *Trigger Generator* sind die Gates zu setzen, indem der +5 *Volt*-Ausgang mit einem kurzen LEMO 00-Kabel auf den gewünschten Gate-Eingang gelegt wird.

---

[5] Die **enable-disable**-Umschaltung ist im **local**-Modus nicht unterstützt, weil in ersten Planungen keine Handbedienung vorgesehen wurde; dieser Mangel verhindert jedoch, daß, bei unbefugter Betätigung von Interfaceschaltern, Laserpulse in das BEMC eingeschossen werden können.

- Zur Vereinfachung des Handbetriebs wurden je eine Verlängerungsleitung für die Handfernsteuerung[6] und für einen Pulser[7] von der Laserplattform bis in das Obergeschoß des Elektroniktrailers verlegt.

Abb. D.2: *Handfernsteuerung für den LN300*

Wartungshinweise

Bei einer Entfernung des Interface von der Laserplattform sind folgende Punkte zu beachten:

- Vor Entfernen der Anschlußleitungen zum *Slow Control System* ist die Bedienungsmannschaft zu unterrichten. Die Leitungen können bis zur Reinstallation des Interface mit dem Blindstecker (siehe Abbildung D.3 kurzgeschlossen werden.
- Vor Lösen der Befestigungsschrauben an den Tragwinkeln ist das Interface gegen ein unbeabsichtigtes Herunterfallen zu sichern.
  Hierbei sollte mindestens eine zweite Person anwesend sein.

Abb. D.3: *Blindstecker für Wartungsarbeiten am Interface*

---

[6] Flachbandleitung, 9-polig, mit Sub-D-Verbindern

[7] LEMO 00-Kabel

Anhang E

Pinbelegung am Interface und der Krauss-Maffei-VME-E/A-Karte

Pin	Signal	Funktion
1	Schirm	GND
14	EN1	Interface Betriebsspannung ($U \gg 0\,V$ = O.K.)
2	analog GND	
15	EN2	Laser STATUS
3	analog GND	
16	EN3	Laser mon
4	analog GND	
17	EN4	Laser NTC
5	analog GND	
18	EN5	
6	analog GND	
19	EN6	
7	analog GND	
20	EN7	
8	analog GND	
21	EN8	
9	analog GND	
22		
10		
23		
11		
24		
12		
25		
13		

Tab. E.1: *Belegungsplan der Verbindung zum ADC-Modul (MD1)*
Für jeden Auslesekanal sind die Eingangs- und GND-Leitung so gelegt, daß sie im twisted-pair Kabel jeweils miteinander verdrillt sind.

Pin	Signal	Funktion
1	GND	GND
2	PA0	/Gate 0
3	PA1	/Gate 1
4	PA2	/Gate 2
5	PA3	/Gate 3
6	PA4	/Shutter (rot)
7	PA5	/Shutter (blau)
8	PA6	/set alarm (BBL3 + CaloScanner)
9	PA7	
10	PB0	/Select Bit 0 (siehe hierzu Tabelle E.3)
11	PB1	/Select Bit 1 (siehe hierzu Tabelle E.3)
12	PB2	/Select Bit 2 (siehe hierzu Tabelle E.3)
13	PB3	/Select Bit 3 (siehe hierzu Tabelle E.3)
14	PB4	/Select Pulse (siehe hierzu Tabelle E.3)
15	PB5	/Laser POWER ON
16	PB6	/Trigger Source Select (high=C. B.)
17	PB7	/Filterwheel LED's ON
18	PC0	
19	PC1	
20	PC2	
21	PC3	
22	GND	
23	GND	
24	+5 V	
25	+5 V	

Tab. E.2: *Belegungsplan der Verbindung zum ersten TTL-Modul (MD2)*
Es werden Port A und Port B als Ausgang benutzt. Alle verwendeten Kanäle sind sogejumpert, daß die Ausgangstreiber verwendet werden.
Die Ausgänge PB0 bis PB4 sind auf einen Chip im Interface geschaltet. Die Programmierung dieses Chips erspart Ausgänge auf dem TTL-Modul. Die Adressen dieses SELECT-Chips zeigt Tabelle E.3.

