

Speicherringanlage HERA

HERA Betrieb 2002

Die Anstrengungen im Monat Dezember 2001 konzentrierten sich auf die Untersuchung des Synchrotronstrahlungs-Untergrundes der Experimente H1 und ZEUS.

Die ersten beiden Monate des Jahres 2002 wurden für Reparatur- und Umbauarbeiten genutzt. Im Januar 2002 wurde durch Röntgenaufnahmen an den Kryostaten der kalten geraden Stücke SL 160 m im HERA-Protonenring festgestellt, dass die internen Stützen von Strahl- und Prozessrohren beschädigt waren. Zur Reparatur musste der Oktant SL auf Raumtemperatur gebracht werden. Die Reparaturarbeiten erstreckten sich von Mitte Januar bis Anfang März.

Da die Reparaturarbeiten am Protonenring nur tagsüber und an Werktagen durchgeführt wurden, konnte ein Teil der Abend- und Nachtstunden sowie der Wochenenden im Januar und in der ersten Februarwoche für Maschinenstudien am Elektronenring benutzt werden.

Ab 15. Februar wurden im HERA-Elektronenring Verbesserungen am Kollimator-System durchgeführt, um die Experimente ZEUS und H1 besser vor direkter Synchrotronstrahlung zu schützen. Im gleichen Zeitraum wurden Modifikationen am Personenschutzsys-

tem vorgenommen und die jährliche Interlockprüfung durchgeführt.

Ab 11. März 2002 wurden die beiden HERA-Ringe wieder in Betrieb genommen. Anschließend wurde der Luminositätsbetrieb vorbereitet. Jedoch stellte es sich bereits bei den ersten Tests heraus, dass ein Betrieb der Driftkammern von H1 und ZEUS bei vollem Strahlstrom und voller Hochspannung wegen hohen Untergrundes nicht möglich war.

In den folgenden Monaten von Mai bis September wurden Anstrengungen gemacht, diese Probleme genau zu verstehen und gleichzeitig die Vakuumbedingungen des e-Rings hinreichend zu verbessern sowie die operationellen Probleme, die mit einem Hochstrom-Luminositätsbetrieb verbunden sind, zu lösen. Gleichzeitig wurde das allgemeine Verständnis von Magnetaufstellung, Strahloptik und Strahldynamik durch regelmäßige Beschleunigerstudien verbessert.

Im Monat Oktober wurden dezidierte Studien zum Erreichen hoher Luminosität und Positronen-Spinpolarisation durchgeführt. In den beiden letzten Monaten des Jahres 2002 wurde ein Luminositätsbetrieb für alle vier Experimente mit moderater Strahlintensität durchgeführt (Tabelle 5).

| | |
|---------------------|---|
| 21.12.01 – 11.03.02 | Betriebspause zur Reparatur des HERA Protonenrings, Verbesserung von Synchrotronstrahlungskollimator-Systemen, Interlockprüfung |
| 11.03.02 – 30.04.02 | Vorbereitung des Luminositätsbetriebs |
| 01.05.02 – 24.09.02 | Luminositätsbetrieb mit regelmäßigen Untergrundstudien und Maschinenstudien |
| 24.09.02 – 28.10.02 | Dezidierte Luminositäts- und Polarisationsstudien |
| 28.10.02 – 19.12.02 | Luminositätsbetrieb |
| 19.12.02 – 02.01.03 | Betriebspause |

Tabelle 5: *Betriebsübersicht 2002.*

Untergrundprobleme der Experimente

Das Verständnis und die Beseitigung der Untergrundprobleme der Experimente H1 und ZEUS standen im Mittelpunkt der Bemühungen des Betriebsjahres 2002. Die Untergrundprobleme bestanden in der Hauptsache in zu hohen Strömen der Driftkammern. Es wurden zahlreiche Studien in enger Zusammenarbeit von Beschleuniger- und Experimentengruppen durchgeführt.

