

# Interessensbekundung: Polarisierte Leptonstrahlen — Erzeugung, Messung und Anwendung

J. Bartels <sup>1</sup>, J. List <sup>2</sup>, S. Riemann <sup>3</sup>

1- Universität Hamburg, II. Institut für Theoretische Physik

Luruper Chaussee 149, 22761 Hamburg

2- DESY, Notkestr. 85, 22607 Hamburg

3- DESY, Platanenallee 6, 15738 Zeuthen

Dieses Dokument ist eine Interessensbekundung der Universität Hamburg, sich mit einem eigenen Antrag am Konsortium „Spin-Management an Lepton-Beschleunigern“ oder einem größeren Verbund auf dem Gebiet der Instrumentierung von Beschleunigern, zu beteiligen — vorbehaltlich der in Kürze erwarteten Besetzung einer Professur auf diesem Gebiet.

Hier soll zunächst der inhaltliche und finanzielle Umfang eines entsprechenden Projektes in Hamburg abgesteckt werden. Ein detaillierter Antrag wird dann ggf. nach erfolgreichem Abschluss des relevanten Berufungsverfahrens gestellt. Prof. Bartels agiert bis dahin als Verantwortlicher seitens der Uni Hamburg, während Dres List und Riemann DESY als assoziierte Partner in diesem Vorantrag vertreten.

Das Themengebiet des Spin-Managements wird in großem Maße von einem Verbund aus Universitäten und Großforschungseinrichtungen profitieren, da Fortschritte auf diesem komplexen Themengebiet eine neuartige Zusammenarbeit von theoretischer und experimenteller Teilchenphysik sowie der Beschleunigerphysik über die Grenzen dieser Disziplinen hinweg erfordern.

## 1 Allgemeine Ziele des Verbundprojekts

### 1.1 Thematischer Hintergrund

In naher Zukunft werden Messungen am LHC neue Kenntnisse für das Verständnis von der Materie und ihren Wechselwirkungen liefern. Es werden Entdeckungen erwartet, die das Standardmodell der Elementarteilchen entweder bestätigen oder deutlich über seine Grenzen hinausgehen. Eine Vielzahl von Phänomenen wird als möglich erachtet, allerdings wird man nicht alle von ihnen mit Proton-Proton-Wechselwirkungen eindeutig beobachten und interpretieren können. Daher ist das Projekt eines Lepton-Beschleunigers wichtig, der komplementär zum LHC das Spektrum der Erkenntnisse erheblich erweitern wird.

Die Erfolgsstrategie eines Lepton-Colliders ist Präzision: Sowohl die Energie und Luminosität als auch die Polarisation der Strahlen müssen mit höchster Präzision bekannt sein, um direkte und indirekte Messungen verlässlich interpretieren zu können.

Eine wesentliche Voraussetzung sind polarisierte Strahlen, mit denen neuartige Wechselwirkungen besser beobachtbar und paritätserhaltende bzw. -verletzende Prozesse besser sichtbar werden. Dabei ist es extrem vorteilhaft, wenn beide Strahlen polarisiert sind, z.B. Positronen und Elektronen in einem künftigen Linearbeschleuniger [1].

Neben den vorgeschlagenen hochenergetischen Leptoncollidern wie CLIC [2] oder ILC [3] sind polarisierte Strahlen auch für  $e^+e^-$ -Collider bei niedrigen Energien, z.B. als  $\tau$ -Fabrik [4] zum Studium von Lepton-Flavour-Verletzung, interessant. Auch bei einem Myon-Collider [5] sind die Strahlen zu mindestens 20% polarisiert, was wichtige Observable erschliesst [6].

*Spin Management*

Auch wenn der ILC das bisher beststudierte Beispiel eines künftigen Beschleunigers ist, so ist das hier vorgeschlagene Projekt Grundlage für alle erwähnten Lepton-Collider und in sofern als unabhängig von einem speziellen Collider-Typ einzuordnen.