Adresse	Funktion
0	Laser ENABLE
1	Laser DISABLE
2	Filterrad START
3	
4	Umkehrmagnet 1, Quelle abgeschirmt
5	Umkehrmagnet 1, Quelle in Meßposition
6	Umkehrmagnet 2, Quelle abgeschirmt
7	Umkehrmagnet 2, Quelle in Meßposition
8	Umkehrmagnet 3, Quelle abgeschirmt
9	Umkehrmagnet 3, Quelle in Meßposition
10	
11	
12	
13	
14	
15	

Tab. E.3: *Adressen des SELECT-Chip*
Aufgelistet sind die Adressen mittels derer der SELECT-Chip im Interface programmiert wird.

Pin	Signal	Funktion
1	GND	GND
2	PA0	/Filterrad-Phototransistor Bit 0
3	PA1	/Filterrad-Phototransistor Bit 1
4	PA2	/Filterrad-Phototransistor Bit 2
5	PA3	/Filterrad-Phototransistor Master OK
6	PA4	/Umkehrmagnet BUSY
7	PA5	
8	PA6	/watchdog alarm
9	PA7	/local mode
10	PB0	/Timer1 out (Trigger an Laser)
11	PB1	
12	PB2	
13	PB3	
14	PB4	
15	PB5	/Counter input (vom Trigger Generator)
16	PB6	
17	PB7	
18	PC0	
19	PC1	
20	PC2	
21	PC3	
22	GND	
23	GND	
24	+5 V	
25	+5 V	

Tab. E.4: *Belegungsplan der Verbindung zum zweiten TTL-Modul (MD3)*
Port A wird im I/O-Modus als Eingang benutzt.
PB0 bis PB3 werden zum Aussenden von Triggersignalen und PB4 bis PB7 zum Zählen von Triggersignalen initialisiert.

Pin	Funktion	(S2-Pin)
1	Shutter, rot (+)	1
20	Shutter, rot (−)	2
2	Shutter, blau (+)	3
21	Shutter, blau(−)	4
3	Lüfter (+12 *V*)	5
22	Lüfter (GND)	6
4	Umkehrmagnet 1 (+)	7
23	Umkehrmagnet 1 (−), Quelle abgeschirmt	8
5	Umkehrmagnet 1 (−), Quelle in Meßposition	9
24	Umkehrmagnet 2 (+)	10
6	Umkehrmagnet 2 (−), Quelle abgeschirmt	11
25	Umkehrmagnet 2 (−), Quelle in Meßposition	12
7	Umkehrmagnet 3 (+)	13
26	Umkehrmagnet 3 (−), Quelle abgeschirmt	14
8	Umkehrmagnet 3 (−), Quelle in Meßposition	15
27	Filterradmotor (+)	16
9	Filterradmotor (−)	17
28		18
10		19
29		20

Pin	Funktion	(S1-Pin)
11		1
30		2
12		3
31		4
13		5
32		6
14		7
33		8
15		9
34	LED-power(+)	10
16	Digital GND	11
35	Filterrad-Phototransistor Bit 1	12
17	Filterrad-Phototransistor Bit 2	13
36	Filterrad-Phototransistor Bit 3	14
18	Digital GND	15
37	Filterrad-Phototransistor Master	16
19	Digital GND	17

Tab. E.5: *Belegungsplan des Plattformbuskabels*
Bei der Pinbelegung auf dem Flachbandkabel wurde auf eine gute räumliche Trennung zwischen Leistungs- und Logiksignalen geachtet. Die Leistungssignale werden auf eine Interface-interne Powerplatine (Anschluß S2) geführt; die Logiksignale entsprechend auf eine Interface-interne Logikplatine (Anschluß S1).
Die Digital GND - Leitungen (Pin 16, 18 und 19) verbessern die statische Abschirmung. Sie werden an die Emitter der Phototransistoren angeschlossen.