Die Ergebnisse der Studien und Schlussfolgerungen aus den durchgeführten Experimenten wurden auf einem internationalen Workshop im Juli vorgestellt und im Oktober von einem international zusammengesetzten Komitee begutachtet. Es wurden vier verschiedene Quellen von Untergrund identifiziert:

- Direkte Synchrotronstrahlung, die gleichzeitig mit den Teilchenstrahlen in die Wechselwirkungszone gelangt.
- Untergrund durch zurückgestreutes Synchrotronlicht. Diese Strahlung wird an den Absorbern auf der rechten Seite der Wechselwirkungszone gestreut und gelangt so in den Detektor, den sie um bis zu 60 ns gegenüber dem Teilchenstrahl verzögert erreicht.
- Untergrund durch Positronen, die auf der linken Seite der Wechselwirkungszone mit Gasteilchen im Strahlrohr kollidieren, dabei erheblich an Energie verlieren und durch die Fokussier- und Ablenkermagnete in den Detektor gelenkt werden.
- Protonen, die auf der rechten Seite vor dem Wechselwirkungspunkt an Restgasteilchen gestreut werden und unter großen Winkeln in das Experiment gelangen. Die Restgasdichte ist gegeben durch Desorption von Gasmolekülen durch Synchrotronlicht sowie durch thermische Desorption bei Erwärmung der Vakuumkomponenten durch Energieverluste des Strahls und hängt somit stark vom Strahlstrom der Positronen ab.

Im Vorjahr wurde festgestellt, dass die Experimente H1 und ZEUS in erheblichem Maße unter direkter Synchrotronstrahlung leiden. Als Ergebnis der Vorjahrsstu-

dien wurden die folgenden Verbesserungsmaßnahmen vorbereitet und im Februar 2002 installiert:

Es wurde bei den Positionen SL 66 m und NL 66 m jeweils ein feststehender Synchrotronstrahlungskollimator eingebaut. Er schützt die Experimente vor Strahlung aus dem Magneten BI, der jeweils 90 m links vor den Wechselwirkungspunkten eingebaut ist. Außerdem wurden jeweils auf der linken Seite 6 m vor den Wechselwirkungspunkten fahrbare vertikale Kollimatoren installiert.

Eine weitere Maßnahme war die Vergrößerung der Apertur der Synchrotronlichtabsorber 1 und 2 jeweils bei 4 m und 6 m auf der rechten Seite von den Wechselwirkungspunkten, um die Rückstreuung von Synchrotronlicht von diesen Positionen zu vermeiden. Diese Absorber dienen dem Schutz der Vakuumkammer und werden nur im Falle einer Fehlsteuerung des Strahls von Strahlung getroffen. Die Apertur von Absorber 1 wurde von 9 mm auf 16 mm, die des Absorbers 2 von 11 mm auf 16 mm erweitert.

Eine zusätzliche Maßnahme zur Verringerung der Synchrotronstrahlung ist die Benutzung einer neuen Positronen-Strahloptik mit geringerer vertikaler Divergenz in den „low-beta“ Magneten.

Nachdem diese Maßnahmen durchgeführt worden waren, konnte im März und April 2002 nachgewiesen werden, dass nach Feinjustierung der Magnetaufstellung und nach Optimierung des Positronenstrahlors in der Wechselwirkungszone der direkte Synchrotronstrahlungsuntergrund sowie die Rückstreuung von Synchrotronstrahlung von den Absorbern 1 und 2 keinen wesentlichen Beitrag zum Untergrund mehr lieferten.

Die Verringerung des Untergrundes durch Positronen, die am Restgas vor der Wechselwirkungszone gestreut werden, lässt sich nur durch Verbesserung des Vakuums erzielen. Im Betriebsjahr 2002 wurde wegen der Strombegrenzung durch Untergrund nur eine vergleichsweise kleine Stromdosis von 28 Ah erzielt. Bisher ergab sich keine substantielle Verringerung des Untergrundes durch gestreute Positronen.

Zurückgestreute Strahlung vom Synchrotronstrahlungsabsorber bei 11 m SR/NR, der Stelle, an der sich Protonen- und Positronenstrahlrohrsysteme trennen, ist eine starke Quelle von Untergrund für die Experimente.

Ein großer Teil der Betriebszeit wurde darauf verwandt, diesen Anteil zu verstehen sowie Verbesserung durch zusätzliche Abschirmmaßnahmen zu erproben. Die Studien haben ergeben, dass sich die zurückgestreute Synchrotronstrahlung durch Änderung der Synchrotronstrahlungsmasken um etwa einen Faktor 10 reduzieren lässt.

