Gemeinsamer Anhang zu den Einzelvorhaben
LHCb

29. Juni 1998

1 Motivation für das LHCb Experiment

Gegenwärtig werden für den neuen Hadron - Hadron Speicherring LHC am CERN in Genf vier Experimente vorbereitet. Die beiden Projekte Atlas und CMS konzentrieren sich auf die Suche von Higgs - Bosonen, supersymmetrischen Teilchen und anderen neuen Effekten, die durch die Erweiterung des Standardmodells zu einer umfassenden Vereinheitlichung der Wechselwirkungen erwartet werden. Dies erfordert eine 4π - Abdeckung des Raumwinkels und den Betrieb bei maximaler Luminosität (bis $10^{34} cm^{-2} s^{-1}$). Mit dem dritten Experiment Alice wird das Verhalten von Materie bei höchsten Energiedichten im Schwerionenbetrieb des LHC studiert werden.

Auf Grund der hohen Schwerpunktsenergie von 14 TeV und der hohen Luminosität ist LHC aber auch eine hervorragende **Quelle für b-Quarks**, sowie für c - Quarks und τ - Leptonen, die alle projektierten e^+e^- Fabriken und auch den pp Collider Tevatron am Fermilab bei weitem an Produktionsrate übertrifft. So können bei LHCb bei einer für die B - Physik optimierten Luminosität von nur $2 \star 10^{32} cm^{-2} s^{-1}$ etwa $5 \star 10^{11} B_d$ und $10^{11} B_s$ Mesonen Paare sowie 10^{13} charmed Meson Paare pro Jahr (10^7s) erzeugt werden. Daneben werden auch $5 \star 10^{10} \tau$ -Paare produziert. Das ist für b-Quarks eine Steigerung um mehr als drei Grössenordnungen verglichen mit den e^+e^- B - Fabriken und immer noch einen Faktor 15 mehr als bei dem am Fermilab projektierten Ausbau des $p\bar{p}$ - Speicherrings bis zum Jahr 2004, wo ein dediziertes Vorwärtsspektrometer für B-Physik (BTeV) zur Diskussion steht [8].

Diese hohen Produktionsraten stellen nun ein **grosses physikalisches Potential** dar. Insbesondere in der Flavourmischung und der Verletzung der Flavourquantenzahlen werden signifikante Abweichungen durch Supersymmetrie in GUTs und anderen neuen Theorien gegenüber dem Standardmodell vorausgesagt [13]. Man erwartet auch, dass nach dem

Erfolg der Präzisionsmessungen der elektroschwachen Parametern bei LEP, Untersuchungen höchster Genauigkeit im Bereich der B - Physik die nächste Generation der stringenten Tests des Standardmodelles darstellen werden. Damit besteht eine grosse Chance für einen Zugang zu neuen physikalischen Effekten jenseits des Standardmodells.

Im Mittelpunkt der bisherigen Diskussion steht dabei die CP-Verletzung im System der B-Mesonen: Um den Ursprung dieser CP-Verletzung zu klären, bedarf es einer präzisen und vor allem redundanten Messung *aller* relevanten Parameter, um zu prüfen, ob diese mit dem Standardmodell verträglich sind, oder aber ob die Ursache für die CP - Verletzung ausserhalb des Standardmodells liegt, was heute durchaus in Betracht gezogen werden muss. Die Grösse der CP-Verletzung, die für den Baryonenüberschuss im Universum erforderlich ist, kann nämlich nur mit dem CKM - Mechanismus des Standardmodells allein nicht erzeugt werden [15].

Neben der Messung von Parametern im B-Sektor können auch die Mischungen im Charm-Sektor gemessen werden.

Aber auch die seltenen Zerfälle der B- und Charm- Mesonen sowie der τ - Leptonen sind von herausragender Bedeutung für die Suche nach neuer Physik bei LHC z.B. die Suche nach "flavour changing neutral currents".

Die beiden grossen Detektoren **Atlas und CMS sind nicht in der Lage, dieses grosse physikalische Potential voll auszuschöpfen:** Während der Anfangsphase des Betriebes von LHC mit reduzierter Luminosität von ca. 10^{33} cm^{-2} s^{-1} (etwa 10 % des nominellen Wertes), die es auch erlaubt zusätzliche Lagen von Vertexdetektoren bei sehr kleinen Strahlabständen einzusetzen, können zwar einzelne Parameter ebenfalls recht genau gemessen werden. In einer Studie der Atlas Kollaboration [5] wird die Messgenauigkeit von $\sin 2\beta$ bei einer zeitabhängigen Analyse der CP - Asymmetrie im Kanal $B_d^0 \to J/\psi K_s^0$ für eine Messzeit von einem Jahr mit 0.018 angegeben. Ebenfalls können die $B_s\bar{B}_s$ - Oszillationen nachgewiesen werden, falls die Oszillationsfrequenz nicht zu hoch ist. In der erwähnten Referenz [5] wird gezeigt, dass bei 95%iger Korrektheit ein x_s von maximal 37 im Kanal $B_s^0 \to D_s^- \pi^+$ nachgewiesen werden kann.

