

Speicherringanlage HERA

HERA Betrieb 1999

07.01. – 14.01.	Maschinenanlauf
15.01. – 26.04.	Elektron-Proton-Luminositätsbetrieb
26.04. – 02.05.	Beschleunigerentwicklung
03.05. – 14.06.	Betriebsunterbrechung
14.06. – 21.06.	Maschinenanlauf mit Umstellung auf Positronen
21.06. – 05.07.	Beschleunigerentwicklung
08.07. – 13.12.	Positron-Proton-Luminositätsbetrieb
13.12. – 19.12.	Beschleunigerentwicklung

Der HERA-Betrieb 1999 wurde bereits am 7. Januar aufgenommen. Nach einer kurzen Anlaufperiode begann der Luminositätsbetrieb mit Elektron-Proton Kollisionen Mitte Januar 1999. Eine Reihe von technischen Problemen führte jedoch zu einem schleppenden Betrieb, der erst nach der Behebung von mehreren Windungsschlüssen und Verpolungen einiger Magnetkreise in einen Routinebetrieb überging.

Ab Mitte Februar verlief der Luminositätsbetrieb ungestört. Der Elektron-Proton-Betrieb wurde mit Beschleunigerstudien in der letzten Aprilwoche beendet. Die sich anschließende sechswöchige Betriebspause wurde in erster Linie vom HERA-B Experiment für Installationsarbeiten genutzt.

Mitte Juni wurde der HERA-Betrieb mit der Umstellung auf Positronen-Betrieb und Beschleunigerstudien wieder aufgenommen. Eine Besonderheit der zweiten HERA-Betriebsperiode 1999 war die Durchführung von sogenannten „Mini-Shutdowns“, dreitägigen Betriebsunterbrechungen jeweils zum Anfang eines Monats.

Der Positron-Proton Luminositätsbetrieb begann Anfang Juli und endete Mitte Dezember. In diesem Zeit-

Maschinenanlauf	14 Tage	4%
Maschinenentwicklung	33 Tage	9%
Wartung	21 Tage	6%
Betriebspause	61 Tage	17%
Luminositätsbetrieb	236 Tage	64%

Tabelle 2: HERA Betriebsstatistik 1999.

raum wurde der Betrieb sechsmal durch die dreitägigen „Mini-Shutdowns“ unterbrochen.

Der HERA-Betrieb 1999 endete mit einer sechstägigen Maschinenentwicklungszeit.

Elektron-Proton Luminositätsbetrieb

In der ersten Hälfte des Jahres wurde der Luminositätsbetrieb mit Elektron-Proton-Kollisionen durchgeführt. Die Betriebsparameter zeigt Tabelle 3. Insgesamt wurde 149 Mal Luminosität herbeigeführt, die sich zu einer integrierten Luminosität von 17.3 pb^{-1} (gemessen mit dem ZEUS-Luminositätsdetektor) aufsummierte (Abb. 84).

Die Untergrundprobleme vom Vorjahr waren nach der Reparatur von mehreren Magnet-Defekten mit Erd- und Windungsschlüssen im Januar und Februar weitgehend beseitigt. Allerdings waren die Dunkelströme der H1-Driftkammer mit gespeichertem Elektronen-Strahl im Vergleich zum Positronen-Betrieb immer noch überhöht.

Die spezifische Luminosität war etwas höher als aufgrund der nominellen Strahlgrößen erwartet wurde. Dies konnte auf den Fokussierungseffekt der Protonen auf den Elektronen-Strahl zurückgeführt werden.