Die zweite starke Quelle von Untergrund sind am Restgas in der Wechselwirkungszone gestreute Protonen. Durch systematische Studien mit kontrollierter Vakuumverschlechterung konnte nachgewiesen werden, dass sich die Quelle der gestreuten Protonen, die in den Detektor gelangen, vom Wechselwirkungspunkt bis etwa 20 m rechts vom Experiment erstreckt. Da das Vakuum in diesem Bereich durch Gasdesorption von Synchrotronlicht sowie durch Temperaturerhöhung durch den Positronenstrahl gegeben ist, ist der daraus resultierende Untergrund proportional zum Produkt von Protonen- und Positronenstrom. Diese Quelle von Untergrund hat sich im Laufe des Betriebsjahres um den Faktor 5 reduziert. Dies ist auf eine Verbesserung des Vakuums durch Reinigung der Oberflächen mit Strahl zurückzuführen. Dieser Prozess wurde jedoch durch dreimaliges Belüften des Vakuumsystems aufgrund von Lecks bzw. deren Behebung verlangsamt. Am Ende des Betriebsjahres ist der durch gestreute Protonen hervorgerufene Untergrund noch um den Faktor 3 zu hoch für einen Betrieb bei den maximalen Strahlströmen. Die erreichbare Luminosität mit eingeschalteten Detektoren beträgt nur etwa 30% des Wertes, der für 2002 angestrebt wurde.

Die Experimente HERMES und HERA-B hatten im Betriebsjahr 2002 keine nennenswerten Untergrundprobleme.

Man kann die Ergebnisse der Bemühungen, den hohen Untergrund der Experimente zu verstehen und geeignete Maßnahmen zur Beseitigung der Probleme auszuarbeiten, folgendermaßen zusammenfassen:

Das Problem der direkten Synchrotronstrahlung wurde durch das verbesserte Kollimatorsystem auf ein operationelles Problem reduziert, das durch verbesserte Kontrollen weitgehend gelöst wurde.

Der Untergrund durch gestreute Positronen lässt sich durch gezielte Vakuumverbesserungen, durch Betrieb der Maschine mit Positronenstrahl sowie durch zusätzliche Vakuumpumpen im Bereich des GA-Magneten auf

der linken Seite des geraden Stücks, etwa 30 m vom Wechselwirkungspunkt entfernt, auf ein erträgliches Maß reduzieren.

Der Untergrund durch zurückgestreute Synchrotronstrahlung ist in großem Detail verstanden, und es wird davon ausgegangen, dass die vorgeschlagenen Verbesserungsmaßnahmen am Kollimatorsystem die Probleme lösen werden.

Der Untergrund durch gestreute Protonen hat sich durch Verbesserungen der Vakuumbedingungen auf der rechten Seite der geraden Stücke mit dem stetigen Betrieb der Maschine wesentlich verbessert. Es sind jedoch noch keine Maßnahmen bekannt, die das Problem mit Sicherheit lösen werden. Der Unterschied zum Betrieb vor dem Umbau der Wechselwirkungszone konnte ebenfalls nicht vollständig aufgeklärt werden.

Beschleunigerentwicklung

Die Zeit, in der kein regulärer Luminositätsbetrieb wegen des hohen Untergrunds der Experimente H1 und ZEUS möglich war, wurde intensiv zur Verbesserung des Beschleunigers benutzt. Die Studien beschäftigten sich insbesondere mit der Strahloptik, der Magnetaufstellung in der Wechselwirkungszone, der Luminosität und der Polarisation.

Programmsystem für Maschinenstudien

Maschinenstudien benötigen viel Maschinenzeit, ihre Effizienz ist deshalb ein wichtiges Anliegen. Dies ist die Motivation für die Entwicklung von Computerprogrammsystemen, welche Beschleunigerstudien auf effiziente Weise unterstützen. Es wurden zwei verschiedene Wege beschritten.

