

# Speicherringanlage HERA

## Übersicht über das HERA-Betriebsjahr 2003

Das Jahr 2003 begann nach einer kurzen Anlaufphase mit einer elfwöchigen Strahlbetriebsperiode für die vier Experimente H1, ZEUS, HERMES und HERA-B. Das Physikprogramm von HERA-B wurde danach beendet.

Nach einer kurzen Strahlzeit für Beschleunigerstudien wurde der Betrieb ab März 2003 unterbrochen, um in den Experimenten H1 und ZEUS Umbauten an den Synchrotronstrahlungskollimatoren und den Einbau neuer Detektorsysteme vorzunehmen, und um weitere Verbesserungen an den Vakuumsystemen in den Experimentierzonen zur Verbesserung der Untergrundbedingungen durchzuführen. Dies erforderte eine Belüftung der Vakuumsysteme um die Wechselwirkungszonen.

Nach dem Wiederanlauf im August mussten die Vakuumsysteme in einer langwierigen Prozedur, die sich über vier Wochen erstreckte, mit Strahl konditioniert werden. Daran schloss sich eine zweiwöchige Be-

schleunigerentwicklungsperiode an. Der Luminositätsbetrieb mit den Experimenten H1, ZEUS und HERMES wurde im Oktober wieder aufgenommen. Er erstreckte sich bis zum 31.12.2003. Dazwischen wurde der Luminositätsbetrieb im Dezember für eine einwöchige Maschinenschichtperiode und für eine sechstägige Weihnachtspause unterbrochen. (Tab. 2)

## Betriebsergebnis 2003

Im Jahr 2003 hat HERA für die Experimente H1 und ZEUS Luminosität mit kollidierenden Positronen- und Protonenstrahlen geliefert. Für das Experiment HERMES wurde der Positronenstrahl und für HERA-B der Protonenstrahl (bis Februar 2003) zur Verfügung gestellt. Ab Oktober 2003 standen für die drei Experimente ZEUS, H1 und HERMES longitudinal polarisierte Positronenstrahlen zur Verfügung.

Im Betriebsergebnis des Jahres 2003 von HERA spiegeln sich die lange Betriebspause von 158 Tagen und die Begrenzung der Strahlströme durch Untergrund der Experimente wider. Für den Luminositätsbetrieb stan-

01.01.03 – 23.02.03	Luminositätsbetrieb
24.02.03 – 02.03.03	Maschinenstudien
03.03.03 – 31.07.03	Betriebspause
01.08.03 – 15.09.03	Wiederanlauf, Vakuumkonditionierung
16.09.03 – 28.09.03	Maschinenstudien
01.10.03 – 10.12.03	Luminositätsbetrieb
11.12.03 – 18.12.03	Maschinenstudien
19.12.03 – 22.12.03	Luminositätsbetrieb
23.12.03 – 28.12.03	Betriebspause
29.12.03 – 31.12.03	Luminositätsbetrieb

Tabelle 2: *Betriebsübersicht 2003.*

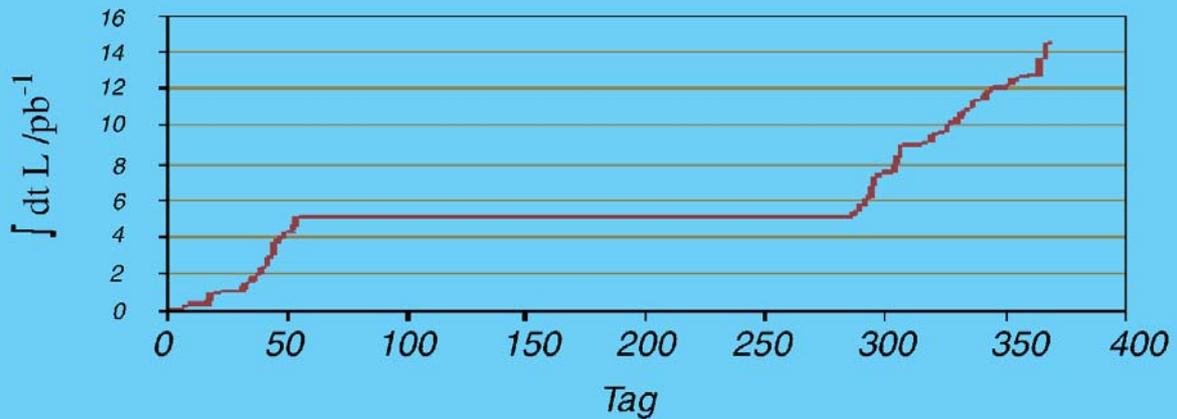


Abbildung 93: Integrierte Luminosität von Positron-Proton Kollisionen in HERA als Funktion der Betriebszeit im Jahre 2003.

den lediglich 100 Betriebstage zur Verfügung. Sehr viel Zeit musste für Maschinenstudien und Konditionierung der Vakuumsysteme mit Strahl aufgewendet werden.

