

# Speicherringanlage HERA

## HERA Betrieb 2000

17.01. – 21.01.	Maschinenanlauf
22.01. – 17.08.	Positron-Proton-Luminositätsbetrieb
18.08. – 26.08.	Beschleunigerentwicklung
01.09. – 31.12.	Umbau für die Luminositäts-erhöhung

HERA ging am 17. Januar 2000 nach einer kurzen Betriebspause um die Jahreswende wieder in Betrieb. Der Betrieb mit 27.5 GeV Positronen und 920 GeV Protonen für die vier Experimente ZEUS, H1, HERMES und HERA-B begann am 22. Januar und endete am 26. August 2000. Er wurde nur unterbrochen durch den allmonatlichen Wartungstag, gefolgt von jeweils einem Tag Maschinenentwicklung. Der Wartungstag im März wurde auf drei Tage ausgedehnt, um dem HERA-B Experiment Gelegenheit zu geben, den Detektor zu vervollständigen. Insgesamt standen 197 Tage bzw. 4728 Betriebsstunden für den Experimentebetrieb zur Verfügung. Die letzten neun Tage am Ende der Betriebsperiode wurden für Maschinenstudien verwendet. Seit dem 1. September 2000 werden die Wechselwirkungs-zonen in HERA für die Luminositäts-erhöhung umgebaut.

## Luminositätsbetrieb

Die Protonenströme in HERA bei 920 GeV im Luminositätsbetrieb erreichten gleich zu Anfang des Betriebsjahres Werte von über 90 mA in 180 Strahlpaketen. Im Mittel lagen die Ströme in 2000 bei 91 mA, der Rekordwert war 109.6 mA. Bemerkenswert ist die Gleichmäßigkeit und Beständigkeit, mit der Stromwerte nahe dem Maximalwert erreicht werden konnten. Die Effizienz der Protonen-Injektion in HERA betrug im Mittel 90%, wobei etwa 5% Verluste im Transportweg

zu verzeichnen waren und der Rest der Strahlverluste sich etwa gleichmäßig auf Injektion, Speicherzeit bei 40 GeV und Rampverluste in HERA verteilte. Im Jahr 2000 wurde HERA mit 27.5 GeV Positronen betrieben. Die Positronen-Intensität wurde während des gesamten Betriebsjahres kontinuierlich gesteigert und erreichte zuletzt routinemäßig Werte von über 50 mA.

Bei der Injektion und der Beschleunigung der Strahlen gab es keine nennenswerten Probleme. Injektion und Beschleunigung wurden zügig abgewickelt und nahmen etwa 15% der Betriebszeit in Anspruch (Abb. 101). Diese Füllzeiten sind im Wesentlichen durch die Dauer der Magnetzyklen limitiert.

Die Luminosität für die HERA-Experimente H1 und ZEUS war in 2000 ausgesprochen hoch. Die Rekordwerte lagen über  $L = 2 \times 10^{31} \text{ cm}^{-2}\text{sec}^{-1}$ . In der zweiten Hälfte des Betriebsjahres lagen die Werte der Luminosität kurz nach der Injektion jeweils durchweg über dem HERA-Designwert von  $L = 1.5 \times 10^{31} \text{ cm}^{-2}\text{sec}^{-1}$ , welches sich in dem hohen Mittelwert der Spitzenluminosität von  $\langle L \rangle = 1.5 \times 10^{31} \text{ cm}^{-2}\text{sec}^{-1}$  widerspiegelt. Hinzu kam eine ausgezeichnete Lumi-

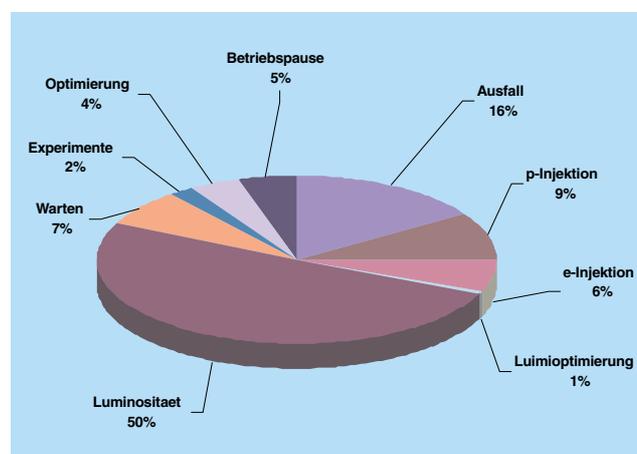


Abbildung 101: HERA Betriebsstatistik.