## 1.2 Ziele des Verbundprojekts

Die Gesamtaktivitäten im Verbund aus den Universitäten Mainz und Hamburg sowie den assoziierten Partnern DESY, CERN und Universität Bonn gliedern sich in vier Hauptthemen: Polarisierte Leptonquellen, Spintransport in Injektionssystemen und Beschleunigern, Polarimetrie nahe dem Wechselwirkungspunkt sowie Physik mit polarisierten Lepton-Strahlen.

Im folgenden wird in Stichworten ein Überblick über diese Themen gegeben, dem insbesondere die geplante Aufgabenteilung zwischen den beteiligten Partnern entnommen werden kann. Auf die speziellen Projekte der Universität Hamburg wird im nächsten Kapitel detaillierter eingegangen.

- Polarisierte Leptonquellen
  - Positronen:
    - \* Simulation der Schockbelastungen im Target (Uni HH, DESY)
    - \* Simulation des Spintransports im Target von zirkular polarisierten Photonen zu Positronen (Uni HH, DESY)
    - \* Optimierung von Effektivität der Positronen-Erzeugung, -Polarisation und -Beschleunigung bis zum Dämpfungsring (Uni HH, DESY)
    - \* Implementierung eines schnellen Helizitätsflip (Uni Mainz, Uni HH, DESY)
  - Elektronen:
    - \* Mott-Polarimetrie nahe der Quelle (Uni Mainz)
    - \* Cross-Kalibration Mott- und Laser-Compton-Polarimeter (Uni Mainz)
- Spintransport in Injektionssystemen und Beschleunigern
  - Dämpfungsringe: Simulation und Messungen an MAMI (Uni Mainz)
  - Cradle-to-End-Simulationen (Uni HH, DESY)
  - Aufbau eines Testexperiments bei MAMI (Uni Mainz, DESY)
- Polarimetrie nahe dem Wechselwirkungspunkt
  - Compton-Polarimetrie für CLIC, Niederenergie- $e^+e^-$ , Myon-Collider,...(Uni Mainz, DESY, CERN)
  - Detektorentwicklung für Compton-Polarimeter, Strahltests bei ELSA und MAMI (Uni HH, DESY, Uni Bonn, Uni Mainz)
  - Spin-Transport und Depolarisation zwischen Polarimetern und Collider-Wechselwirkungspunkt (Uni HH, DESY)
  - Verbesserung der theoretischen Modelle der Strahl-Strahl-Wechselwirkung (Uni HH, DESY)
  - Compton-Polarimetrie direkt am Wechselwirkungspunkt? (Uni HH, DESY)

- Bestimmung des luminositätsgewichteten Polarisationsmittelwerts aus Collider-Daten (Uni HH, DESY)
- Physik mit polarisierten Lepton-Strahlen (Uni HH, DESY)
  - Studien zum Physikpotential mit polarisierten Strahlen bei CLIC, unter Berücksichtigung der spezifischen Maschinenparameter, z.B. ca. 5% Depolarisation in der Wechselwirkung (Uni HH, DESY, CERN)

## 2 Ziele des Departments Physik der Universität Hamburg

### 2.1 Polarisierte Leptonquellen und Spintransport

Ziel ist eine detaillierte Modellierung des Spintransportes von der Erzeugung der polarisierten Strahlen bis zum Wechselwirkungspunkt, um ein optimiertes Design für einen künftigen Linearbeschleuniger zu erreichen.