Bereits die Messung von $\sin 2\alpha$ mit Hilfe der CP - Zerfallsasymmetrie des Kanals $B_d^0 \to \pi^- \pi^+$ ist jedoch mit grösseren Schwierigkeiten verbunden, da einerseits ohne Teilchenidentifikation ein Untergrund von B - Zerfällen in Kaonen von etwa der gleichen Grössenordnung existiert (siehe zum Beispiel eine Studie von CMS [7]), wobei etwa der Kanal $B_d^0 \to K^- \pi^+$ ebenfalls eine unbekannte CP - Verletzung zeigen kann. Andererseits wird ein störender "Pinguin"-Beitrag unbekannter Grösse zu $B_d^0 \to \pi^- \pi^+$ erwartet, der nur durch eine komplette Isospinanalyse bestimmt und eliminiert werden kann, was ebenfalls eine gute π / K Trennung vorraussetzt. So wird schliesslich bei Atlas ein theoretischer Fehler für $\sin 2\alpha$ von 0.2 bis 0.3 [6] erwartet, was trotz der zehnfach höheren Statistik gegenüber den früheren Experimenten BaBar, HERA-B und Belle keine Verbesserung darstellt.

Der dritte Winkel γ wird zum Beispiel mit dem Kanal $B_s \to D_s^+ K^- +$ c.c. bestimmt, welcher einem etwa zehnfach stärkeren Untergrund von $B_s \to D_s^+ \pi^-$ ausgesetzt ist, und dessen Analyse eine Teilchenidentifikation somit zwingend erfordert. Eine solche wird weiter für die Untersuchung der meisten anderen seltenen Kanäle benötigt. Einige Beispiele dazu werden im übernächsten Abschnitt besprochen.

Eine optimale Ausnützung des hochinteressanten Bereichs der B - Physik kann somit nur mit einem **dedizierten Experiment** erreicht werden, wie das auch vom LHCC sowie dem Research Board empfohlen wurde. Ein solcher Detektor soll gegenüber Atlas und CMS folgende spezielle Eigenschaften haben:

- Die Luminosität kann an die Erfordernisse des Experiments über die gesamte Messzeit optimal und unabhängig vom Betriebszustand von LHC angepasst werden.
- Ein flexibles, redundantes Triggersystem ist in der Lage, diese 'weiche Physik' optimal zu nutzen.
- Ein Vertexsystem misst Sekundärvertizes mit exzellenter Auflösung.
- Gute Teilchenidentifizierung für die Trennung von π- und K-Mesonen wird für die präzise Messung aller CP - verletzenden Parameter und die Selektion seltener Zerfälle benötigt.

Ein offenes Vorwärtsspektrometer wie der vorgeschlagene LHCb Detektor genügt all diesen Anforderungen in optimaler Weise. Im Gegensatz dazu erfordern die Hauptziele von Atlas und CMS den Betrieb bei jeweils maximaler Luminosität, eine Optimierung der Runbedingungen zur Messung weicher Physik ist weder geplant noch zweckmässig. Auch muss die B - Physik mit dem inklusiven Myontrigger detektiert werden, der nur bei kleiner Luminosität mit akzeptabler Rate und genügend kleinem Schwellwert betrieben werden kann. Weiter sind die vorgesehenen Vertexdetektoren nahe am Strahlrohr nur bei kleiner Strahlenbelastung einsetzbar und daher explizit nur für die Phase kleiner Luminosität bei Beginn des LHC - Betriebes vorgesehen. Schliesslich besitzen beide Detektoren keine Teilchenidentifizierung für die Unterscheidung von π und K.

Im weiteren ist bei nominaler LHC - Luminosität die Strahlenbelastung bei grossen Rapiditäten ($\eta > 2.0$) so hoch, dass nur sehr grobe strahlenbeständige Detektoren zum Einsatz kommen können. Daher wird LHCb das einzige Experiment sein, das den Vorwärtsbereich bis zu Laborwinkeln von 10 mrad mit einer exzellenten Instrumentierung adäquat abdecken kann. Auch wenn z.B. die *diffraktive Physik* bisher nicht im Mittelpunkt des Interesses steht, ist die Möglichkeit eines experimentellen Zuganges bei LHC doch wünschenswert. In den beiden Detektoren Atlas und CMS existiert für Rapiditäten $|\eta| \geq 2.5$ nur eine sehr grobe Kalorimetrie, die die Untersuchung dieser Art von Physik nicht erlaubt. LHCb hingegen überdeckt Rapiditäten zwischen 1.9 und 5.0 und ergänzt so die grossen Experimente optimal. Zusätzlich könnte zu einem späteren Zeitpunkt LHCb mit einem Proton - Vorwärtsspektrometer ausgestattet werden.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass ein grosses physikalisches Potential bei LHC nur mit einem dedizierten Experiment ausgeschöpft werden kann, das komplementär zu den Grossdetektoren Atlas und CMS ist. Dabei zielen die Fragestellungen vor allem auf Physik jenseits des Standardmodells, mit deren Untersuchung mit den Experimenten vor LHC wie BABAR, BELLE, HERA-B, CDF und D0 zwar begonnen werden kann, für die LHCb aber eine vollkommen neue Qualität bringen wird.