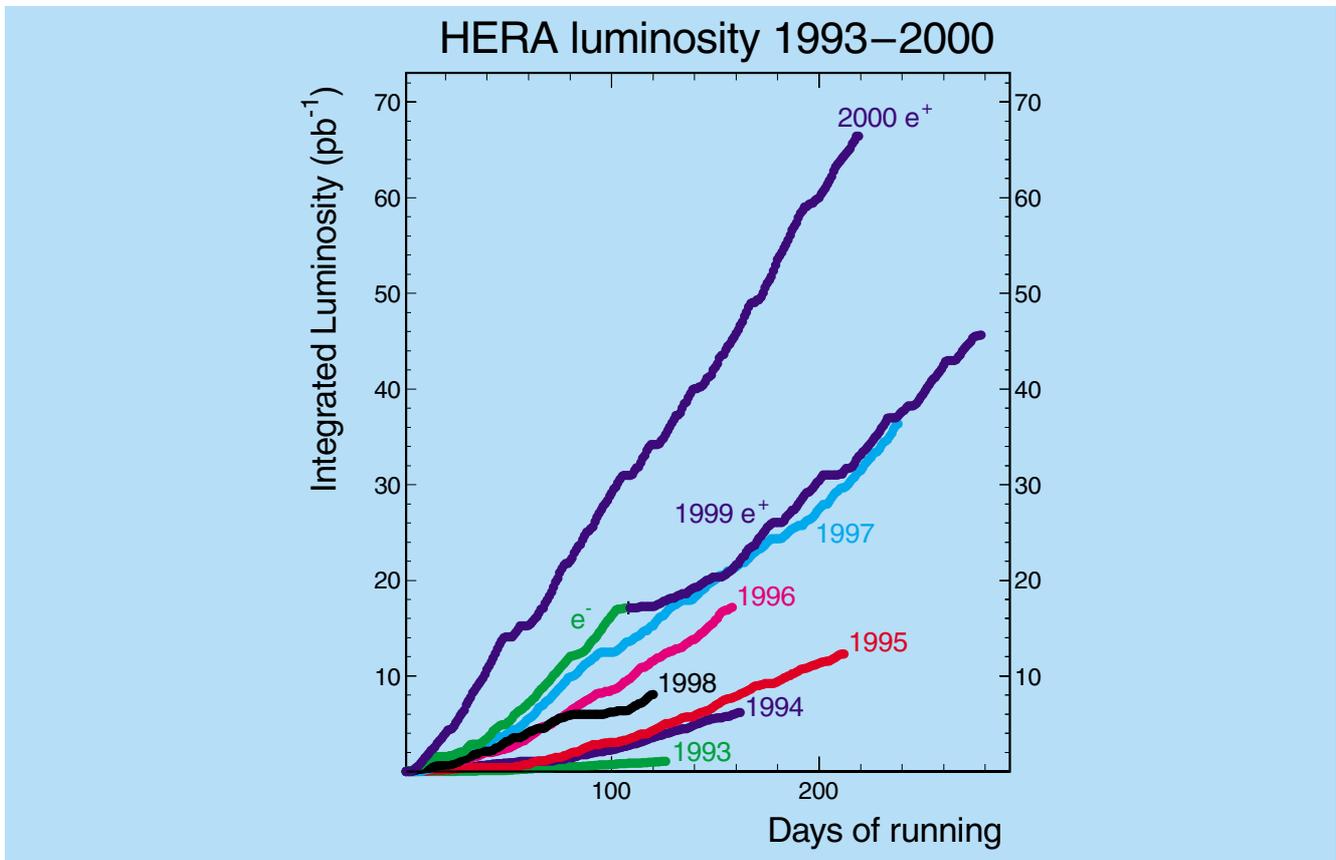


Abbildung 102: Integrierte HERA-Luminosität 2000 im Vergleich zu den Vorjahren, gemessen mit dem ZEUS Luminositätsmonitor.