Das erste System ist gedacht für spezielle Studien. Es basiert auf dem leicht zu programmierenden System MATLAB, welches über Hilfsprogramme mit Strahloptikmodellprogrammen und dem Beschleunigerkontrollsystem verbunden wurde. Damit lassen sich beliebige Mess- und Stellgrößen des Beschleunigers

auslesen bzw. einstellen. Die Messwerte der Strahldiagnose können direkt mit Hilfe der zugehörigen Strahl-optikdaten weiterverarbeitet und analysiert werden. Somit lassen sich komplizierte Experimente-Abläufe wie in einem Baukastensystem zusammensetzen. Die Automatisierung von Maschinenstudien und deren Auswertung erlaubt es, mehrere Iterationen eines komplexen Optimierungsprozesses in kurzer Zeit, etwa innerhalb einer Maschinenschicht, durchzuführen. Unter den Applikationen, die mit diesem System geschaffen wurden, sind unter anderem

- Strahlbasierte Magnetaufstellung,
- Strahl-optikdiagnose mit der Orbit-Response Methode und Korrektur,
- Dispersionsmessung und Korrektur.

Das zweite System basiert auf dem Standard Software-system der HERA-Kontrollen. Es wird eingesetzt, um die mit dem ersten System erprobten Verfahren für den Routinebetrieb mit Nichtexperten zum Einsatz zu bringen.

Beide Systeme wurden sehr erfolgreich implementiert und zum Einsatz gebracht und haben sehr zum guten Gelingen der Beschleunigerentwicklung beigetragen.

Optimierung der Strahl-optiken

Die Strahl-optiken von HERA wurden während des gesamten Betriebsjahres stetig verbessert und verfeinert und dem wachsenden Verständnis angepasst:

- Die Optik des Positronenstrahls wurde im Bereich der Wechselwirkungszone auf minimale Strahl-divergenz im Magneten GJ optimiert. Damit wurde die Gefahr von zurückgestreuter Synchrotronstrahlung von Detektor-nahen Positionen verringert.
- Die Streufelder, die von den Magneten des Protonenringes in der Wechselwirkungszone ausgehen, wurden in der e-Strahl-optik berücksichtigt.
- Der Magnet QR14 des Protonenringes, der an der Grenze seiner thermischen Belastbarkeit betrieben wird, wurde in seiner Stärke reduziert.

- Die Verteilung der Betatronphasenvorschübe im e-Ring wurde optimiert, um eine weitgehende Kompensation des „Strahl-Strahl-Beta-Beats“ zu erzielen.
- Der Einfluss der Energieverschiebung des Positronenstrahls auf die Strahl-optik wurde kompensiert.

Die Strahl-optiken des Positronen- und des Protonenstrahls wurden für Injektion und Luminositätsbetrieb mit dem „Orbitresponse“ Verfahren analysiert. In einigen Fällen wurden dabei systematische Fehler aufgedeckt und behoben. Die Reststörungen der Optik wurden mit einer empirischen Korrektur unterdrückt. Somit konnte die Abweichung der Strahlein-hüllenden von ihren Idealwerten in allen Betriebszuständen auf Werte unter 5% gebracht werden.

Die Werte der Dispersionsfunktion wurden in beiden Maschinen gemessen und analysiert. Als Hauptbeitrag zu den Störungen der Dispersionsfunktion des e-Rings wurden Orbitauslenkungen in den „low-beta“ Magneten identifiziert.

Verbesserung der Magnetaufstellung

Die Aufstellung der Magnete in der Wechselwirkungszone hat einen großen Einfluss auf die Synchrotronstrahlung, die vor den Experimenten generiert wird und damit ein Untergrundpotential darstellt. Ein großer Aufwand wurde getrieben, die Magnetaufstellung bezüglich des idealen Strahlkoordinatensystems mit dem Strahl zu vermessen und die Magnetaufstellung aufgrund dieser Analyse zu korrigieren (Beam-Based Alignment). Die großen Messfehler der strahlgestützten Messungen wurden durch ein spezielles Auswerteverfahren um den Faktor 10 reduziert. Damit konnten Messgenauigkeiten von 200 μm erreicht werden. Da die Magnete in der Wechselwirkungszone optisch nur unter erschwerten Bedingungen erreicht werden können, ist die einzige Methode, das Magnetsystem der Wechselwirkungszone als Ganzes zu vermessen.