2 Der geplante Detektor LHCb

Der Aufbau eines offenes Vorwärtsspektrometers entlang der Strahlachse hat folgende Vorteile und bietet sich damit offensichtlich an, um den im vorherigen Abschnitt erwähnten experimentellen Anforderungen gerecht zu werden:

- Die Paarerzeugung schwerer Quarks in einem pp - Speicherring in Strahlrichtung ist am wahrscheinlichsten.
- Diese Geometrie hat nur relativ kleine Detektorflächen und kann daher leicht instrumentiert werden.
- Es ist genügend Raum für eine gute Teilchenidentifizierung vorhanden.
- Die offene Geometrie und der daraus sich ergebende leichtere *experimentelle Zugang* (sowie ebenfalls die *geringere Strahlenbelastung*) ergeben einen nicht zu unterschätzenden experimentellen Vorteil, der es ermöglicht, die dannzumal modernsten technischen Möglichkeiten, vor allem in der hochintegrierten Elektronik einzusetzen.
- Der einfache Zugang erlaubt es, den Detektor im Laufe seiner Betriebsjahre ohne grossen Aufwand den Anforderungen und der Erfahrung entsprechend anzupassen. Insbesondere besteht ein *ständiges erhebliches Ausbaupotential*, für zukünftige strahlenhärtere Detektortechnik, die es erlauben würde, sehr seltene Kanäle bei höherer Luminosität zu detektieren.

Das geplante LHCb Experiment hat einen ähnlichen Aufbau wie HERA-B, was die vergleichbaren kinematischen Verhältnisse reflektiert. Auch die bei LHCb erwarteten Teilchenraten sind nicht höher als bei HERA-B, so dass Detektoren, die bei HERA-B eingesetzt werden können auch für LHCb geeignet sind (mit Ausnahme der Anpassung der Auslese an die höhere bunch crossing Frequenz von 40 MHz verglichen mit 10 MHz bei HERA-B).

Damit wird auch die *mit HERA-B gewonnene Erfahrung* mit dem Betrieb von Detektoren in intensiven hadronischen Teilchenflussdichten für ein erfolgreiches Projekt am LHC extrem wichtig. HERA-B kann in diesem Sinne zusätzlich zu seiner physikalischen Zielsetzung als eigentliches Entwicklungsprogramm für LHCb gelten. Die Fortsetzung des HERA-B Programms bei LHCb hat daher eine zwingende innere Logik.

Der Aufbau des geplanten Experimentes ist in einem technischen Proposal[4], das dem LHCC im Februar 1998 eingereicht wurde, im Detail beschrieben. Anhand von Figur 1 kann er wie folgt zusammengefasst werden. Der Vertexdetektor besteht aus 17 senkrecht zur Strahlachse aufgestellten Stationen, die je aus einer Ebene mit kreissegmentförmigen Streifen zur Messung der radialen Koordinate sowie einer Ebene mit radial angeordneten Streifen zur Messung der ϕ - Koordinate bestehen. Die erreichbare Auflösung in der Eigenzeit des B - Mesons beträgt als Beispiel etwa 0.042 ps im für die B_s Oszillationen relevanten Kanal $B_s \to D_s^- \pi^+$. Im Vergleich dazu hat ATLAS in der Option für kleine Luminosität eine Eigenzeitauflösung im selben Kanal von 0.069 ps [5].

Nach dem Vertexdetektor folgt ein magnetisches Spektrometer, das ganz analog zu HERA-B aufgebaut ist. Die Selektion von relevanten Endzuständen beruht wesentlich darauf, dass schmale Mesonen ($J/\psi, K_s^0, D^0$) durch die invariante Masse ihrer Zerfallsprodukte rekonstruiert werden. Deshalb braucht man eine gute Impulsauflösung, die durch 11 Spurkammerstationen gewährleistet wird. Sie bestehen jeweils aus einem inneren Teil, der besonders hohen Teilchenraten standhalten muss, und wofür der Einsatz von GEM - MSGC vorgeshen ist. Der äussere Teil besteht aus einer Honigwabenstruktur von jeweils eindrahtigen Driftzellen. Die erwartete Auflösung in der invarianten Masse zum Beispiel für $B_d \to \pi^+\pi^-$ beträgt 14 MeV/c^2, während für denselben Kanal diese bei CMS bei 27 MeV/c^2 liegt [7].

Daran anschliessend folgt ein elektromagnetisches und ein hadronisches Kalorimeter aus Blei- und Szintillatorplatten. Sie dienen beide vor allem für Triggeraufgaben, das elektromagnetische Kalorimeter zusätzlich für Teilchenidentifikation von Elektronen und der Rekonstruktion von π^0's. Hinter den Kalorimetern folgt schliesslich noch ein Muonsystem. Elektron- und Muonsystem sind auch wichtig für das sogenannte "tagging" das heisst die Feststellung, bei welchem der beiden erzeugten B - Mesonen es sich um das B^0 und bei welchem um das $\bar{B}^0$ handelt.

Zwei RICH–Systeme vor und nach dem magnetischen Spektrometer dienen der Unterscheidung von Kaonen und Pionen über den gesamten kinematischen Bereich. Um im diesem weiten Bereich gute Resultate zu bekommen, ist es notwendig, zwei verschiedene Detektoren mit drei verschiedenen Brechungsindizes einzusetzen (siehe auch[3]).

Besonders anspruchsvoll gestaltet sich auch das Triggersystem, da sich viele interessante Zerfälle kinematisch nur relativ wenig vom Untergrund der um einen Faktor 200 häufigeren Ereignisse mit nur leichten Quarks unterscheiden. Einfache, inklusive Leptontrigger sind nicht genügend selektiv. Deshalb soll die spezielle Eigenschaft der mehrfachen

Vertices eines typischen B - Ereignisses im Trigger eine zentrale Rolle spielen.

Da jedoch die gesamte Datenmenge eines Vertextriggers viel zu hoch ist, um sie mit 40 MHz auszulesen und zu verarbeiten, muss zuerst ein "Pretrigger" (Level 0) vorgeschaltet werden, der die Tatsache auswerten soll, dass Elektronen, Muonen oder Hadronen aus B - Zerfällen einen höheren transversalen Impuls aufweisen, und der die Signale der Kalorimeter und des Muonsystemes entsprechend verarbeiten wird.