Somit entfielen 44% der insgesamt verfügbaren Zeit auf die Betriebspause, 28% auf Maschinenstudien, während 27% der Zeit wurde Luminosität geliefert und 1% wurde für Arbeiten an den Experimenten benötigt. Insgesamt wurde eine Positron-Proton Luminosität von  $14 \text{ pb}^{-1}$  geliefert. Die Entwicklung der integrierten Luminosität für das gesamte Jahr ist in Abbildung 93 dargestellt. In der zweiten Jahreshälfte haben die mit HERA gewonnenen Daten wegen der longitudinalen Polarisation des Positronenstrahls, der Polarisationsgrad in den Wechselwirkungspunkten von H1 und ZEUS betrug bis zu 40%, jedoch eine neue Qualität erreicht.

Die Effizienz des Luminositätsbetriebs von immerhin 41% zeigt, dass die operationellen Schwierigkeiten im Zusammenhang mit der Luminositätserhöhung weitgehend überwunden sind. Der zeitliche Aufwand für die e- und p-Injektion mit 6% und 9% ist eher etwas geringer als in den Jahren vor dem Umbau. Jedoch ist die Einbuße von Betriebszeit durch technische Ausfälle mit 44% immer noch zu hoch.

## Verbesserung des Untergrunds der Experimente

Das herausragende Problem von HERA, welches sich nach der Luminositätserhöhung von HERA zeigte, sind hohe Ströme der Drahtkammern der Experimente H1 und ZEUS. Die Ursachen wurden in den Vorjahren weitgehend untersucht und verstanden. Eine externes Beratungs-Komitee hat im Januar 2003 die Untersuchungen und die vorgeschlagenen Maßnahmen begutachtet und als umfassend und ausreichend beurteilt. Die Ergebnisse lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

- Der Untergrund durch direkte Synchrotronstrahlung des Positronenstrahls ist kein prinzipielles Problem und kann durch eine Kombination von optimierter Magnetaufstellung auf der Basis von Messungen mit dem Strahl und sorgfältiger Orbitkontrolle vollständig unterdrückt werden.
- Die zurückgestreute Synchrotronstrahlung ist hauptsächlich ein Problem für ZEUS und ist auf einen Fehler im Kollimatorsystem zurückzuführen.
- Der Untergrund durch Positronen, die vor dem Experiment Energie durch Streuung an den Restgas-