Luminositätsstudien

Dem Verständnis und der Optimierung der Luminosität wurde große Beachtung geschenkt. Aufgrund der guten

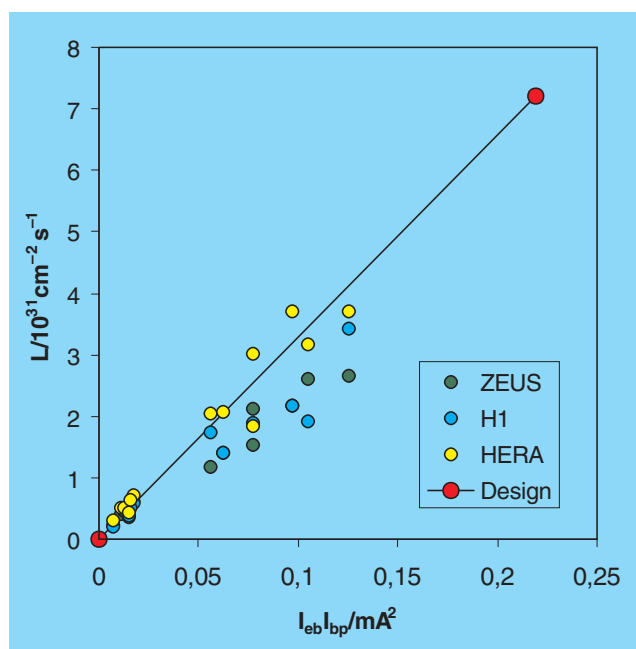


Abbildung 111: Auf nominale Bunchzahl extrapolierte maximale Luminosität als Funktion des Produktes der Bunchstromintensität.

Optimierung der Strahloptiken ergaben sich für niedrige Strahlintensitäten sehr gute Werte für die spezifische, das heißt die auf die Strahlintensität normierte Luminosität. Aufgrund der kleineren Protonenstrahlintensität wurden um 25% geringere Emittanzwerte erzielt. Entsprechend erreichte die spezifische Luminosität Werte um $L_{sp} = 2.2 \times 10^{30} \text{cm}^{-2} \text{sec}^{-1} \text{mA}^{-2}$, die etwa 20% über dem Designwert liegen. Bei größeren Protonenemittanzen mit Bunchströmen um $550 \mu\text{A}$ sinkt die spezifische Luminosität auf Werte um $L_{sp} = 1.4 \times 10^{30} \text{cm}^{-2} \text{sec}^{-1} \text{mA}^{-2}$. Dies ist teilweise auf vergrößerte Emittanzwerte und teilweise auf eine Aufweitung des Positronenstrahls zurückzuführen. Extrapoliert man die mit zehn Bunchen erhaltene Luminosität auf volle Bunchzahl, so ergibt sich eine Luminosität von $L = 4 \times 10^{31} \text{cm}^{-2} \text{sec}^{-1}$, die sich bei den derzeit machbaren Strahlströmen realisieren lässt (Abb. 111).

Die Luminositätsmessung der Experimente wurde durch so genannte Luminositätsscans überprüft. Diese Messung gestattet die direkte Messung des effektiven Strahlquerschnitts am Kollisionspunkt. Während die Luminositätsmessungen des H1-Experiments gut mit den Werten übereinstimmen, die aus den gemessenen

effektiven Strahlquerschnitten errechnet wurden, ergab die Luminositätsmessung des Experiments ZEUS einen um 20% kleineren Wert. Als ein gewisses Problem hat sich herausgestellt, dass die Arbeitspunkte im Luminositätsbetrieb durch starke nichtlineare Resonanzen und Synchro-Betatron Resonanzen eingeschränkt werden. Dies steht in unmittelbarem Zusammenhang mit der erforderlichen kleineren Emittanz. Die Einstellung der Arbeitspunkte ist somit viel kritischer als in den Vorjahren. Eine systematische Untersuchung der durch Sextupole getriebenen Betatron-Resonanzen der Ordnung vier im Elektronenring ergab, dass diese mit der neuen Optik etwa vier- bis fünfmal so stark sind wie mit der alten 60 Grad Optik. Dies erklärt die Begrenzungen im Arbeitsdiagramm.