Dieser Pretrigger reduziert die Ereignisrate auf 1 MHz, der Vertextrigger (Level 1) schliesslich auf 40 kHz. Ebenfalls auf Level 1 soll ein Tracktrigger die Impulsmessung des Level 0 Triggers verbessern. Nach diesem zweistufigen Hardwaretriggersystem werden die Daten in ein relativ konventionelles Datenakquisitionssystem ausgelesen werden können, das auch noch einen weiteren zweistufigen Softwaretrigger beinhaltet. Um die interessanten B - Ereignisse zu selektionieren, ist auf dieser Stufe bereits eine Analyse der Zerfallsketten und damit die Verwendung der Spurkammerinformation notwendig. Die im Level 1 Trigger erarbeitete Spurkammerinformation soll hier das Erkennen der Spuren vereinfachen (siehe auch detaillierter Arbeitsbericht der Triggergruppe [2]).

Das geplante Experiment LHCb erfüllt damit die experimentellen Anforderungen an die B - Physik bei LHC, die im vorhergehenden Abschnitt gefordert wurden:

- Gemäss Studien der LHC Beschleunigergruppe ist es möglich, durch Vergrössern des Strahlquerschnittes eine gegenüber den anderen Experimenten bis um einen Faktor 100 kleinere *Luminosität einzustellen.* Dies ermöglicht es, auch bei nominellen LHC Parametern noch mit einer Wechselwirkungsrate von ca. 12 MHz zu laufen, was gemäss Vorstudien die optimale Ausbeute für analysierbare B - Mesonen liefert.

- Der *mehrstufige Trigger* verarbeitet im Gegensatz zu den beiden Detektoren Atlas und CMS die Information *aller* Detektorkomponenten (ausser dem RICH) bereits auf früher Stufe. Er erlaubt so eine flexible Anpassung an verschiedenste zu selektionierende Endzustände. Eine vernünftige Reserve bei den zu verarbeitenden Raten erlaubt es, auch auf neue physikalische Fragestellungen oder auf unerwartet hohen Untergrund adäquat zu reagieren.

- *B - Mesonen Zerfallsvertex:* Die in der Nähe der Strahlachse produzierten B - Mesonen haben dank ihrer Prokuktionskinematik einen hohen Impuls im Laborsystem, und legen demnach in ihrer Lebendauer einen relativ langen und deshalb leichter genau messbaren Weg (im Mittel 7 mm) zurück. Dies führt auch zu einem merklich kleineren Einfluss der Vielfachstreuung auf die Messgenauigkeit (invariante Massen, Eigenzeitauflösung). Eine gute Eigenzeitauflösung erlaubt es neben einer effizienteren Ereignisselektion auf Grund des sekundären Vertex auch, den Oszillationsparameter x_s der B_s^0 - Mesonen bis zu einer Grösse von 75 zu messen - erheblich besser als Atlas in der Option für kleine Luminositäten. Im weiteren ist geplant, sekundäre Vertices bereits im Trigger zu detektieren, um die interessanten Ereignisse von den auch bei LHC immer noch etwa 200 mal häufiger produzierten leichten Quarks zu trennen.

- Die beiden RICH–Detektoren erfüllen die Anforderungen an die *Trennung von Pionen und Kaonen* optimal, wohingegen weder bei Atlas noch bei CMS eine solche Möglichkeit gegeben ist.

3 Beispiele für das physikalische Potential von LHCb

Messung der Winkel im Unitaritätsdreieck: Nach dem vorraussichtlichen Nachweis der CP - Verletzung im B - System durch die Vorgängerexperimente BaBar, Belle und HERA-B in der Zerfallsasymmetrie im Kanal $B_d \to \psi K_s$ (und damit einer ersten Bestimmung von $\sin 2\beta$), werden tiefergehende Untersuchungen notwendig werden, insbesondere der Nachweis des Effektes in anderen Kanälen. Im Zentrum des Interesses steht dabei, die Unitarität der CKM - Matrix zu überprüfen, wobei allfällige Abweichungen Hinweise auf neue Physik geben könnten.

Dazu sollen alle Winkel des Dreiecks möglichst genau gemessen werden, wobei wie erwähnt Atlas und CMS zu β einen relativ guten Beitrag leisten werden können, während Präzisionsmessungen von α und γ im Gegensatz dazu erhebliche Schwierigkeiten bieten.

Bei LHCb kann in der Analyse des Zerfalls $B_d \to \pi^+\pi^-$ mit Hilfe der RICH - Zähler eine Kontamination der CP - Zerfallsasymmetrie durch $K\pi$ und KK - Untergrund verhindert werden. Bei einer Akzeptanz von 76% kann ein Untergrundanteil von 21% erreicht werden, bei einer Akzeptanz von 43% wird der Untergrund vollständig unterdrückt. Eine zusätzliche Unsicherheit besteht in noch unbekannten "Pinguin"- Anteilen, die im Prinzip mit Hilfe einer vollständigen Isospinanalyse für die Kanäle $B \to \pi\pi$ bestimmt werden könnte [10]. Kürzlich wurde verschiedentlich auch vorgeschlagen (für eine Zusammenfassung siehe in [14]), diese Anteile aus der gleichzeitigen Messung der Verzweigungsverhältnisse $B^+ \to \pi^+K^0, B_d^0 \to \pi^-K^+, \bar{B}_d^0 \to \pi^+K^-, B_d^0 \to \pi^+\pi^-$ und $\bar{B}_d^0 \to \pi^+\pi^-$, sowie der CP - Zerfallsasymmetrie in $B_d \to \pi^+\pi^-$ unter der Annahme einer exakten SU(3) Symmetrie zu separieren.

