

Bereich Beschleuniger (M)

Inhalt

Übersicht	197
Speicherringanlage HERA	199
Speicherring DORIS III	203
Die Vorbeschleuniger	205
Arbeiten der Gruppen des Bereichs Beschleuniger	209
Strahlenschutz	235
Voruntersuchungen zum TESLA Linear-Collider Projekt	239
Entwicklung eines Freie-Elektronen Lasers für sehr kurze Wellenlängen	245

Übersicht M-Bereich

HERA

Das Jahr 2000 war für HERA äußerst erfolgreich. Aufgrund einer ausgezeichneten Luminositätseffizienz von 56% wurden 67 pb^{-1} an integrierter Luminosität erreicht. Dies ist eine deutliche Steigerung gegenüber dem Vorjahreswert von 45.5 pb^{-1} . Die Untergrundbedingungen an allen Experimenten waren durchweg gut. In einer Reihe von Maschinenstudien wurden unter anderem Experimente zur Verbesserung des HERA-B Targetbetriebs und zu wesentlichen Aspekten der Strahldynamik in HERA nach der Luminositätserhöhung durchgeführt. Es ergaben sich keinerlei Anhaltspunkte für zu erwartende Probleme. Die vorbereitenden Arbeiten für die HERA-Luminositätserhöhung wurden im Berichtszeitraum weit voran getrieben. Über 60 normaleitende Dipol- und Quadrupol-Magnete und zwei supraleitende Magnete wurden geliefert. Die Umbauarbeiten in HERA haben im September 2000 begonnen. Mit der Fertigstellung der Arbeiten nach Plan ist zu rechnen.

DORIS III

Die in den vergangenen Jahren erreichten ausgezeichneten Strahllebensdauern beim Betrieb von DORIS III als Synchrotronlichtquelle waren auch für das Jahr 2000 typisch. Gegen Ende des diesjährigen Betriebes wurden folgende Lebensdauern erzielt: 13 Stunden bei 130 mA, 15 Stunden bei 110 mA und 20 Stunden bei 90 mA. Die Betriebseffizienz von 94.4% bedeutet eine weitere kleine Steigerung gegenüber dem Wert des letzten Jahres. Die im Vorjahr in Betrieb genommene PC basierte Strahllageregelung arbeitete im Berichtsjahr einwandfrei. Zur weiteren Verbesserung der Strahllagestabilität wurden neue Vakuumkammern in die Quadrupol-Triplets in den Bögen eingebaut.

Vorbeschleuniger

Die Vorbeschleuniger für Elektronen und Positronen, Linac II-PIA-DESY II, liefen auch 2000 mit der von den Vorjahren gewohnten Zuverlässigkeit. Für PETRA konnten Bunche mit typisch $(1.4-1.5) \times 10^{10}$ Teilchen bei 7 GeV von DESY II geliefert werden. Für DORIS waren es $(3-4) \times 10^9$ Teilchen bei 4.5 GeV. Die klassische Magnetron-Quelle für H^- Ionen lief im Betriebsjahr ohne Störungen sehr zuverlässig. Der über das Jahr gemittelte Strom der aus DESY III extrahierten Protonen lag mit 20 mA um 20% über dem Designwert.

Der PETRA-Betrieb als Vorbeschleuniger für HERA verlief sehr zuverlässig. Der Spitzenwert des Protonenstroms bei Ejektionsenergie konnte auf 121 mA gesteigert werden und entsprach damit 97% des Entwurfs werts. Die Maschine stand im Berichtsjahr für mehr als 30% der Zeit als Synchrotronstrahlungsquelle zur Verfügung.

Linear-Collider Studien

Im Berichtszeitraum konzentrierten sich die Arbeiten – im Rahmen einer breiten internationalen Kollaboration – auf die Fertigstellung eines Projektvorschlages (Technical Design Report, TDR), in dem das vollständige Design für die zukünftige Anlage sowie die Kosten und das benötigte Personal zusammengestellt sind. Es wird vorgeschlagen, TESLA entlang einer 33 km langen Trasse in NNW-Richtung ausgehend vom DESY Gelände zu errichten. An der TESLA Test Facility (TTF) wurden weitere Fortschritte beim Entwicklungsprogramm für die supraleitenden Beschleunigerstrukturen, beim Betrieb des Test-Linearbeschleunigers und bei der Inbetriebnahme der FEL-Testanlage erzielt.