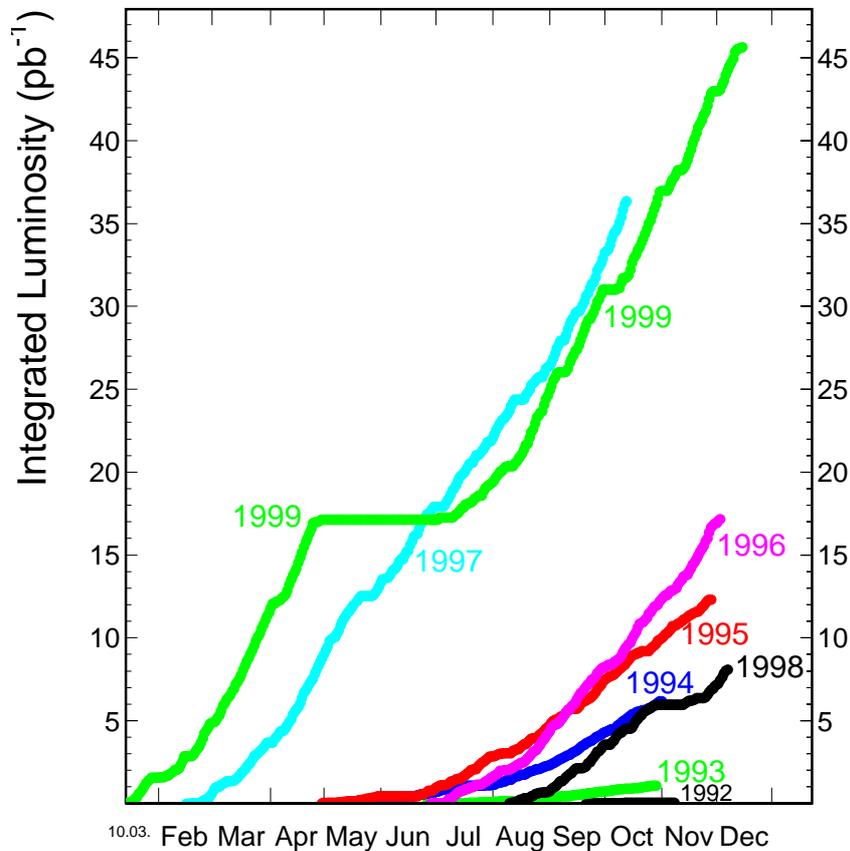


Abbildung 84: Entwicklung der integrierten HERA-Luminosität in den Jahren 1992–1999.

Die absolute Luminosität war begrenzt durch die Intensität des Elektronen-Strahls, der nur sehr langsam auf Strahlströme um 35 mA gesteigert werden konnte.

Die Strahllebensdauer war nicht allein durch Streuung am desorbierten Restgas bestimmt, sondern durch zusätzliche Effekte. Damit war die Strahllebensdauer am Anfang auf etwa fünf Stunden begrenzt. Dies hatte relativ kurze Elektronen-Speicherzeiten zur Folge. Aus diesem Grund wurden pro Protonen-Füllung in der Regel zwei Elektronen-Füllungen herbeigeführt. Die Untergrundverhältnisse im zweiten Elektronenlauf waren tolerabel bis gut. Die spezifische Luminosität war etwa um 10–20% durch Aufweitung der Protonen-Emittanz reduziert.

Bemerkenswert war die ausgezeichnete Betriebs-Effizienz, das ist das Verhältnis der Luminositätszeit zu der zur Verfügung stehenden Zeit, von über 60% in den Monaten März und April 1999.

Positron-Proton Luminositätsbetrieb

In der zweiten Hälfte des Jahres wurde der Luminositätsbetrieb mit Positron-Proton-Kollisionen durchgeführt. Die Betriebsparameter zeigt Tabelle 4. Insgesamt wurde 168 Mal Luminosität herbeigeführt, die sich zu einer integrierten Luminosität von 28.2 pb^{-1} (gemessen mit dem ZEUS Luminositätsdetektor) aufsummierte (Abb. 84).

Die erhöhten Dunkelströme der H1-Driftkammer traten mit gespeichertem Positronen-Strahl nicht mehr auf, ein Umstand, der zur Zeit nicht verstanden ist.