Man erwartet, dass mit LHCb etwa 6900 getaggte $B_d \to \pi^+\pi^-$ Ereignisse pro Jahr registriert werden können, und so eine weitgehend modellunabhängige Bestimmung von $\sin 2\alpha$ mit einer - statistisch dominierten - Genauigkeit von 0.039 erreicht werden kann, während Atlas ohne Teilchenidentifikation wie gesagt nur eine solche von 0.3 erreichen könnte.

Die Messung von γ ist wegen der notwendigen Teilchenidentifizierung wie bereits erwähnt nur bei LHCb möglich. Andere Möglichkeiten, den Winkel γ zu messen, sind zum Beispiel in [9] beschrieben.

"Physik ausserhalb des Standardmodells" könnte sich unter anderem in zusätzlichen Phasen Θ_d (Θ_s) in der B_d (B_s) Mischung äussern. Dies würde zwar simultane Korrekturen zu allen drei Winkeln des Unitaritätsdreiecks hervorrufen, sodass die Winkelsumme von π erhalten bliebe. Es würde aber zu einer Inkonsistenz mit dessen Seiten führen [11], welche natürlich nur bei vollständiger und genauer Bestimmung aller Seiten und Winkel erkennbar sein wird. LHCb ist das einzige projektierte Experiment, bei dem dies mit der notwendigen Genauigkeit möglich sein wird.

Eine solche Phase Θ_s könnte zum Beispiel durch Beobachtung einer signifikanten CP - Zerfallsasymmetrie im Kanal $B_s \rightarrow \Phi\Psi$ entdeckt werden, die direkt propotional zu $\sin(2(\epsilon + \Theta_s))$ ist, wobei $\epsilon = \eta\lambda^2$ der kleine CP - verletzende Anteil des Standardmodelles ist ($\eta \approx 0.3, \lambda = 0.22$ sind Entwicklungsparameter der Wolfensteinparametrisierung der CKM - Matrix). Die Aussichten für die Messung dieser Asymmetrie hängt natürlich von der Grösse des Mischungsparameters x_s ab. Auf jeden Fall wird aber das sorgfältige Experimentieren mit höchster Genauigkeit in der Eigenzeitmessung dieser B_s Zerfälle längere Zeit in Anspruch nehmen, und kann kaum in der kurzen Anfangsphase mit niedrigerer Luminosität in Atlas oder CMS erledigt werden.

Ähnliches Interesse kommt dem Vergleich der Zerfallsasymmetrien der beiden Kanäle $B_d \rightarrow \Psi K_s$ und $B_d \rightarrow \Phi K_s$ zu, die sich im Standardmodell gerade um die Grösse ϵ unterscheiden sollten [12].

Suche nach seltenen Zerfällen: Der Übergang $b \rightarrow s\gamma$ wurde von CLEO sowohl im Kanal $B \rightarrow K^{\star}\gamma$ als auch in einer inklusiven Messung nachgewiesen, und ist mit der Erwartung des Standardmodells im Prinzip knapp verträglich. Es sind aber noch Korrekturen in der relativen Grössenordnung O(1) möglich, die von supersymmetrischen GUTs hervorgerufen werden [13]. Die Chancen einer Detektion dieser Effekte durch LHCb werden gegenwärtig studiert.

Eine interessante Beobachtung [16] zum Test von supersymmetrischen Effekten besteht in der Messung der Zerfallsenergieasymmetrie der Leptonen, gemessen im B - Meson Ruhesystem für Zerfälle der Art $b \rightarrow sl^+l^-$, wo Effekte von 50 bis 70% erwartet werden.

Schliesslich sei die Suche nach dem Zerfall $\tau \rightarrow 3\mu$ erwähnt, der eine Verletzung der Flavourquantenzahlen signalisiert. LHCb könnte diesen Zerfall bis zu einem Verzweigungsverhältnis von etwa 10^{-9} nachweisen (bei einer Luminosität von $1.5 \star 10^{33}$; das ist ein Faktor 20-30 besser als bei einer B-Fabrik).

Das Studium all dieser Möglichkeiten mit dem LHCb Detektor ist selbstverständlich noch in Gange. Die Attraktivität von LHCb liegt bei den seltenen Zerfällen darin, dass in vielen Kanälen positive Signale selbst im Standardmodell erwartet werden, so dass die Messung seltener Zerfälle über die gewöhnliche Bestimmung von oberen Grenzen hinausgeht. Zudem kann bei diesen Zerfällen eine besonders grosse Sensitivität auf 'neue Physik' erwartet werden [13].

4 Projektplanung

Der Kollaboration LHCb gehören im Moment 40 Institutionen aus 13 Ländern an. Im Herbst 1995 hatte sie dem Forschungskomittee des CERN für LHC – Projekte (LHCC) einen "Letter of Intent" [1] eingereicht, nachdem die offizielle CERN Politik ein dediziertes Experiment für B - Physik bereits zu Beginn des LHC - Betriebes als dringend wünschenswert betrachtete.