Freie-Elektronen Laser

Am 22. Februar 2000 gelang weltweit erstmalig die Erzeugung von Strahlung bei der Wellenlänge 109 nm mit dem Freie-Elektronen Laser der TESLA Test Facility. Der hiermit erbrachte Beweis, dass das SASE-Prinzip

auch in diesem Wellenlängenbereich funktioniert, ist ein entscheidender Meilenstein für das TESLA-Projekt.

In den folgenden Monaten wurde das SASE-Prinzip bei Elektronenstrahl-Energien von 181–272 MeV auch für Wellenlängen von 80–181 nm demonstriert.

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 Wechselwirkungszone 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-

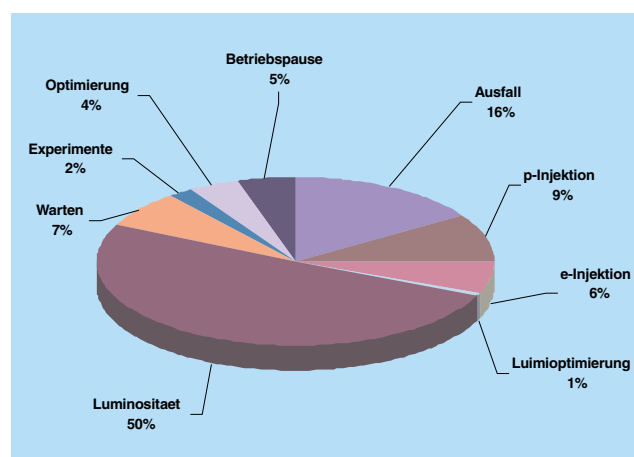


Abbildung 101: HERA Betriebsstatistik.