nositätseffizienz  $\eta = 56\%$  ( $\eta$  ist gleich der Zeit mit Luminosität dividiert durch die insgesamt zur Verfügung stehende Zeit). Das Luminositätsergebnis fiel aus diesem Grunde auch mit  $67 \text{ pb}^{-1}$ , gemessen mit dem ZEUS Luminositätsmonitor, unerwartet hoch aus (Abb. 102).

Gleichzeitig mit der hohen Luminosität wurden auch hohe Werte des Polarisationsgrades des Positronenspins im Bereich von 55–65% erzielt. Dazu trugen wesentlich neue Optimierungsverfahren bei, die es auch den Nichtexperten unter den Operateuren gestatteten, die Polarisation schnell zu optimieren.

## Technische Probleme

Im Jahr 2000 waren vergleichsweise wenige technische Probleme zu verzeichnen. Zwar gab es ähnlich wie in

den Vorjahren pro Tag im Mittel 1.5 technische Ausfälle, die zu einem Strahlverlust führten bzw. die Injektion verhinderten, doch trugen in diesem Jahr dazu die technischen Probleme der Experimente in prominenter Weise bei.

Die technischen Probleme in HERA waren in der Regel Standardprobleme und konnten im allgemeinen sofort beseitigt werden. Insgesamt hat die Zuverlässigkeit der technischen Komponenten in HERA einen hohen Stand erreicht, welches sich in der hohen Luminositätseffizienz von 56% widerspiegelt.

Es gab jedoch noch einige bisher ungelöste beschleunigerphysikalische Probleme. Dies sind gelegentliche Strahlverluste von Positronen beim Zusammenfahren von Leptonen- und Protonenstrahl in den Wechselwirkungspunkten H1 und ZEUS sowie die Aufweitung der

longitudinalen Emittanz des Protonenstrahls während der Rampe um einen Faktor von etwa vier. Diese Probleme wurden im Berichtszeitraum untersucht, und es wurden Verbesserungsmaßnahmen eingeleitet.

Die Untergrundbedingungen an allen Experimenten waren durchweg gut, allerdings ergaben sich immer wieder Situationen, die eine Untergrundverbesserung durch Orbitmanipulationen im Bereich der Experimentierzonen und Optimieren der Protonen-Kollimatorpositionen erforderlich machten.

Ein Sonderfall ist das Auftreten von nicht synchron mit der Hochfrequenz umlaufenden Protonen („Coasting Beam“), die mit dem HERA-B Target außerhalb des Triggerintervalls kollidieren und zu Problemen mit der Datennahme führen. Außerdem können diese Teilchen nicht effizient kollimiert werden. Sie verlieren Energie durch Abstrahlung von Synchrotronlicht und gehen schließlich unkontrolliert verloren, was Untergrundprobleme verursacht. Die Erzeugung von nicht synchronen Protonen konnte durch modifizierte Hochfrequenzparameter (eine größere 52 MHz HF-Amplitude) etwa um den Faktor zwei bis vier unterdrückt werden. Ein breitbandiger Kickermagnet wurde eingesetzt, um die unerwünschten Teilchen zwischen den Teilchenpaketen aus HERA herauszukicken. Die Kombination dieser beiden Maßnahmen stellte tolerable Bedingungen für alle Experimente her.

## Beschleunigerentwicklung

Im Berichtszeitraum wurde eine Reihe von Maschinenstudien durchgeführt, um den Betrieb der Maschine zu verbessern, den bereits erwähnten beschleunigerphysikalischen Problemen nachzugehen und Fragen im Zusammenhang mit der bevorstehenden HERA-Luminositätserhöhung zu klären.