Im Februar 1996 ermutigte das LHCC die Kollaboration, am Projekt weiterzuarbeiten, und insbesondere die beiden als kritisch angesehenen Bereiche - Trigger und Teilchenidentifikation - zu vertiefen. Nach intensiven Studien im Jahre 1996 lieferte die Kollaboration im Dezember 1996 [3] bzw. im Januar 1997 [2] zu den beiden Bereichen einen detaillierten Bericht ab.

Nach weiteren Studien wurde schliesslich im Februar 1998 das technische Proposal (TP)[4] eingereicht. Das LHCC hat dieses vorerst gut aufgenommen, und verschiedene Fragen gestellt, die wir in der Zwischenzeit offenbar zufriedenstellend beantworten konnten.

Es besteht die begründete Hoffnung, dass das Projekt vom LHCC in seiner Sitzung Anfang Juli 1998 definitiv empfohlen und vom Research Board im September 1998 genehmigt werden wird.

In den nächsten zwei Jahren soll nun durch intensive Forschungs- und Entwicklungsarbeiten das Experiment im Detail spezifiziert werden. In den Jahren 2001 bis 2003 sollen dann die einzelnen Komponenten konstruiert, um dann in 2004 bei CERN eingebaut und rechtzeitig für den Start von LHC in Betrieb genommen zu werden.

4.1 Vorgesehene Gesamtinvestitionen

Komponente	geschätzte Kosten 1998
	MSFr.
Magnet	16.5
Vertex D./Veto C.	5.1
Outer Tracker	8.5
Inner Tracker	4.0
RICH	7.0
ECAL	10.5
Preshower	1.9
HCAL	4.5
Muon Chambers	10.0
Data Handling	10.3
Trigger	3.7
Infrastructure	4.0
Total	**86.0**

4.2 Gemeinsame Aktivitäten der Kollaboration

Als gemeinsame Aktivitäten der Kollaboration sind folgende Investitionen im Umfang von total 24.5 MSFr geplant (29 MDM[1], 28.5% der Gesamtkosten von 86 MSFr.):

1. Konstruktion und Bau des supraleitenden Magneten (geschätzte Kosten 16.5 MSFr)
2. Verkabelung und Gasleitungen (2 MSFr.)
3. Online Computer Farms, Kontrollsysteme, Serverrechner, Konsolen im Kontrollraum (6 MSFr.)

Für die in der Entwicklungsphase 1999 und 2000 anfallenden kleineren Kosten erwartet die Kollaboration von jedem Institut einen Beitrag von 8'000 SFr. pro Jahr.

[1] als Umrechnungskurs wird auch in den folgenden Tabellen jeweils 1.18 DM / SFr. verwendet

4.3 Die Kollaboranten und ihre Verantwortlichkeiten

Komponente	**Institut**
Magnet	CERN
Vertex D./ Veto C.	CERN, Free Univ. of Amsterdam, Glasgow, Kiev, Lausanne, Liverpool, MPI-Heidelberg, NIKHEF-FOM
Inner Tracker	Uni-Heidelberg, Santiago de Compostela
Outer Tracker	Dresden, Free Univ. of Amsterdam, Freiburg, Humboldt, Univ. of Amsterdam, IHPE/Beijing, NIKHEF-FOM, Utrecht
RICH	Cambridge, CERN, Genova, Glasgow, Imperial College, Milano, Oxford
ECAL/Preshower	Bologna, Clermont-Ferrand, INR, ITEP, Lebedev, Milano, Orsay
HCAL	Bucharest, IHEP, Kharkov
Muon Chambers	Beijing, CERN, Hefei, Nanjing, PNPI, Roma I, Roma II, Shandong, Rio de Janeiro, Virginia
DAQ/ Trigger/ Offline	Bologna, Cambridge, CERN, Clermont-Ferrand, Espoo-Vantaa, MPI-Heidelberg, Uni-Heidelberg, Lausanne, Lebedev, Marseille, NIKHEF-FOM, Orsay, Oxford, Rice, Virginia

5 Aufgabenverteilung der beteiligten deutschen Institute

Zur Zeit sind in Deutschland die Universitäten Dresden, Heidelberg, die Humboldt - Universität zu Berlin sowie das Max Planck Institut für Kernphysik in Heidelberg an dem Projekt aktiv beteiligt. Alle Aktivitäten konzentrieren sich auf die verschiedenen Spurdetektorsysteme (innere und äussere Spurkammern, Vertexdetektoren), sowie die dazugehörende Trigger- und Ausleseelektronik.

Mit Ausnahme von Dresden sind diese Institute beim Bau des HERA–B Detektors stark engagiert und können die dort gewonnenen Erfahrungen im Detektorbau und später bei der Datennahme und Analyse unmittelbar in das LHCb Projekt einbringen. Mit den mit der Kollaboration abgestimmten Beiträgen (siehe unten) werden diese wertvollen Erfahrungen voll der LHCb Kollaboration zu gute kommen.

Auch physikalisch bietet sich die Fortsetzung des HERA–B Programmes bei LHCb natürlicherweise an.

Die **Humboldt Universität zu Berlin** will ihre bei HERA-B gewonnenen Erfahrungen beim Bau des äusseren Spurkammersystems (OTR) inklusive der notwendigen Infrastruktur einbringen. In Zusammenarbeit mit der **Universität Dresden** sollen dabei in der Grössenordnung 20% des OTR Systems gebaut werden. Dabei kommt dem Projekt auch die Erfahrung der Humboldt Universität in Rekonstruktionssoftware und der Universität Dresden in Elektronik zu gute.