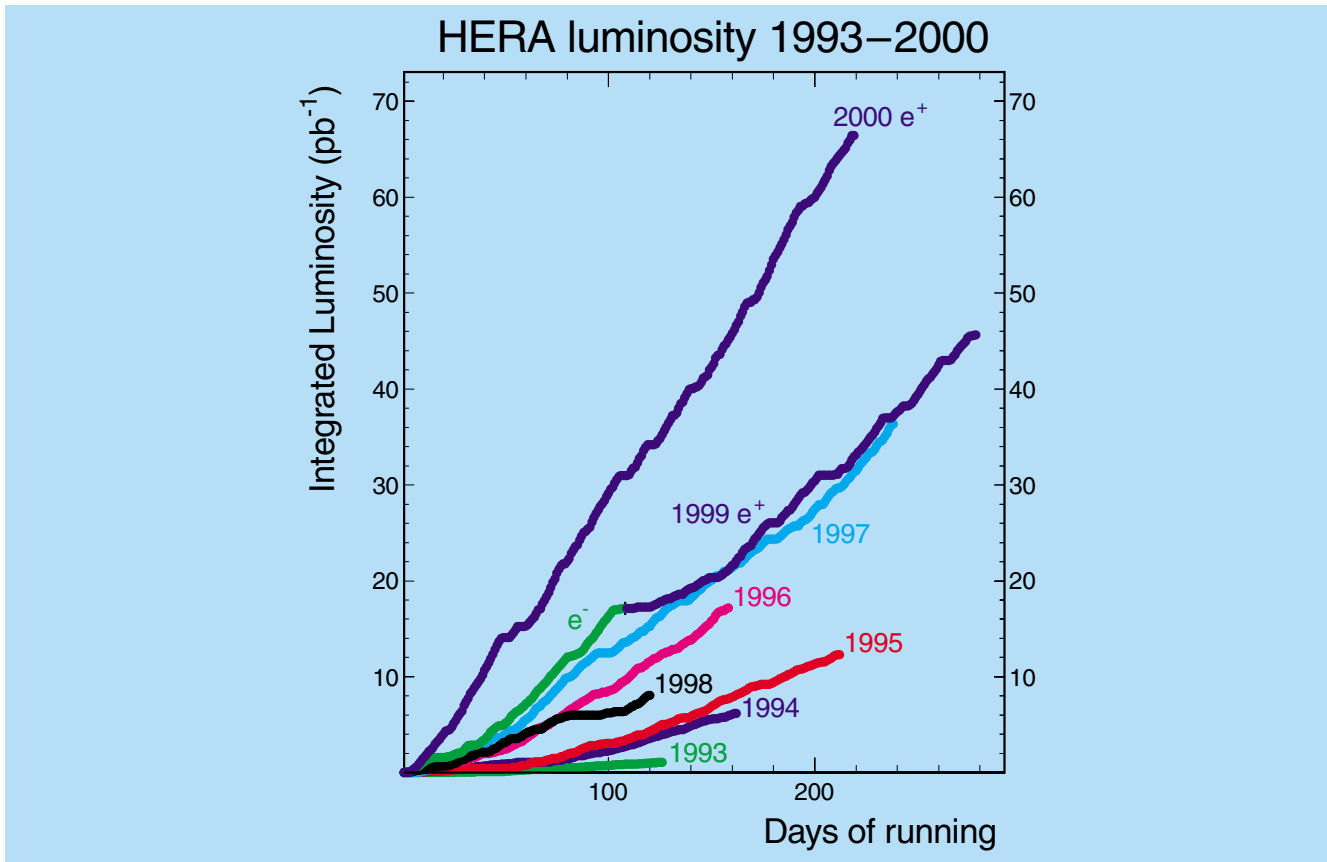


Abbildung 102: Integrierte HERA-Luminosität 2000 im Vergleich zu den Vorjahren, gemessen mit dem ZEUS Luminositätsmonitor.

nositätseffizienz $\eta = 56\%$ (η ist gleich der Zeit mit Luminosität dividiert durch die insgesamt zur Verfügung stehende Zeit). Das Luminositätsergebnis fiel aus diesem Grunde auch mit 67 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-

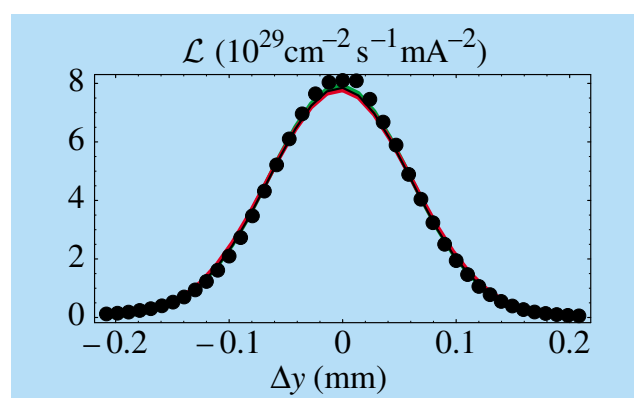


Abbildung 103: Luminositäts-Scan mit der neuen 72 Grad Optik: Die spezifische e/p Luminosität ist gegen eine vertikale Strahlseparation aufgetragen. Die sich ergebende Kurve zeigt, dass die erwartete spezifische Luminosität erreicht wird, und dass die effektive Strahlbreite am Wechselwirkungspunkt den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

Speicherring DORIS III

DORIS III Betrieb 2000

- 03.01. – 05.01. Anlaufzeit
- 06.01. – 01.10. Synchrotronstrahlungsbetrieb
- 02.10. – 31.12. Betriebsunterbrechung

Der Wiederanlauf von DORIS begann am 3. Januar und der offizielle Nutzerbetrieb für HASYLAB startete bereits drei Tage später. Wie im Jahr zuvor wurde mit HASYLAB ein 5:1 Wochenrhythmus vereinbart, das heißt fünf Wochen Synchrotronstrahlungsbetrieb gefolgt von einer Service-Woche.

Am 2. Oktober begann eine fünfzehnwöchige Unterbrechung des Strahlbetriebs, in der unter anderem alle Triplet-Kammern und alle Kicker-Magnete erneuert werden sollen.

Strahlparameter

Der diesjährige Betrieb startete mit den ausgezeichneten Strahllebensdauern, die Ende 1999 erreicht worden waren (14 Stunden bei 130 mA, 21 Stunden bei 90 mA). Ende Februar trat ein Vakuumleck am Absorber in der X-Beamline auf, mit dem entsprechenden negativen Einfluss auf die Lebensdauer. In der Service-Woche vom 20. bis zum 26. März wurde die Beamline repariert, was nochmals die Belüftung eines Viertels des DORIS-Vakuumsystems erforderlich machte. Noch zweimal in diesem Jahr mussten Teilbelüftungen vorgenommen werden. Einmal trat ein Vakuumleck an der BW5 Auslasskammer auf bei Lötarbeiten, die wegen eines Wasserlecks an dieser Kammer durchgeführt wurden, und dann wurden in der Service-Woche im Juni die Auslasskammern von der HARWI- und der Maschinenbeamline U ausgebaut, um ein altes Wasserleck reparieren zu können. Diese Reparatur war seit langem geplant, und dafür war die Service-Woche um zwei Tage verlängert worden. Der Zeitraum für die Erholung der

Lebensdauern im Anschluss an die Belüftungen war für HASYLAB akzeptabel.