Zur Optimierung des HERA-B Target-Betriebs, insbesondere zur Verbesserung der Target-Effizienz, wurden Experimente durchgeführt, um die Population des Protonenstrahls in den Schwänzen der transversalen Verteilung mittels Modulation der Betatron-Frequenzen zu vergrößern. Dies führte zu einer gleichmäßigeren Targetrate und wirkte sich nicht nachteilig auf den Untergrund der übrigen Experimente aus.

Eine Reihe von Experimenten beschäftigte sich mit Aspekten der HERA Luminositätserhöhung.

Eine im Rahmen einer Doktorarbeit durchgeführte Untersuchung der transversalen Verteilung des Leptonenstrahls ergab, dass nach der Luminositätserhöhung keine Erhöhung des Synchrotronstrahlungs-Untergrundes aufgrund von Anomalien in der Strahlverteilung zu erwarten ist.

Die Leptonen in HERA mit den neuen Wechselwirkungszonen werden ab dem Jahr 2001 mit einer Strahl-optik mit 72 Grad Betatronphasenvorschub pro FODO Zelle betrieben. Diese Optik ergibt zusammen mit einer HF-Frequenzverschiebung von 175 Hz die erforderliche Leptonen-Emittanz von 22 nm. Diese Strahl-optik wurde eingehend untersucht. Akzeptanz und Emittanz wurden gemessen und verifiziert. Mit dieser Optik wurden Positronen und Protonen kollidiert. Die gemessene Luminosität entsprach den Erwartungen (Abb. 103). Außerdem konnten mit dieser Optik in kurzer Zeit gute Werte der Spin-Polarisation (>60%) erzielt werden. Mit der 72 Grad Optik wurde das Verhalten des Positronenstrahls bei extrem großen Strahl-Strahl-Q-Verschiebungen untersucht. Das Ergebnis ist, dass mit den für 2001 angestrebten Strahl-Strahl-Q-

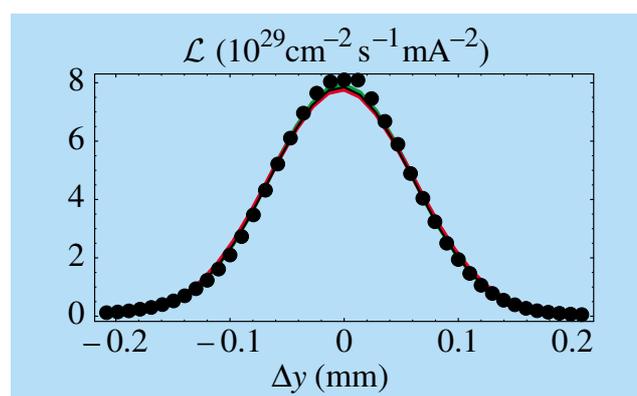


Abbildung 103: Luminositäts-Scan mit der neuen 72 Grad Optik: Die spezifische  $e/p$  Luminosität ist gegen eine vertikale Strahlseparation aufgetragen. Die sich ergebende Kurve zeigt, dass die erwartete spezifische Luminosität erreicht wird, und dass die effektive Strahlbreite am Wechselwirkungspunkt den Erwartungen entspricht. Die Abbildung zeigt die Messpunkte (Punkte) und Fitkurven unter der Annahme Gaussischer Strahlverteilung.

Verschiebungswerten HERA ohne Probleme betrieben werden kann.

Methoden zur Verbesserung des Strahlorbits wurden getestet. Im Rahmen einer Diplomarbeit wurden die Temperaturstabilität und die mechanischen Eigenschaften der Magnetbrücken an den Wechselwirkungszonen untersucht. Eine Methode zur Dispersionskorrektur wurde entwickelt und experimentell verifiziert. Damit wurden viele wesentliche Aspekte der Strahldynamik in HERA nach der Luminositätserhöhung getestet. Es ergaben sich keinerlei Anhaltspunkte für zu erwartende Probleme.