Die **Universität Heidelberg** hat sich bereits bei HERA-B zentral am inneren Spurkammersystem engagiert, und möchte ihre so gewonnene Erfahrung im Projekt LHCb anwenden. Zusammen mit einer kleineren Gruppe der Univ. Santiago de Compostela in Spanien (Prof. B. Adeva) soll sie das vollständige innere Spurkammersystem in MSGC-GEM Technik aufbauen. Die spanische Gruppe kann etwa 30% der Detektoren (Investitionsmittel im Umfang von umgerechnet 1.2 MDM) beisteuern.

Ausserdem soll in Zusammenarbeit mit dem MPI Heidelberg die notwendige spezifische Elektronik (vor allem Vorverstärker und Zeitfilter) für das MSGC System entwickelt werden.

Das physikalische Institut hat sich daneben bereits jetzt auf die Entwicklung des Triggersystems konzentriert: Sowohl die Verantwortung für die Triggersimulation als auch die gesamte Triggerkoordination wurde bisher durch Mitglieder der Universität Heidelberg wahrgenommen.

Das **Max Planck Institut für Kernphysik in Heidelberg** wird seine bei HERA-B gewonnene Erfahrung mit der Entwicklung von Ausleseelektronik nutzen, um die bei LHCb notwendigen strahlenharten Chips zu entwickeln. Dabei sollen sowohl der Vertexdetektor als auch die inneren Spurkammern und der RICH mit derselben Elektronik ausgerüstet werden. Neben der generellen Entwicklungsverantwortung des MPI werden die Gruppen des RICH und des inneren Trackers ihre spezifischen Schaltungsteile selbst entwickeln, die dann am gemeinsam betriebenen ASIC Labor in Heidelberg zu den endgültigen Chips zusammengebracht werden.

Im Weiteren wird sich das MPI Heidelberg während der Aufbauphase massiv im Bereich Vertexdetektor, Trigger, Datenerfassung und gegebenenfalls auch beim Bau der ersten Spurkammer engagieren, für die es gute Argumente gibt, sie in Siliziumtechnik zu realisieren.

Längerfristig ist ausserdem die Universität Freiburg an der Kollaboration mit LHCb interessiert, sie stellt aber vorläufig keinen Antrag.

5.1 Mögliche Erweiterung der deutschen Beteiligung bei LHCb

Am Institut für Hochenergiephysik in Heidelberg wird zum 1. Juli 1998 ein neuer Lehrstuhl (Nachfolge Prof. Tittel) durch Herrn Volker Lindenstruth (vorher Berkeley) besetzt, der als Physiker den Schwerpunkt 'Hardware Informatik' vertritt. Herr Lindenstruth ist Mitglied der Fakultät für Physik und partizipiert in vollem Umfang an den finanziellen und personellen Ressourcen des Instituts, hat also eine gute Grundausstattung.

Herr Lindenstruth ist Experte auf dem Gebiet schneller Netzwerke und Rechnerverbünde. Er hat die Absicht sich an einem Projekt der Grundlagenforschung bei LHC zu beteiligen, entweder LHCb oder ALICE. Bei ersten Gesprächen mit der LHCb – Kollaboration stellten sich grosse gemeinsame Interessen heraus. Herr Lindenstruth würde bei einer Entscheidung für LHCb sehr gerne die Verantwortung für die Entwicklung und den Bau des Level 1 Vertex Triggers übernehmen. Das Kollaborationsmanagement und die anderen deutschen Gruppen würden ein solches Engagement sehr begrüssen.

Herr Lindenstruth wird sich beide LHC Projekte in den nächsten Monaten genau ansehen und bei einer Entscheidung für LHCb rechtzeitig zur Sitzung des Gutachterausschusses einen entsprechenden Antrag stellen. Die bisherige Gesamtplanung der deutschen Gruppen schliesst seinen möglichen Beitrag noch nicht ein.

5.2 Zusammenstellung der beim BMBF beantragten Investitionen [kDM]

		Forschung und Entwicklung 1999–2000	Investitionen 2001–2005
Physikalisches Institut Heidelberg	innere Spurkammern	157	3000
Max Planck Institut Heidelberg	Ausleseelektronik,	350	2100
Humboldt Universität Berlin	äussere Spurkammern	50	1700
Universität Dresden	äussere Spurkammern	80	1000
gemeinsame Kosten Forschung und Entw.	10 kDM/Jahr/Institut	80	
gemeinsame Investitionen 28.5%			3110
Total		717	10910

Die Mittel für 1999 und 2000 im Umfang von total 717 kDM werden jetzt beantragt. Die Investitionsmittel für den Bau des Detektors werden auf die Förderperiode ab 1.4.2001 hin beantragt werden. Für die Jahre nach 2005 plant das physikalische Institut der Universität Heidelberg noch den Bau des vorerst zurückgestellten Spurkammertriggers (500 kDM).

Literatur

[1] LHC-B Collaboration, *Letter of Intent*, CERN/LHCC-95-5, August 1995.

[2] LHC-B Collaboration, *LHC-B Trigger and Dataacquisition Progress Report*, internal note LHCB-TRIG-97-005, and
Trigger and Data Acquisition System for the LHC-B Experiment, CERN/LHCC 97-14.

[3] LHC-B Collaboration, *Status and Plans for the RICH detector of LHC-B*, CERN/LHCC 96-38.

[4] LHCb Collaboration, *A Large Hadron Collider Beauty Experiment for Precision Measurements of CP – Violation and Rare Decays*, Technical Proposal, CERN/LHCC 98-4.

[5] P. Eerola, *B-physics potential of ATLAS: an update*, Atlas internal note PHYSICS-No-094, 27. Sept. 1996.