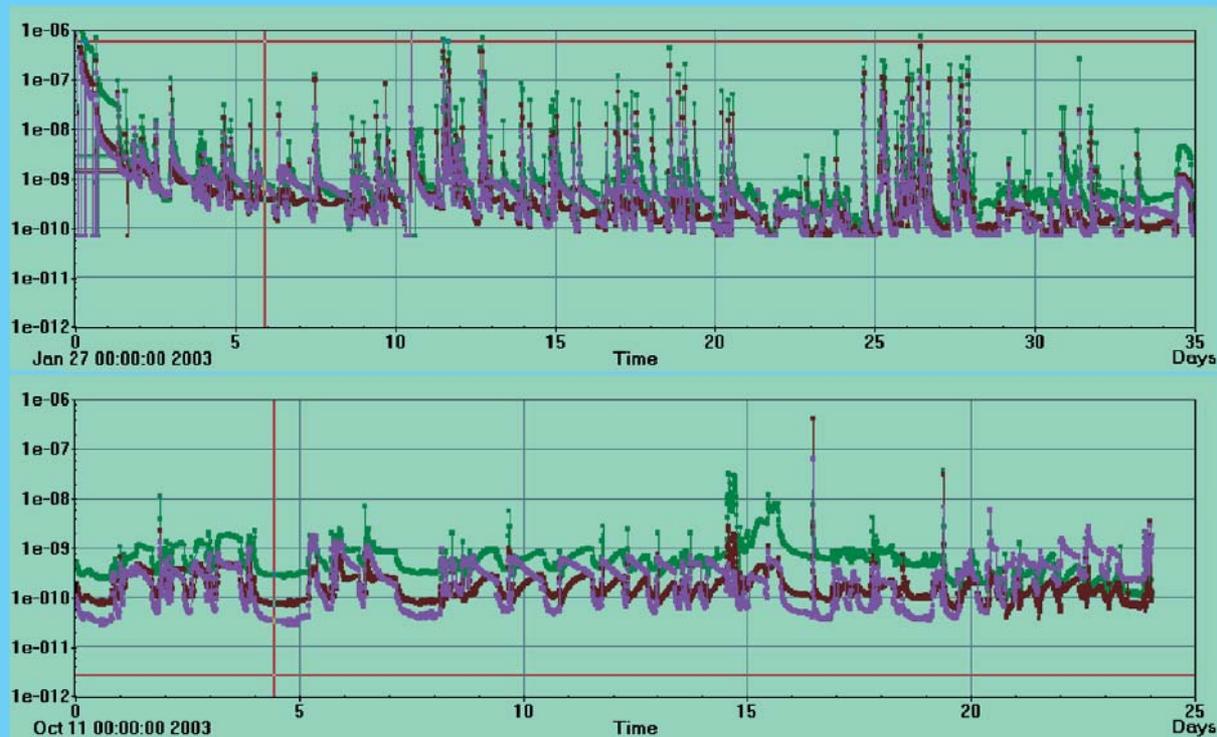


Abbildung 94: HERA: Zeitliche Vakuum-Druck-Entwicklung SR 3.6 m–8 m über etwa einen Monat vor (Bild oben) und nach den Verbesserungen in der Betriebspause 2003 (Bild unten). Man erkennt, dass die starken Druckanstiege bei Injektion von Positronen nicht mehr auftreten und sich ein besseres Vakuum in den dazwischen liegenden Zeiträumen mit hoher Strahlenergie ergibt.

molekülen verloren haben, ist merklich, spielt aber keine dominierende Rolle.

- Der Untergrund durch Protonen, die vor dem Experiment am Restgas streuen, ist insbesondere für das Experiment H1 dominierend. Die Quelle der gestreuten Teilchen verteilt sich auf die Strecke von 2 m–10 m auf der rechten Seite vor den Wechselwirkungspunkten. Die Untergrundrate hängt linear vom Positronenstrom ab. Dies wird auf die Desorption von Gas durch die Synchrotronstrahlung des Positronenstrahls zurückgeführt. Zum Teil ist die erhöhte Empfindlichkeit der Drahtkammerströme auf gestreute Teilchen auf eine (gegenüber der Anordnung des Jahres 2000) modifizierte Detektorgeometrie zurückzuführen. Ein Teil bleibt jedoch ungeklärt, zumal die Vakuumverhältnisse sich gegenüber der

früheren Anordnung verbessert haben. Die Situation wird verschärft durch einen starken Druckanstieg bei Injektion des Positronenstrahls.

Die folgenden Verbesserungsmaßnahmen wurden in der Betriebspause zwischen März und August durchgeführt:

- Umbau des Synchrotronstrahlungskollimatorsystems in ZEUS zur Behebung des Fehlers im alten System und zur Vermeidung starker Erhitzung durch die Felder des Positronenstrahls.
- Umbau der entsprechenden Kollimatoren in H1.
- Einbau einer integrierten Getterpumpe in H1.
- Vergrößerung der Schlitze der Hochfrequenzabschirmung der Pumpenstutzen der Getterpumpen bei NR/

SR 6 m und 8 m zur Erhöhung der Saug-Leistung im Strahlrohr.

- Verdopplung der Pumpleistung für inerte Gase bei SR-NR 3.6 m, 6 m, 8 m durch Hinzufügen von zusätzlichen Getterpumpen bzw. Verwendung von Pumpen mit größerer Saug-Leistung.
- Einbau einer NEG-Pumpe bei NL/SL 30 m in einer e-Vakuumkammer, die innerhalb des Magneten GA für die Fokussierung der Protonen verläuft.
- Einbau von Gasanalysatoren in der Wechselwirkungszone zur besseren Überwachung des Vakuumdrucks.

Diese Maßnahmen haben für den Betrieb in der zweiten Jahreshälfte zu deutlichen Verbesserungen geführt:

Die Ströme der ZEUS-Drahtkammern begrenzen nicht mehr die Protonen- und Positronenstrahlströme. Das Untergrundproblem in ZEUS kann damit als überwunden betrachtet werden.