Andere Experimente beschäftigten sich mit der bereits erwähnten Aufweitung der longitudinalen Emittanz des Protonenstrahls bei der Rampe. Mit einem im Rahmen einer Doktorarbeit aufgebauten Multi-Bunch Messsystem konnte nachgewiesen werden, dass diese auf gekoppelte Multi-Bunch-Synchrotronoschwingungen, die während der Beschleunigung auftreten, zurückzuführen ist. Für ein eventuelles Rückkopplungssystem wurden vorbereitende Studien durchgeführt. Es wurden Messungen zur Strahltransferfunktion durchgeführt und das Dämpfungsverhalten des Strahls mittels Strahlechomethoden untersucht.

Das beschriebene Beschleunigerentwicklungsprogramm wird für den Betrieb von HERA in den kommenden Jahren von großem Nutzen sein.

## HERA Luminositätserhöhung

Die vorbereitenden Arbeiten für die HERA Luminositätserhöhung wurden im Berichtszeitraum weit vorangetrieben.

Die Fertigstellung, Vermessung und Lieferung der 60 normalleitenden Dipol- und Quadrupol-Magnete wurde im Berichtsjahr abgeschlossen. Noch nicht wieder zur Verfügung standen am Jahresende ein vertikaler Korrekturmagnet für Protonen (Typ CZ), der neu ausgelegt werden musste sowie die Magnete vom Typ BN und BH, die nach dem Ausbau aus HERA extern modifiziert und mit neuen Spulen versehen werden. Die Dipolmagnete vom Typ BT, die ebenfalls aus HERA ausgebaut und modifiziert werden mussten, sind weit-

gehend fertig gestellt. Die Fertigung der supraleitenden Magnete GO und GG ist im Berichtsjahr im Brookhaven National Laboratory BNL (USA) angelaufen. Zwei Magnete vom Typ GO wurden an DESY ausgeliefert und dort getestet. Die Magnete erfüllen sehr gut die Feldspezifikation, aber nicht die Vorgaben für die kryogenischen Verluste. Die erhöhten Verluste können jedoch durch stärkere Helium-Pumpen und zusätzliche Isolierung ausgeglichen werden. Die Spulenfertigung des zweiten Magnettyps GG ist abgeschlossen. Mit der Montage des ersten GG wurde Anfang Dezember 2000 begonnen. Er sollte gegen Ende des Jahres fertig montiert sein.

Die Arbeiten am Vakuumsystem der Protonen sind bis auf einige aufgrund von Modifikationen notwendige Restarbeiten abgeschlossen. Das komplexe Kammer-system für den Leptonenstrahl in der Nähe der Wechselwirkungszone ist weitgehend fertig gestellt. Alle Magnete auf den Magnetbrücken sind mit Kammern, Absorbieren und Pumpen ausgerüstet. Die sehr aufwendigen Kammer-systeme für den GM Magneten, verkupferte Edelstahlprofile mit aufgelöteten Pumpkanälen für NEG-Pumpen, sind noch in der Fertigung. Die Magnetstützen inklusive der Magnetbrücken stehen für den Einbau zur Verfügung. Die Beschaffung von Netzgeräten, Kabeln, kryogenischen Versorgungseinrichtungen und Diagnoseeinrichtungen verläuft wie geplant. Mit der Erstellung umfangreicher Rechnerprogramme zur Kontrolle der neuen Komponenten wurde im Berichtszeitraum begonnen.

Seit September 2000 haben die Umbauarbeiten in HERA angefangen. In den Monaten September und Oktober wurden die alten Komponenten abgebaut, im November wurde mit der Montage der neuen Komponenten begonnen. Das komplexe Magnetstützensystem für die Rotatoren um das gerade Stück Nord ist weitgehend montiert. Die vollständig ausgerüsteten Magnetbrücken in Nord und Süd sind ebenfalls bereits aufgestellt. Mit der Aufstellung der neuen Magnete in den geraden Stücken wurde gegen Ende des Berichtszeitraums begonnen.

Die Herstellung, Beschaffung und Montage der Komponenten für die HERA-Luminositätserhöhung ist planmäßig fortgeschritten, so dass die Fertigstellung der Arbeiten fristgemäß erwartet wird.