Die Modellierung ist für Elektronen und Positronen prinzipiell gleich, allerdings ist die Erzeugung polarisierter Positronen komplizierter als die polarisierter Elektronen (siehe auch [7]): Zirkular polarisierte MeV-Photonen treffen ein dünnes Target und erzeugen longitudinal polarisierte  $e^+e^-$  Paare, von denen die Positronen mit einer geeigneten Optik eingefangen und dann beschleunigt werden. Die Photonen werden mittels hochenergetischer Elektronen erzeugt, die einen helikalen Undulator passieren. Im Unterschied zum Elektronenstrahl ist die Emittanz des Positronenstrahls bis zum Dämpfungsring sehr groß, ausserdem gestaltet sich aufgrund der Verwendung eines helikalen Undulators die schnelle Umschaltung der Spinorientierung erheblich aufwändiger. Letztere ist aber zwingend notwendig, um präzise Messungen mit minimalen systematischen Fehlern zu erreichen. Mögliche Lösungsansätze existieren [8, 9], müssen aber noch im Detail geprüft und optimiert werden.

#### 2.1.1 Polarisierte Positronquelle

- Detaillierte Modellierung der Spindynamik von der Quelle bis zu einem Polarimeter nach dem Wechselwirkungspunkt, vgl. Abschnitt 2.2
- Spin Transfer von Photonen auf die Elektron-Positron-Paare im Positron-Target
- Modellierung des Targets unter Wärme- und Schockwellenbelastung

#### 2.1.2 Spintransport in Injektionssystemen und Beschleuniger

- Design und Simulation von Spin-Rotatoren [10, 11] und Implementierung von schnellem Helizitätsflip: auch für letzteren gibt es einen vielversprechenden konzeptionellen Entwurf [9], der aber noch detailliert hinsichtlich seiner Realisierbarkeit und seinen Einfluss auf andere Strahlparameter untersucht werden muss.
- Cradle-to-End-Simulationen: Die meisten Studien sind bisher mit relativ perfekten Beschleunigern durchgeführt worden (siehe z.B. [12, 13]). In Hinblick auf die hohen Präzisionsanforderungen bei einem hochenergetischen Lepton-Collider soll hier mit realistischen Annahmen über Misalignment, Erdbewegungen und Maschinensteuerung gearbeitet werden.

*Spin Management*

- Integration der relevanten Subsysteme in das gesamte Beschleunigersystem unter Beachtung der vorgegebenen Parameter und Kosten.

## 2.2 Polarimetrie nahe des Wechselwirkungspunkts

Für die Analyse der Collider-Daten wird letztlich die luminositätsgewichtete mittlere Polarisation für den jeweils betrachteten Datensatz benötigt. Während deren absolute Skala aus Prozessen wie der Paarerzeugung von  $W$ -Boson-Paaren kalibriert werden kann, können zeitliche Variationen und Korrelationen nur mit schnellen Compton-Polarimetern vor und hinter dem Collider-Wechselwirkungspunkt kontrolliert werden. Diese Polarimeter befinden sich typischerweise einige 100 Meter vom Wechselwirkungspunkt entfernt, auf denen die Strahlen komplizierte Beschleunigerelemente wie z.B. die final-focus-Sektion durchlaufen. Die ultimative Präzision von  $\delta P/P = 0.1\%$  für die luminositätsgewichtete mittlere Polarisation kann nur erreicht werden, wenn die einzelnen Messungen hinreichend optimiert sind und alle Messungen kombiniert werden, was wiederum ein detailliertes Verständnis des Spin-Transports und der Depolarisation voraussetzt. Für den Fall des ILC ist dies in [14, 15] detailliert dargelegt. Für andere Lepton-Collider existieren keine oder nur sehr präliminäre Polarimeter-Entwürfe. Insbesondere im Falle von CLIC ist es momentan völlig unklar, ob Polarimetrie hinter dem Wechselwirkungspunkt überhaupt möglich wäre, was Konsequenzen bzgl. der Präzision erwarten lässt, da andererseits gerade bei CLIC die Depolarisation durch die Kollisionen mit 5% zu Buche schlägt.