Polarisation

Für die Optimierung der Positronen-Spinpolarisation wurde im Jahr 2002 nur wenig Zeit verwandt. Während einer einwöchigen Studienperiode im Oktober konnte jedoch an die Ergebnisse vom Jahr 2000 angeknüpft werden. Mit nur einem aktiven Rotatorpaar in HERA-Ost und ausgeschalteten Solenoiden von H1 und ZEUS wurde eine Polarisation von über 40% erreicht. Die weitere Erhöhung der Polarisation wurde aus Zeitgründen nicht weiterverfolgt. Es sieht jedoch so aus, als ob sich die Polarisation in dieser Konfiguration weiter steigern ließe.

Instabilitäten und kollektive Effekte

Regelmäßige Messungen haben ergeben, dass sich die Emittanz des Protonenstrahls durch kohärente, selbstgetriebene, gekoppelte longitudinale Dipolschwingungen der Bunche um bis zu einem Faktor 4 aufweitet, wenn der Strahlstrom Werte von 100 mA erreicht. Eine einfache Maßnahme, diese Schwingungen zu unterdrücken, ist eine Modulation der Hochfrequenzamplitude mit der Umlauffrequenz und damit die Erzeugung einer von Bunch zu Bunch unterschiedlichen Synchrotronfrequenzverteilung. Dies wurde technisch erfolgreich getestet, und es besteht die Hoffnung, mit dieser Maßnahme in Zukunft kürzere Protonenbunche zu erzielen.