Die spezifische Luminosität war etwas niedriger aufgrund des Defokussierungs-Effektes des Positronen-Strahls durch die Protonen und des damit verbundenen um etwa 20% größeren Strahlquerschnitts am Wechselwirkungspunkt. Dies führte zu einem Einbruch der Lebensdauer des Positronen-Strahls bis hin zum tota-

		Elektronen	Protonen	
Strahlenergie	[GeV]	27.5	920	
Strahlstrom	[mA]	25–35	70–90	
$\beta_{x,y}^*$	[m]	1.0, 0.7	7.0, 0.5	
Spezifische Luminosität	$[10^{29}\text{cm}^{-2}\text{sec}^{-1}\text{mA}^{-2}]$			6.4–7.5
Spitzen-Luminosität	$[10^{31}\text{cm}^{-2}\text{sec}^{-1}]$			0.6–1.2
Effizienz	[%]			50
Integrierte Luminosität	$[\text{pb}^{-1}]$			17.3

Tabelle 3: HERA Elektron-Proton Parameter.

		Positronen	Protonen	
Strahlenergie	[GeV]	27.5	920	
Strahlstrom	[mA]	35–45	80–100	
$\beta_{x,y}^*$	[m]	1.0, 0.6	7.0, 0.5	
Spezifische Luminosität	$[10^{29}\text{cm}^{-2}\text{sec}^{-1}\text{mA}^{-2}]$			6.0–7.0
Spitzen-Luminosität	$[10^{31}\text{cm}^{-2}\text{sec}^{-1}]$			1.0–1.5
Effizienz	[%]			49
Integrierte Luminosität	$[\text{pb}^{-1}]$			28.2

Tabelle 4: HERA Positron-Proton Parameter.

len Strahlverlust insbesondere zu dem Zeitpunkt, in dem Kollisionen herbeigeführt wurden. Dieses Problem konnte durch Verkleinerung der vertikalen β -Funktion der Positronen am Wechselwirkungspunkt von 70 cm auf 60 cm vermieden werden. Damit erreichte auch die spezifische Luminosität Werte um $7 \times 10^{29} \text{ cm}^{-2} \text{ sec}^{-1} \text{ mA}^{-2}$.

Die absolute Luminosität war durch die Intensität des Positronen-Strahls begrenzt, die im Laufe der Betriebsperiode allmählich auf 44 mA Anfangsstrom gesteigert werden konnte. Die Lebensdauer des Positronen-Strahls war, wie erwartet, durch Bremsstrahlungsprozesse am Restgas bestimmt und betrug bei Maximalströmen von 40 mA noch 7 Stunden. Aufgrund der guten Lebensdauer des Positronen-Strahls erstreckten sich die Luminositätsläufe über bis zu 12 Stunden. Aus diesem Grund wurde pro Protonen-Füllung jeweils nur eine Positronen-Füllung hergestellt.

Die Untergrundverhältnisse waren bei allen Experimenten sehr gut. Eine Ausnahme bildeten Effekte, die aufgrund von zu knappen Aperturverhältnissen der LPS-

Detektoren von ZEUS hervorgerufen wurden und die nach Bereitstellung einer ausreichenden Strahlapertur vermieden wurden.

Die Luminositäts-Betriebseffizienz war auch in der zweiten Jahreshälfte gut bis ausgezeichnet, sieht man von dem von technischen Problemen gekennzeichneten Monat Juli ab.

Polarisationsbetrieb

Im Betrieb mit spin-polarisierten Elektronen- und Positronen-Strahlen gab es 1999 keine grundsätzlichen Neuerungen. Allerdings wurden die in den Vorjahren bereitgestellten Optimierungsverfahren weiter entwickelt und verbessert. Das Resultat ist, dass routinemäßig ein Polarisationsgrad von um 60% erreicht wurde. Die Bedienung der Werkzeuge wurde soweit verbessert, dass die regelmäßige Nachoptimierung der Polarisation die Anwesenheit von Experten nicht mehr erforderte. Die Reoptimierung der Polarisation nach Änderung der

Polarisationsrichtung (durch Vorzeichenänderung der horizontalen Felder im Minirotator) erwies sich als eine problemlose Routineoperation.