Daraus ergeben sich im Detail folgende Punkte:

- Simulation und erarbeitung konzeptioneller Designs für Compton-Polarimetrie bei CLIC, Niederenergie- $e^+e^-$  oder einem Myon-Collider.
- Detektorentwicklung für Compton-Polarimeter, Strahltests bei ELSA und MAMI: Die Linearität des Detektors für die Compton gestreuten Elektronen ist von essentieller Bedeutung für eine Hochpräzisionsmessung und erfordern Forschungs- und Entwicklungsarbeiten. Neben reinen Labortest sind hier Strahltest am DESY, bei ELSA in Bonn und bei MAMI in Mainz von größtem Interesse [16, 17, 18].
- Ein verlockender Vorschlag ist, Compton-Polarimetrie direkt am Wechselwirkungspunkt zu betreiben, in dem dort ein Laser-Strahl eingebracht wird. Bisher ist allerdings völlig unklar, ob dies realisierbar ist und welche Einschränkungen es ggf. für den Nachweis der  $e^+e^-$ -Kollisionen hätte.
- Die Bestimmung des luminositätsgewichteten Polarisationsmittelwerts aus Collider-Daten ist essentiell um die absolute Skala der Polarimeter auf dem Promille-Niveau zu eichen.
- Gleiches gilt für den Spin-Transport und die Depolarisation zwischen Polarimetern und Collider-Wechselwirkungspunkt, der im Detail und unter realistischen Annahmen simuliert werden muss. Ein Experiment bei MAMI, in dem zwei Polarimeter an unterschiedlichen Ort im Beschleuniger betrieben werden, liefert trotz der niedrigen Energien hier eine wichtige Kontrolle der Simulationen [19].
- Eine Verbesserung der theoretischen Modelle der Strahl-Strahl-Wechselwirkung ist nötig, damit sie für den ILC und auch für einen Multi-TeV-Linearbeschleuniger angewandt werden können.

- Modellierung des Vielteilchensystems der Wechselwirkungszone:  
Bei Berechnung der Bewegung von Teilchen im starken Feld fokussierter Strahlen müssen auch höhere Ordnungen berücksichtigt werden. Bisherige theoretische Modelle beruhen auf quasi-klassischen Methoden, deren Anwendung auf Parameter künftiger Linearbeschleuniger überprüft werden muss.

### 2.3 Physik mit polarisierten Lepton-Strahlen

Ein detaillierter Report zum Potential eines künftigen Beschleunigers mit polarisierten Strahlen [1] fasst die physikalischen Gründe und die Realisierbarkeit zusammen. Ein solches Projekt hängt von den laufenden Fortschritten in der Teilchenphysik ab, deshalb müssen die Ziele bei der Physik mit polarisierten Strahlen regelmässig aktualisiert werden. Dies gilt besonders für die Jahre ab 2010, wenn mit der Veröffentlichung der ersten Ergebnisse des LHCs zu rechnen ist.

Desweiteren muss während der Entwicklungsphase immer wieder geprüft werden, wie sich neue Vorschläge zum Design des Beschleunigers auf physikalische Resultate auswirken wird. Für den ILC ist dieser Prozess etabliert, für CLIC wird er in den kommenden Jahren ebenfalls sehr wichtig werden.

Alternative Projekte wie z.B. eine  $\tau$ -charm-Fabrik [4] oder ein Myon-Collider befinden sich in einem völlig anderen Stadium ihrer Physik-Studien. Nichts destotrotz spielt Polarisation in beiden Fällen eine wichtige Rolle (z.B. Bestimmung der Higgs-CP-Quantenzahlen am Myon-Collider [6]), so dass sich Anknüpfungspunkte an die Studien zum Potential von hochenergetischen  $e^+e^-$ -Collidern ergeben.