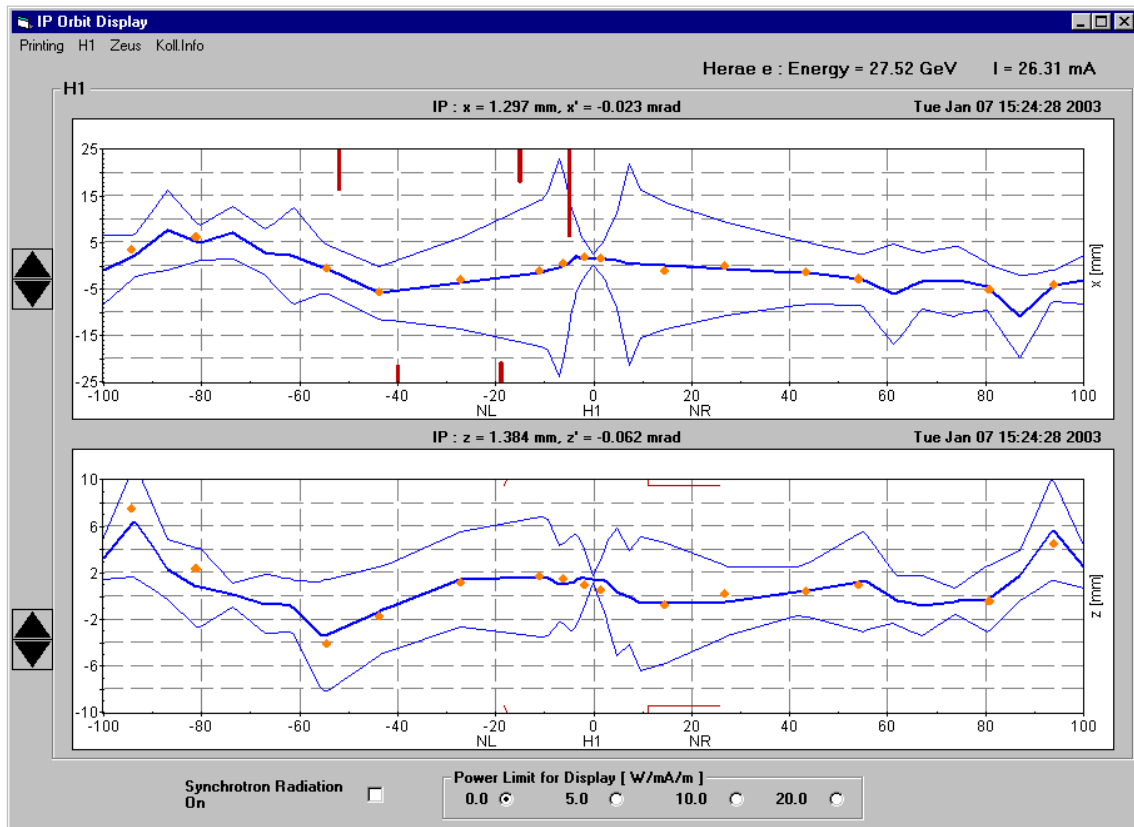


Abbildung 112: Bild vom HERA Orbit und Strahlenveloppe bezüglich des absoluten HERA Koordinatensystems.

Der Verlust von bei hoher Energie gespeicherten Protonen durch eine diffusionsartige Drift aus dem Hochfrequenz-Potentialtopf wurde in Zusammenarbeit mit dem Institut für Hochenergiephysik in Protvino (Russland) untersucht. Die Hypothese, dass dieses Verhalten durch Hochfrequenzrauschen hervorgerufen wird, konnte durch eine umfassende Studie, die analytische Rechnungen, Simulationsrechnungen und Messungen an den Hochfrequenzsystemen umfasste, ausgeschlossen werden. Somit bleibt als letzter noch nicht vollständig verstandener Effekt, Coulomb-Streuung von Protonen aneinander innerhalb des Protonenstrahls zu untersuchen. Dies erfolgt im Rahmen einer 2002 begonnenen Doktorarbeit.

Operationelle Verbesserungen

Durch Verbesserung und Optimierung der Bedienungsprogramme ist es gelungen, die Vorbereitung der Injektion beider HERA-Ringe drastisch zu verkürzen. Damit laufen die Operationen Magnetzyklen, Protoneninjektion, Protonen-Beschleunigung und Positroneninjektion jetzt etwa doppelt so schnell wie in den früheren Betriebsjahren ab.

Eine große Herausforderung war die Bewältigung der Probleme von möglichen Strahlenschäden empfindlicher Detektorkomponenten durch die HERA Teilchenstrahlen während Injektion und Beschleunigung.

Durch den Wegfall von Synchrotronstrahlungsabsorbern vor den Experimenten nach dem Umbau sowie durch den Einbau eines empfindlichen Siliziumzählers in Strahlhöhe im ZEUS-Experiment ist es in weitaus größerem Maße als zuvor erforderlich, den Positronenstrahlorbit während Injektion, Beschleunigung und strahl-optischen Manipulationen immer in der optimalen Position zu halten. Zum Anrichten von erheblichen Schäden reichen bereits Strahlintensitäten im Bereich von 100 μA aus. Um Positronenstrahlen größerer Intensität beschleunigen zu können, wurde eine Orbitstabilisierung auf der Basis von Strahlhöhe-Messungen realisiert und mit großem Erfolg zum Einsatz gebracht. Mit diesem System wurden Strahlintensitäten von über 40 mA ohne nennenswerte Belastung der empfindlichen Detektorsysteme beschleunigt.

Ein Orbit-Rückkopplungssystem wird ebenfalls beim Schließen des ZEUS-Kalorimeters erfolgreich eingesetzt. Das Schließen dieses Kalorimeters induziert starke Magnetfeldänderungen der kalten Magnete GO und GG in den Wechselwirkungszone.

Die Strahlhöhe in den Wechselwirkungszone ist von großer Bedeutung für die Belastung der empfindlichen Detektorkomponenten mit Synchrotronstrahlung, für die Strahllebensdauer und für die Luminosität. Um diesen kritischen Parameter ständig unter Kontrolle zu halten, wurde ein System entwickelt, das unter Benutzung von mehreren unabhängigen Informationsquellen den absoluten Strahlorbit in den Wechselwirkungszone rekonstruiert und kontinuierlich darstellt (Abb. 112).