Betriebseffizienz

Der Maßnahmenkatalog zur Erhöhung der Betriebseffizienz, der in der großen Betriebspause 1997/1998 durchgeführt wurde, bestehend neben vielen kleinen Verbesserungen aus dem Aufbau einer achten Hochfrequenzstrecke des e-Rings und der Aufstockung der Senderleistung um 1.5 MW auf 12 MW, Verbesserungen am Kopplersystem der supraleitenden Hochfrequenzresonatoren, Erneuerung der Spulen der Proton low- β Quadrupolmagnete vom Typ QS sowie Aufbau eines neuen 8000 A Stromversorgungsgerätes für den Protonen-Hauptkreis, hat sich 1999 mit einer deutlich verbesserten Effizienz ausgezahlt. So konnte die Effizienz nach der Stagnation 1997 mit 42% auf fast 50% gesteigert werden. Für Elektron- und Proton-Injektion wurden 7% bzw. 10% der Zeit benötigt. Der Rest verteilt sich auf Ausfallzeiten (28%) und Wartezeiten (5%). In den klimatisch günstigen Monaten März, April und September war die Effizienz sogar größer als 60%.

Betrieb mit Elektronen

Um den Einfang von Staubteilchen aus den Ionenzerstäuberpumpen im Strahl zu vermeiden, wurde das Vakuumsystem des e-Rings in der Betriebspause 1997/1998 auf NEG-Pumpen umgestellt.

Im Frühjahr 1999 hatte sich das Vakuumsystem von der Belüftung infolge der Umstellung auf NEG-Pumpen weitgehend erholt. Die Verbesserung der Druckerhöhung mit steigendem Elektronen-Strom hatte mit Werten von 2×10^{-10} mbar/mA eine gewisse Sättigung erreicht. Die Elektronen-Ströme konnten bis auf 35 mA gesteigert werden, wobei Lebensdauern von bis zu fünf Stunden erreicht werden konnten. Allerdings musste festgestellt werden, dass die Lebensdauer des Elektronen-Stroms bei kleiner Intensität mit dem Anfangsstrom korreliert. Dies wurde auch früher mit Elektronen beobachtet und durch den Einfang von ionisierten Staubteilchen im Elektronen-Strahl erklärt. Zwar

tritt der Effekt jetzt nur bei deutlich höheren Strahlströmen auf, womit ein deutlicher Fortschritt erzielt wurde, jedoch hat sich herausgestellt, dass das Elektronen-Lebensdauer-Problem auch nach dem Umbau auf NEG-Pumpen nicht vollständig gelöst ist. Das heißt, dass die Lebensdauer des Elektronen-Strahls nicht wie bei Positronen von der Streuung am desorbierten Restgas bestimmt zu sein scheint, sondern durch Streuprozesse an anderen Targets, deren Natur zur Zeit nicht bekannt ist.

Gegen Ende der Betriebszeit mit Elektronen wurde nach diesen Targets mit verbesserten Strahlverlustmonitoren gesucht. Der starke Synchrotronstrahlungs-Untergrund in diesen Monitoren wurde durch ein Kupferfilter zwischen den in Koinzidenz geschalteten Nachweis-Dioden unterdrückt. Die Monitore im Oktanten NR wurden mit den verbesserten Monitoren ausgerüstet. Allerdings wurden in diesem Beschleunigerbereich keine Targets gefunden. Inzwischen wurde die gesamte Maschine mit den verbesserten Monitoren ausgerüstet, um die Suche nach Targets voranzutreiben. Nach der Umstellung auf Positronen-Betrieb im Sommer 1999 war es dann jedoch zunächst nicht mehr möglich, diesem Problem weiter nachzugehen.

Maschinenentwicklung

Die Maschinenentwicklung im Jahr 1999 konzentrierte sich auf

- Fragen im Zusammenhang mit der Luminositätserhöhung,
- Fragestellungen im Zusammenhang mit strahlinduziertem Untergrund für die Experimente,
- Betriebsbedingungen für HERA-B,
- Verbesserung von Instrumentation und Diagnostik.