Literaturverzeichnis

[Ame90,92] Amersham Buchler; Zertifikate der γ-Präparate Cd109 und Co57, Braunschweig (1990 und 1992)

[Bau89] W. Bauhoff; Simulationsrechnungen mit GEANT — unveröffentlicht — I. Institut für Experimentalphysik, Universität Hamburg (1989)

[BEM92] BEMC Group; The H1 Backward Electromagnetic Calorimeter (BEMC), H1-Note (H1-08/92-233), Universität Hamburg (1992)

[BEM92b] BEMC Group; Calibration and Reconstruction of the BEMC, H1-Note (H1-08/92-234), DESY Hamburg (1992)

[Ber91] R. Bernier, et. al.; H1 Calorimeter Electronics, H1-Note (H1-07/92-237), LAL Orsay, Frankreich (1991)

[Blo87] V. Blobel; The BOS System, Dynamic memory management, Universität Hamburg (1987)

[Bon92] H.M. Fischer et.al.; Universität Bonn, Physikalisches Institut, Jahresbericht 1990-91, Bonn (1992)

[Bre92] D. Breton, et. al.; H1 Calorimeter Calibration Electronics, H1-Note (H1-04/92-219), LAL Orsay (1992)

[Buc91] W. Buchmüller, G. Ingelman (Hrsg.); Proceedings of the Workshop "Physics at HERA", DESY Hamburg (1992)

[CES92] C.E.S., Creative Electronic Systems S.A.; Katalog 1992, Geneva, Schweiz (1992)

[Cla92] F. Claassen; Untersuchungen zur Lichtsammeleffizienz der BEMC-Moduln für den HERA-H1-Detektor, Diplomarbeit, Universität Hamburg (1992)

[Des90] F. Descamps, et. al.; OS9 Software Documentation, H1-Note (H1-03/90-133), DESY Hamburg (1990)

[DES91] Deutsches Elektronen-Synchrotron, Wissenschaftlicher Jahresbericht 1990, Hamburg (1991)

[Eic90] J. Eichler, H.-J. Eichler; Laser, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York (1988)

[Eis90] E. Eisen; Untersuchungen zur Optimierung der Lichtauslese aus Blei-Szintillator-Kalorimetern unterschiedlicher Wellenlängenschieberkonfigurationen, Diplomarbeit, Universität Hamburg (1990)

[Eis92] F. Eisele, et. al.; First results from the H1 Experimentat HERA, H1-Note (H1-08/92-233), Hamburg (1992)

[Els93] E. Elsen; The H1 Trigger and Data Acquisition System, H1-Note (H1-01/93-262), DESY, Hamburg (1993)

[Esc91] M. Eschweiler; Untersuchungen zur Lichtsammeleffizienz der dreieckigen und trapezförmigen Szintillatorplatten für die BEMC-Module des HERA-H1-Detektors, Diplomarbeit, Universität Hamburg (1990)

[Fel87] J. Feltesse; Measurement of inclusive Differential Cross Sections, in [Pec87],

[Fer92] J. Ferencei et. al. ; The BEMC SINGLE ELECTRON TRIGGER (BSET), H1-Note (H1-07/92-235), Institute of Experimental Physics, Košice, ČSFR (1992)

[Fin89] G. Finsel; Untersuchungen zum Verhalten von Trioden, Tetroden und 8-stufigen Photomultipliern in Magnetfeldern bis zu 1.5 T, Diplomarbeit, Universität Hamburg (1989)

[Fle90] M. Fleischer; Entwicklung eines Lasermonitorsystemes für das rückwärtige elektromagnetische Kalorimeter des HERA H1-Detektors, Diplomarbeit, Universität Hamburg (1990)

[Fle92] M. Fleischer; Electronic Calibration of the Backward Electromagnetc Calorimeter H1-Note (H1-07/92-236), DESY, Hamburg (1992)

[Gen91] M. Gennis; Eigenschaften vom Modulen des elektromagnetischen Rückwärtskalorimeters (BEMC) des H1-Detektors, Dissertation, Universität Hamburg (1990)

[Gri91] R. Griebel; Kalibration des Laser-Monitorsystems für das elektromagnetische Rückwärts-Kalorimeter des HERA H1-Detektors, Diplomarbeit, Universität Hamburg (1991)

[Gül93] C. Gülck; Diplomarbeit in Vorbereitung, Universität Hamburg (1993)

[Gün93] S. Günther; Slow Channels and Slow Event Data Acquisition, H1-Note (H1-02/93-267), DESY, Hamburg (1993)