Technische Probleme

Eine Reihe von technischen Verbesserungsmaßnahmen wurde ergriffen, um die Zuverlässigkeit der HERA Komponenten zu erhöhen:

- das Quenchschutzsystem der kalten Magnete in der Wechselwirkungszone wurde verbessert und damit die Zahl der unnötigen Abschaltungen der Magnete drastisch reduziert,
- die Stromversorgungsgeräte werden im Fehlerfall verzögert abgeschaltet, wenn die Fehlerursache dies

erlaubt, um dem Alarmsystem Zeit zu lassen, den Protonenstrahl zu abortieren,

- die Magnete der beiden HERA Ringe werden regelmäßig automatisch auf Strom-Spannungskonsistenz überprüft, um frühzeitig Magnetdefekte erkennen zu können.

Die technische Zuverlässigkeit von HERA war im Jahr 2002 insgesamt nicht zufriedenstellend. Etwa 51 Tage gingen im Berichtszeitraum durch technische Ausfälle verloren. Die Effizienz des Betriebes war darüber hinaus nicht so gut wie im Betriebsjahr 2000. Dies ist zum Teil durch die ständig wechselnden Betriebsbedingungen bedingt, die es erschweren, verborgene Fehler frühzeitig zu entdecken und zu beseitigen. Ein Teil der Probleme steht in Zusammenhang mit der neuen Wechselwirkungszone. Aus diesem Grund sind Betriebsunterbrechungen aufgrund von Vakuump Problemen im Jahr 2002 ungewöhnlich häufig als Ausfallursache anzusehen. Ein signifikanter Teil der Ausfallzeiten hängt auch mit der Empfindlichkeit der Experimente auf Strahlverluste und Synchrotronstrahlung einerseits und mit der empfindlicheren Strahlstabilität andererseits zusammen. Dies führte insbesondere in der ersten Jahreshälfte zu häufigen Strahlverlusten und Strahldumps. In der zweiten Jahreshälfte, nach Einführung der automatischen Orbitstabilisierung, sind diese Effekte stark zurückgegangen.

Davon abgesehen, zeigt die insgesamt hohe Ausfallrate der HERA Komponenten keine Häufung bei bestimmten Systemen, sondern umfasst alle Komponentengruppen in etwa entsprechend der Anzahl ihrer Komponenten.

Luminositätsbetrieb

Angesichts der Notwendigkeit, die Untergrundprobleme in HERA zu untersuchen und zu verstehen, spielte der Experimentierbetrieb an HERA nur eine untergeordnete Rolle. Nur etwa 14% der Zeit in 2002 konnten von den Experimenten für Experimentierbetrieb genutzt werden. Von der insgesamt zur Verfügung stehenden Zeit von 100 Tagen waren dies mit 50 Tagen immerhin 50%.

Das HERMES-Experiment war bereit zur Datennahme. Die Untergrundbedingungen für HERMES waren im allgemeinen recht gut. Die Experimentierzeit reichte jedoch nicht aus, die angestrebte Datenmenge zu akkumulieren.

Das HERA-B Experiment war seit November bereit zur Datennahme. Die Untergrundbedingungen für HERA-B waren gut, die zur Verfügung stehende Messzeit war jedoch zu gering, gemessen an den Erwartungen.

Der Luminositätsbetrieb für die Experimente H1 und ZEUS wurde mit wechselnden Bedingungen durchgeführt. Ab November wurden 30 mA Protonen mit 20–30 mA Positronen in 180 Bunchen zur Kollision ge-

bracht. Die spezifische Luminosität war in H1 mit Werten um $2 \times 10^{30} \text{cm}^{-2} \text{sec}^{-1} \text{mA}^{-2}$ etwa 10% über den Designwerten. Die absolute Luminosität blieb mit Maximalwerten um $10^{31} \text{cm}^{-2} \text{sec}^{-1}$ wegen der durch den Untergrund begrenzten Strahlströme hinter den Werten des Jahres 2000 zurück.

Die Untergrundbedingungen haben sich während des Betriebsjahres stetig verbessert. Ende Dezember überschritten die auf die Intensität des Jahres 2000 skalierten Driftkammerdunkelströme von H1 die maximal zulässigen Werte noch um den Faktor zwei. Zu Beginn des HERA Betriebes betrug dieser Faktor noch etwa fünf. Die von HERA gelieferte integrierte Luminosität betrug 8pb^{-1} . Nur ein kleiner Teil davon konnte zur Datennahme benutzt werden.