Insbesondere wurden 1999 neue Optiken für den HERA-Elektronen-Strahl getestet. Eine Optik mit 72° Betatron-Phasenvorschub pro FODO-Zelle wurde eingestellt und für den Kollisionsbetrieb optimiert. Die erforderliche kleine Emittanz wurde durch eine Verschiebung der Umlauffrequenz um 4×10^{-7} erzielt. Es

zeigte sich, dass diese Strahloptik, wie theoretisch erwartet, eine vergleichbare Akzeptanz wie die zur Zeit verwendete 60° Optik besitzt. Damit ist eine wichtige Voraussetzung für eine erfolgreiche Luminositätserhöhung in HERA erfüllt. In diesem Zustand wurde Luminosität erfolgreich herbeigeführt. Allerdings blieb die gemessene Luminosität hinter der Erwartung zurück. Dies muss noch weiter untersucht werden.

Bei HERA werden Protonen beobachtet, die einen so großen Energiefehler besitzen, dass sie ohne festen Phasenbezug zum Hochfrequenzsystem umlaufen. Ein solch großer Energiefehler kann sich über den Verlauf von vielen Stunden durch eine Kombination von Hochfrequenzrauschen, Intrabeamschattering (interne Coulomb-Protonenstreuung im Bunch) und zeitabhängige Dipolfehler aufbauen. Dies führt zu teilweise erheblichen Untergrundproblemen. Die Anhäufung von solchen Protonen konnte durch transversale Anregung nahe der vertikalen Betatron-Frequenz, die auf ein zeitliches Fenster in der Abortlücke des Bunchzuges beschränkt ist und somit nur ungebunchte Strahlteilchen erfasst, hinreichend unterdrückt werden.

Ein Nebeneffekt von Strahlkollisionen ist der Strahl-Strahl-Effekt, die Wirkung eines Strahls auf die Teilchen des Gegenstrahls. Dieser Effekt wurde für den HERA-Protonen-Strahl untersucht. Resultat ist, dass bis zu Elektronen-Intensitäten, die dem zweifachen des Designwerts (7×10^{10}) entsprechen, keine Wirkung auf die Protonen-Emittanz beobachtet werden konnte. Die Wirkung auf die Bevölkerung des Randbereichs der transversalen Strahlverteilung ist gering. Dies wurde auch für den Elektronen- bzw. Positronen-Strahl unter-

sucht. Der Randbereich der transversalen Strahlverteilung wurde mit „Scrapern“ abgetastet. Dabei wurden unter den gegenwärtigen Bedingungen keine Aufweitung unter Kollision festgestellt.

Luminositätserhöhung

Die Systeme für die HERA-Luminositätserhöhung wurden 1999 von der Designphase in die Produktionsphase überführt. Insbesondere ist die Fertigung der normalleitenden Magnete weit fortgeschritten. Die Prototypen der Magnete vom Typ GM und GN, denen ein völlig neuartiges Design zugrunde liegt, wurden gebaut und erfolgreich getestet. Bei den mehr konventionellen Magnettypen QI, QJ, QA, QB ist die Fertigung abgeschlossen bzw. weit fortgeschritten. Alle Magnete erfüllen die Spezifikation.

Auch an der Produktion der supraleitenden Magnete wird seit Juli in Brookhaven (USA) gearbeitet. Die Spulen des ersten Magnettyps GO sind in der Zwischenzeit gefertigt, Kalttests der Spulen bei 4.5 K haben begonnen. Der Einbau der Spulen in die Kryostate ist vorbereitet. Mit der Spulenproduktion des zweiten Magnettyps GG wurde zum Ende des Berichtszeitraums ebenfalls begonnen. Prototypen wurden für die komplizierten Vakuum- und Absorbersysteme auf der rechten Seite des Wechselwirkungspunkts gebaut. Alle extern zu fertigenden Komponenten sind mittlerweile ausgeschrieben, in den meisten Fällen wurden die Aufträge erteilt. Weitere Ausführungen hierüber finden sich bei den Berichten der Gruppen (Seite 189 ff).