[Ham86] Hamamatsu; Technical Data sheet, (1986)

[Hay89] B. Haynes, et. al.; H1 Data Acquisition, H1-Note (H1-03/89-109), DESY, Hamburg (1989)

[Hay92] W. J. Haynes; Experiences at HERA with the H1 Data Acquisition System, DESY-Preprint 92-129, DESY, Hamburg (1992)

[Ing87] G. Ingelman, et. al. ; Deep Inelastic Physics and Simulation, in [Pec87], DESY Hamburg (1987)

[Kas94] H.-P. Kasselmann; Dissertation in Vorbereitung, Universität Hamburg (1994)

[KMa91] Krauss Maffei Automatisationstechnik GmbH; VME-E/A-Grundkarte mit Interrupt (Beschreibung), München (1991)

[KMa91b] Krauss Maffei Automatisationstechnik GmbH; Watch - Dog - Modul (Beschreibung), München (1991)

[KMa91c] Krauss Maffei Automatisationstechnik GmbH; Eingabemodul analog 12 Bit (Beschreibung), München (1991)

[KMa91d] Krauss Maffei Automatisationstechnik GmbH; Ein/Ausgabemodul 20 Bit (Beschreibung), München (1991)

[Koc92] J. Koch, et. al.; BEMC Electronics Documentation, Universität Hamburg (1992)

[Koc93] J. Koch; private Mitteilung (1993)

[LCo89] Laser Components; Katalog 89/90, Gröbenzell (1989)

[Lip91] M. Lipka; Untersuchungen zur Separation von Hadron-Ereignissen im elektromagnetischen Rückwärts-Kalorimeter des HERA-H1-Detektors, Diplomarbeit, Universität Hamburg (1991)

[LPh91] Laser Photonics; Operators manual, Florida, USA(1991)

[Mei91] K. Meier; private Mitteilung (1991)

[Mei91b] K. Meier, et. al.; Assignment of the Calibration Pulser Outputs, Bias Supply Channels and Analog Display Numbers to the BEMC stacks, BEMC-Note (13-91), DESY, Hamburg (1991)

[Mei92] K. Meier; private Mitteilung (1992)

[Mic87] Microware Systems Corporation; Operating System manuals, Des Moines, Iowa, USA (1987)

[Mic87b] Microware Systems Corporation; Language manuals, Des Moines, Iowa, USA (1987)

[PAW89] R. Brun, et. al.; PAW - Physics Analysis Workstation CERN, Genf (1989)

[Pec87] R. D. Peccei (Hrsg.); Proceedings of the HERA-Workshop, DESY Hamburg (1987)

[Per87] D.H. Perkins; Introduction to High Energy Physics, Addison-Wesley Pub.Inc. (1987)

[Pic94] C. Pichler; Dissertation in Vorbereitung, Universität Hamburg (1994)

[PRA88] PRA INTERNATIONAL Inc.; LN 120, Nitrogen Laser, Operating Manual, Kanada, USA(1988)

[Rat92] K. Rathje; Relativkalibration der Module des rückwärtigen elektromagnetischen Kalorimeters für den HERA/H1-Detektor mit kosmischen Muonen, Diplomarbeit, Universität Hamburg (1992)

[Röm73] Römpps Chemie-Lexikon; Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart (1973)

[Roh87] K.-H. Rohe; Elektronik für Physiker, Teubner Studienbücher, Stuttgart (1987)

[Sch93] C. Schrader; Ein Monitorsystem für das rückwärtige elektromagnetische Kalorimeter bei H1-HERA, Diplomarbeit, Universität Hamburg (1992)

[SGS83d] SGS-Thomson Microelectronics; Zilog Z8536 CIO Counter/Timer and Parallel I/O Unit, (Datenblatt), Agrate Brianza, Italien (1991)

[Smi86] H.U. Schmidt; Meßelektronik in der Kernphysik, Teubner Studienbücher, Stuttgart (1986)

[Smü90] P. Schmüser; Zur Fertigstellung von HERA, aus: Physikalische Blätter, Band 46, Nr. 12, Dezember 1990

[Sri91] S. Schrieber; Testmessungen am Laser-Monitorsystem für das elektromagnetische Rückwärts-Kalorimeter des HERA H1-Detektors, Diplomarbeit, Universität Hamburg (1991)