[6] A. Nisati, *B-physics in ATLAS*, Workshop Beauty95, Oxford, July 1995.

[7] P. Pralavorio, *CMS performance for CP Violation measurements*, 2nd International Conference on Hyperon Charm and Beauty Hadrons, Montreal, August 1996.

[8] J. Butler, S. Stone et al., *BTeV: An Expression of Interest for a Heavy Quark Program at C0*, Fermilab, June 1997.

[9] D. Atwood, I. Dunietz and A. Sony, Phys. Rev. Lett. **78**, 3260 (1997).

[10] M. Gronau and D. London, Phys. Rev. Lett. **65**, 3381 (1990).

[11] M. Gronau and D. London, preprint hep-ph/9608340, Phys. Rev. **D55**, 2845 (1997).

[12] J.P. Silva and L. Wolfenstein, preprint hep-ph/9610208, Phys. Rev. **D55**, 5333 (1997).

[13] R. Barbieri, *Unified Theories*, Vortrag am Lepton Photon Symposion 1997, Hamburg, 1. Aug. 1997.

[14] R. Barbieri and A. Strumia, preprint hep-ph/9704402.

[15] M.B. Gavela et al., Modern Phys. Lett. **9A** (1994) 795.

[16] P. Cho, M. Misiak and D. Wyler, Phys. Rev. **D54**, 3329 (1996).

[17] M. Heyssler, Z. Kunszt and W.J. Stirling, preprint hep-ph/9702286.

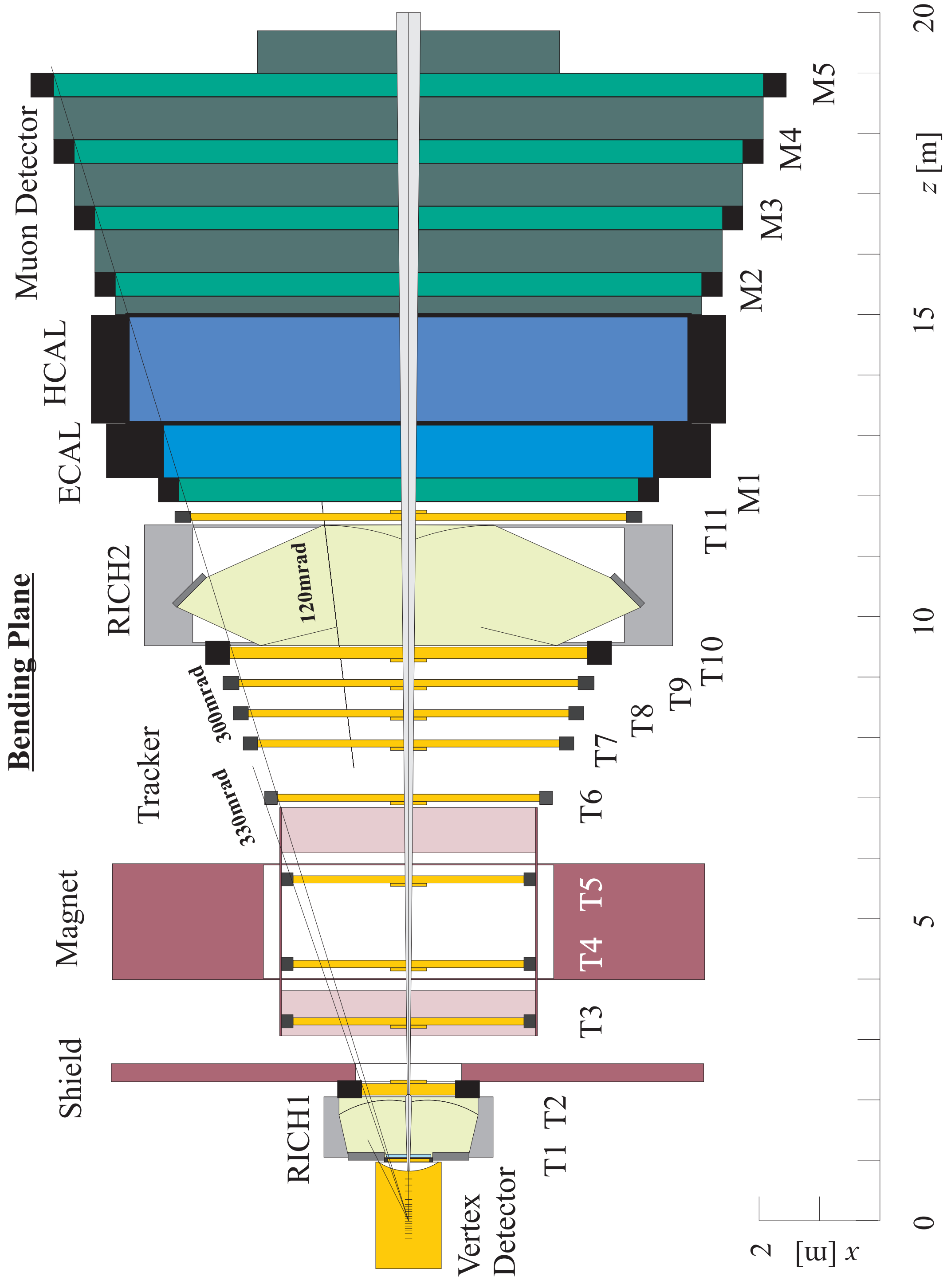

Abbildung 1: Grundriss des geplanten LHCb Experiments