## 3 Benötigte Mittel

### 3.1 Personalmittel

- 1 Postdoc, 3 Jahre TVL 13
- 1 Doktorand, 3 Jahre 3/4 TVL 13

### 3.2 Reise- und Investitionsmittel

- Reisen: pro Jahr 2 Konferenzen PD, 1 Konferenz Doktorand, diverse Reisen zu Verbundpartnern  $\Rightarrow$  10.000 Euro / Jahr
- Investitionen:  
Prototyp Compton-Detektor für Test im Laser-Compton-Polarimeter bei MAMI

	Kosten pro Stück / Kanal	Gesamtdetektor	
		#	EUR
Photodetektoren	ca 750 EUR	20	15000
Hochspannungsversorgung	ca 1000 EUR	20	20000
Elektronik	ca 2000 EUR	20	40000
Summe		-	75000

## Literatur

- [1] G. A. Moortgat-Pick *et al.*, “The role of polarized positrons and electrons in revealing fundamental interactions at the linear collider,” *Phys. Rept.* **460** (2008) 131 [arXiv:hep-ph/0507011].
- [2] H. Braun *et al.* [CLIC Study Team Collaboration], “CLIC 2008 parameters,”
- [3] J. Brau *et al.*, “International Linear Collider reference design report. 1: Executive summary. 2: Physics at the ILC. 3: Accelerator. 4: Detectors,”
- [4] A. Schoning, “A high intensity linear e+ e- collider for a tau-charm factory,” *Nucl. Phys. Proc. Suppl.* **169** (2007) 387.
- [5] C. Ankenbrandt *et al.*, “Muon Collider Task Force Report,”
- [6] B. Grzadkowski, J. F. Gunion and J. Pliszka, “How valuable is polarization at a muon collider? A test case: Determining the CP nature of a Higgs boson,” *Nucl. Phys. B* **583** (2000) 49 [arXiv:hep-ph/0003091].
- [7] G. Alexander *et al.*, “Observation of Polarized Positrons from an Undulator-Based Source,” *Phys. Rev. Lett.* **100** (2008) 210801.
- [8] K. Moffeit, M. Woods, P. Schuler, K. Moenig and P. Bambade, “Spin rotation schemes at the ILC for two interaction regions and positron polarization with both helicities,” IPBI-TN-2005-2.
- [9] K. Moffeit, M. Woods, D. Walz, “Spin rotation at lower energy than the damping ring,” IPBI-TN-2008-1.
- [10] P. Schmid, “A spin rotator for the ILC,” EUROTEV-REPORT-2005-024.
- [11] P. O. Schmid and N. J. Walker, “A spin rotator for the ILC,” EUROTEV-REPORT-2006-068.
- [12] J. Smith, “Spin Transport In The International Linear Collider”, *In the Proceedings of Particle Accelerator Conference (PAC 07), Albuquerque, New Mexico, 25-29 Jun 2007, pp 1955.*
- [13] F. Zhou, Y. Batygin, Y. Nosochkov, J. C. Sheppard and M. D. Woodley, “Start-to-end beam optics development and multi-particle tracking for the ILC undulator-based positron source,” SLAC-PUB-12239.
- [14] B. Aurand *et al.*, “Executive Summary of the Workshop on Polarization and Beam Energy Measurements at the ILC,” arXiv:0808.1638 [physics.acc-ph].
- [15] J. List, “Precision of Polarisation and Beam Energy Measurements at the ILC,” LCWS 08, Chicago, Proceedings in preparation.
- [16] D. Kafer, O. Eyser, C. Helebrant, J. List and U. Velte, “Test Stand Measurements for an ILC Polarimeter,” arXiv:0709.2683 [physics.ins-det].
- [17] U. Velte, “Aufbau eines Teststandes für Photodetektoren und Teststrahlmessungen für die Strahlpolarisationsmessung am ILC,” Diplomarbeit, Universität Hannover (2008).
- [18] D. Käfer, “Compton Cherenkov detector development,” LCWS 08, Chicago, Proceedings in preparation.
- [19] G. A. Moortgat-Pick *et al.*, “Depolarization and Beam-beam Effects at the Linear Collider,” *In the Proceedings of 11th European Particle Accelerator Conference (EPAC 08), Magazzini del Cotone, Genoa, Italy, 23-27 Jun 2008, pp MOPP024.*
- [20]