[Swe61] C. M. Swenne; Thyratrons, Philips Technische Bibliothek, Eindhoven, Holland (1961)

[Tay88] J. R. Taylor; Fehleranalyse, VCH, Weinheim (1988)

[Tut91] J. Tutas; Myonen im H1-Detektor, Dissertation, RWTH Aachen (1991)

[Völ92] G. Völker; Ein Detektorsystem zum Nachweis der e/γ-Komponente großer Luftschauer im UHE-Bereich, Dissertation, Institut für Kernphysik, Kernforschungszentrum Karlsruhe, Karlsruhe (1992)

[Vos88] G. A. Voss; Status of the HERA-Project, Nuclear Physics B (Proc. Suppl.) 3 (1988) 525-552 North-Holland, Amsterdam

[Wun88] R. Wunderlich; Untersuchung an einem Prototyp-Doppelmodul des elektromagnetischen Rückwärtskalorimeters für den H1-Detektor bei HERA, Diplomarbeit, Universität Hamburg (1988)

[Zbk92] D. Zarbock; Realization and results of the lasertests with the new laser (hard-sealed-tube) in november and december 1991 BEMC-Note (25-92), Universität Hamburg (1992)

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen recht herzlich bedanken, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.
Insbesondere bei:

- Herrn Prof. Dr. H. H. Duhm, sowohl für das Vertrauen, daß er mir bereits mit der Überlassung dieser Aufgabe bewies, als auch für die vielen Stunden gemeinsamen Ringens um die Ausstattung des Lasermonitorsystems;

- Herrn Prof. Dr. W. Scobel und Herrn Prof. Dr. R. Langkau für zahlreiche nützliche Gespräche und Hilfen im Zusammenhang mit Stickstofflasern und dem Lasermonitorsystem;

- Herrn Prof. Dr. K. Meier für die äußerst konstruktiven Gespräche, welche mir die Systemintegration erst ermöglichten;

- Herrn Dr. J. Ferencei der mir mit engagiertem Einsatz die Datennahme am H1-Experiment ermöglichte und seinen Kollegen von der Košice BEMC-Group;

- den derzeitigen und ehemaligen Doktoranden und Diplomanden der H1-Gruppe des I. Instituts, vor allem bei:
  Dipl.-Phys. Christian Pichler für die umfassende Hilfe bei der Datenanalyse mit spezieller H1-Software;
  Dipl.-Phys. Hans-Peter Kasselmann für die Beantwortung zahlreicher Fragen zur BEMC-Elektronik und die Überlassung zahlreicher GEP-Bilder;
  Christoph Gülck, für die gegenseitige Hilfe bei verschiedenen Arbeiten:
  Dr. Götz Korf für viele nützliche Tips im Umgang mit der IBM;

- Herrn Dipl.-Phys. H. Krause für seine Hilfe bei Problemen mit defektem elektronischen Gerät;

- Herrn Dipl.-Phys. W. Haase für die Entwicklung des Interfaces und die Verbesserung des Stickstofflasers;

- Herrn Dipl.-Ing. J. Koch und Herrn H. Buhr für die Entwicklung des Trigger-Generators und weiteren Arbeiten in Zusammenhang mit der Elektronik für das Lasermonitorsystem;

- Herrn Dipl.-Ing. N. Schirm, Herrn M. Matysek und Herrn W. Gärtner für die geleistete technische Beratung und die Konstruktion der Referenzsysteme;

- Herrn B. Leicht †, unserem stets unvergessen bleibenden Leiter der Bahrenfelder Werkstatt des I. Institutes, und seinen Mitarbeiter/innen Herrn Fleig, Frau Wicht und Herrn Wleklinski, für die erstklassige Zusammenarbeit bei Konstruktion, Fertigung und Zusammenbau aller mechanischen Teile in und um das Lasermonitorsystem;

- Frau Berghaus für das Anfertigen der vielen Zeichnungen;

- meinen Eltern

Hiermit versichere ich, die vorliegende Arbeit selbständig angefertigt und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel verwendet zu haben.

Hamburg, im Juni 1993

Dieter Zarbock