Der starke Vakuumanstieg bei Positroneninjektion durch thermische Desorption in Zusammenhang mit Erhitzung der Vakuumkomponenten des Experimentstrahlrohrs durch die Hochfrequenzfelder des Strahls ist deutlich reduziert. Mit den neuen, optimierten Kollimatoren und der vergrößerten Saug-Leistung in den Wechselwirkungszone von HERA verbessert sich auch der Druck bei hoher Energie in den kritischen Bereichen zwischen NR/SR 2 m–10 m (siehe Abbildung 94).

Jedoch musste festgestellt werden, dass der H1-Detektor auch nach den Verbesserungen noch unter hohen Untergrundströmen leidet. Ende 2003 waren die Ströme (extrapoliert auf volle Proton- und Positronströme) noch um den Faktor 1.5–2 zu hoch.

## Verbesserungen der HERA-Betriebsparameter

Die HERA Betriebs- und Operationsparameter werden durch intensive Maschinenstudien und beschleunigerphysikalische Untersuchungen ständig verbessert. Zwei Resultate verdienen besondere Erwähnung:

Im Februar wurde in HERA im Kollisionsbetrieb mit 120 Bunchen eine Luminosität von  $2.7 \times$

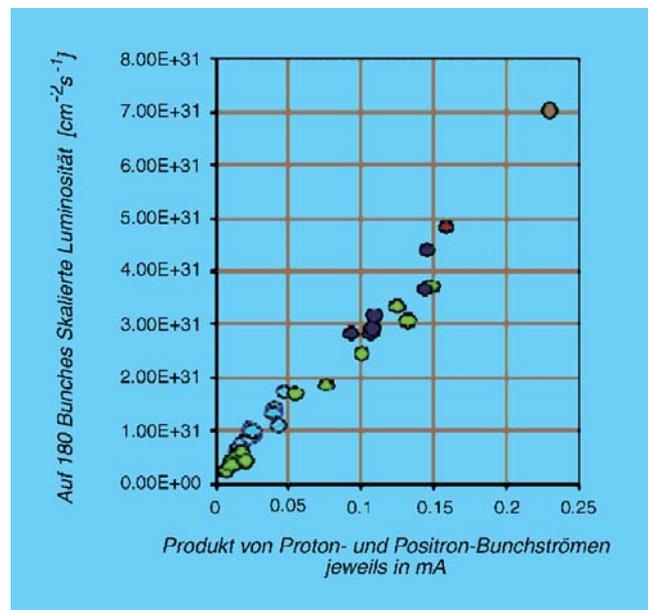


Abbildung 95: Luminosität als Funktion der Bunchintensität der Protonen. Da die Werte bei unterschiedlicher Anzahl von gespeicherten Teilchenpaketen aufgenommen wurden, sind die gemessenen Luminositäten auf die volle Bunchzahl von 180 skaliert worden, um sie vergleichen zu können.

$10^{31} \text{ cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$  (gemessen mit dem H1 Luminositätsmonitor) erreicht. Dieser Wert entspricht der maximalen Luminosität, die mit den derzeit erreichbaren Strahlströmen in HERA realisiert werden kann. Somit wurde demonstriert, dass die Voraussetzungen, die Spitzen-Luminosität um den Faktor vier zu erhöhen, gegeben sind. Die Abbildung 95 zeigt die Luminosität als Funktion der Intensität der Protonenteilchenpakete (Bunchintensität). Da die Werte bei unterschiedlicher Anzahl von gespeicherten Teilchenpaketen aufgenommen wurden, sind die gemessenen Luminositäten auf die volle Bunchzahl von 180 skaliert worden, um sie vergleichen zu können.

Das zweite wichtige Resultat ist die Bereitstellung von longitudinal polarisierten Positronen für Positron-Proton Kollisionen in den Experimenten H1 und ZEUS.

Die Polarisation nach dem Luminositätsumbau ist aus folgenden Gründen schwieriger:

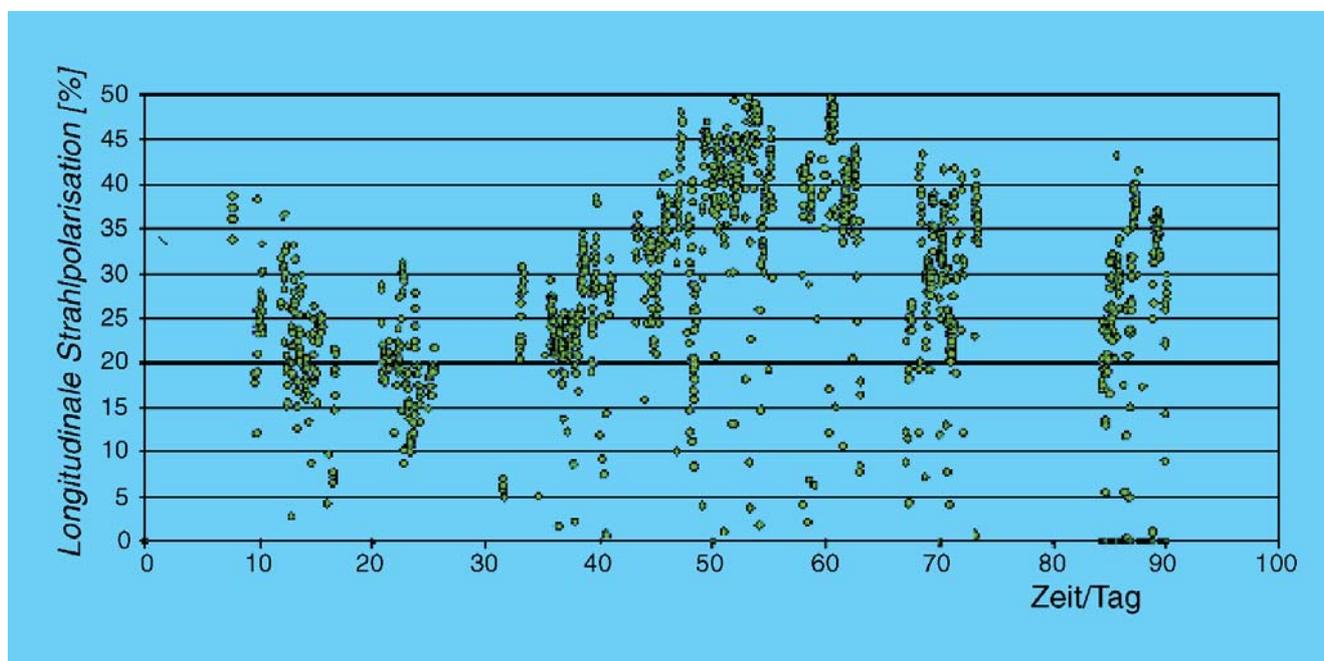


Abbildung 96: Longitudinale Strahlpolarisation an drei Wechselwirkungspunkten in HERA von Oktober bis Dezember 2003.

- HERA besitzt nunmehr drei Spinrotator-Paare (jeweils 60 m lange Strecken mit horizontal und vertikal ablenkenden Dipolmagneten).
- Die Detektorsolenoidfelder sind nicht mehr lokal mit Antisolenoiden kompensiert, und die Designtrajektorien verlaufen nicht mehr parallel zum Solenoidfeld.
- Die Strahl-Strahl-Kraft wird durch die höhere Luminosität verdreifacht.

Diesen Schwierigkeiten wird mit den folgenden Maßnahmen begegnet:

- Das bewährte System von acht harmonischen Orbitbeulen wird um acht zusätzliche erweitert.
- Die Spin-Transparenz der Strahloptik wurde weiter verbessert.
- Die Orbitkorrekturen wurden weiter verbessert.
- Die Strahloptik wurde empirisch korrigiert, so dass die Unterschiede zu den Sollwerten weniger als 10% betragen.

Diese Maßnahmen führten im Februar 2003 zum ersten Mal zum Erfolg: Die Polarisation, die zuerst

mit inaktiven Rotatoren auf Werte um 40% optimiert wurde, ließ sich nach Einschalten der Rotatoren in Nord und Süd sogar auf Werte von 50% optimieren (s. Abb. 96). Anschließend wurden der longitudinal polarisierte Positronenstrahl in den Wechselwirkungspunkten von H1 und ZEUS mit Protonen zur Kollision gebracht.

Dieses Resultat stellt in der Tat eine Weltneuheit dar und eröffnet neue und interessante Forschungsmöglichkeiten mit den HERA-Strahlen.

Ansonsten verdient Erwähnung, dass die schlechte Lebensdauer und die operationellen Probleme mit dem Positronenstrahl im Berichtszeitraum verstanden werden konnten und durch einfache Maßnahmen beseitigt werden konnten.

Die Orbitstabilisierungssysteme, die im Vorjahr entwickelt wurden, konnten in den Routinebetrieb integriert werden. Die Lage des Strahls im relativ engen Vakuumsystem in den Experimentierzonen wird durch ein ausgeklügeltes System von Monitoren überwacht und in allen Betriebsphasen kontrolliert. Damit sind die operationellen Schwierigkeiten mit den HERA Strahlen überwunden.

## Technische Verbesserungen

Nach über zehn Betriebsjahren zeigen sich bei einigen Komponenten von HERA altersbedingte Schwächen.

An dieser Stelle sollen zwei prominente Beispiele erwähnt werden:

Nach dem Auffinden von zwei defekten Magnetspulen bei den Magneten des Typs BU, einem vertikal ablenkenden konventionellen Dipolmagnet für den Protonenstrahl, wurde ein Neubeschaffungsprogramm für die BU Magnetspulen eingeleitet. Die über 1 t wiegende Teilspule eines der Magnete wurde bereits ausgetauscht.

Die Stecker der Stromzuführungen der supraleitenden Korrekturmagneten wiesen starke Korrosionserscheinungen auf. Aus diesem Grund wurden alle Stecker dieser Art durch neue ersetzt sowie eine Konstruktionsänderung an der Abschirmung der Stecker vorgenommen, die Feuchtigkeitsbildung und Korrosion verhindern soll.

Mit der erhöhten Komplexität der neuen Wechselwirkungszone in HERA tritt eine Schwäche des HERA Sicherheitssystem stärker zutage und stellt neuerdings ein praktisches Problem dar: Fällt einer der Fokussiermagnete in der Wechselwirkungszone (low-beta Quadrupolmagnet) aus, so erfolgt der Verlust des Protonenstrahls so schnell, dass das Alarmsystem nicht rechtzeitig die sichere Entsorgung des Protonenstrahls im Protonendump gewährleisten kann. Dies führte in der Vergangenheit gelegentlich zu unkontrollierten Protonenstrahlverlusten, die in der Regel einen Quench der supraleitenden Magnete verursachen. Durch die Erhöhung von 6 auf 14 kritische Stromkreise haben diese Strahlverluste ein tolerierbares Maß überschritten, und ein umfangreiches Programm zur Lösung des Problems wurde eingeleitet.

Die folgenden Maßnahmen wurden 2003 eingeleitet und teilweise abgeschlossen:

- Die kritischen großen Netzgeräte werden einer regelmäßigen Funktionskontrolle unterworfen.
- Im Fehlerfall werden die im Netzgerät auftretenden Alarmmessungen direkt an das zentrale Alarmsys-

tem weitergegeben. Der bisherige Signalpfad über eine speicherprogrammierte Steuerung (SPS) ist zu lang. Diese Maßnahme wurde mit einem Prototyp getestet. Die Auslösung des Strahldumps erfolgte nach  $150\ \mu\text{s}$ , mindestens 2 ms vor Auftreten von Strahlverlusten.

- Der Strom der Netzgeräte wird unabhängig überwacht. Diese Maßnahme ist in der Vorbereitungsphase.
- Die Signalverzögerung im ringweiten Alarmsammlersystem wird durch optimierte Schaltungen um  $200\ \mu\text{s}$  verkürzt.
- Eine Verzögerung bei der Auslösung des Protonenstrahldumps von  $600\ \mu\text{s}$  wurde durch eine verbesserte Schaltung vermieden.
- Der Protonenstrahlstrom wird durch zwei unabhängige Monitore auf seine Stabilität überwacht. Dieses Sicherungssystem wurde erfolgreich erprobt und in den Betrieb integriert.
- Die Strahlmenge des Protonenstrahls wird überwacht. Diese Maßnahme wurde erfolgreich getestet, und die routinemäßige Anwendung ist in Vorbereitung.

Die Gesamtheit dieser Maßnahmen sollte unkontrollierte Protonenstrahlverluste auf etwa einen Fall pro fünf Betriebsjahre reduzieren.

## Zusammenfassung

Die Probleme, die einen erfolgreichen Betrieb von HERA in den beiden Vorjahren behinderten, sind zu einem großen Teil behoben. HERA hat den routinemäßigen Luminositätsbetrieb mit longitudinal polarisierten Positronstrahlen an allen drei Wechselwirkungspunkten wieder aufgenommen. Die Produktionsrate der Luminosität lag gegen Ende des Berichtszeitraums bei  $380\ \text{nb}^{-1}$  pro Tag und übersteigt damit die Luminositätsproduktion im Jahre 2000.

Die technische Funktionsfähigkeit von HERA wird mit großem, kontinuierlichem Einsatz aller technischen Gruppen erhalten und ausgebaut.