Gegen Ende des diesjährigen Betriebes wurden folgende Strahllebensdauern erzielt: 13 Stunden bei 130 mA, 15 Stunden bei 110 mA und 20 Stunden bei 90 mA.

Wie im Jahr zuvor wurden im 5-Bunch-Betrieb maximal 150 mA gespeichert und während der sechs Wochen Strahlzeit mit 2 Bunchen 85 mA. Der von HASYLAB genutzte integrierte Strahlstrom betrug 498 Ah.

Die PC-basierte Strahllageregelung arbeitete im Berichtsjahr einwandfrei. Weiterhin unverändert sind allerdings die horizontalen Orbitveränderungen in den Bögen des DORIS-Ringes, die von horizontalen Verschiebungen diverser Quadrupole hervorgerufen werden. Die dafür verantwortlichen Vakuumkammern sollten während der Betriebsunterbrechung ausgetauscht werden (siehe unten).

Betriebsergebnis 2000

Das Betriebsergebnis ergibt sich aus dem Verhältnis von 5307 Stunden geplanter Strahlzeit für HASYLAB und 5011 Stunden, in denen tatsächlich Synchrotronlicht geliefert werden konnte. Die daraus resultierende Betriebseffizienz von 94,4% bedeutet eine weitere Steigerung gegenüber dem Wert des letzten Jahres von 92,2%.

Arbeiten während der Betriebsunterbrechung 2.10.2000–12.2.2001

Ende November waren alle neuen Vakuumkammern der Quadrupol-Triplets in den Bögen eingebaut. Ausgenommen davon sind nur die Kammern der drei Injektions-Triplets, da bisher von den vier Kicker-

Magneten, die ausgetauscht werden sollten, nur der Kicker für die vertikale Anregung eingebaut werden konnte. Es zeigte sich, dass die Kupfertechnologie, in der diese Elemente ausgeführt werden, große fertigungstechnische Probleme aufwirft. Die sind jetzt gelöst, so dass die restlichen Kicker im Frühjahr fertig werden und im Anschluss an den bisher geplanten Synchrotronstrahlungsbetrieb für das erste Halbjahr, das am 9.7.2001 endet, eingebaut werden können.

Wo wegen der fehlenden Kickermagnete auch Quadrupol-Kammern nicht ausgewechselt werden konnten, sind die betreffenden Quadrupole mit seitlichen Stützen mechanisch stabilisiert worden. Um die vertikalen Strahllagebewegungen, die von Kipp-Schwingungen der Dipole getrieben werden, weiter zu verringern, sind deren schon vorhandene „Bauchstützen“ durch solche mit größerem Querschnitt ausgetauscht worden.

Alle Sextupole in den Bögen sind auf neue Füße gesetzt worden, die eine genauere mechanische Justierung ermöglichen, was für einen ordnungsgemäßen Betrieb wichtig ist. Das gesamte Kühlwasser-Pump-System inklusive Verrohrung und Pumpen sowie der elektrischen Steuerung ist erneuert worden und seit Anfang Dezember im Betrieb.

Die Ansteuerung der beiden Longitudinalen-Feedback-Cavities wurde vereinfacht, so dass auf die verschiebbaren Abstimmkolben verzichtet werden konnte. In der Vergangenheit war es mehrfach zu Vakuumlecks an deren Flanschen gekommen.

In den Wiggler-Kammern im Bypass sind zusätzliche Titan-Sublimations-Pumpen (TSP) installiert worden, die die Vakuum Druckwerte in diesem Bereich verbessern werden.

Die Vorbeschleuniger

LINAC II und LINAC III

Am LINAC II war der Betrieb von insgesamt zwölf Beschleunigerabschnitten vom S-Band Typ im Betriebsjahr 2000 sehr zuverlässig. Fünf dieser Abschnitte wurden in den vergangenen Jahren erneuert. Von den restlichen sieben Abschnitten aus der Entstehungszeit des Linac, die über 30 Jahre alt sind, konnten Ende 2000 drei weitere erfolgreich ausgetauscht werden. Die letzten vier Abschnitte werden gemeinsam mit den Gruppen MVA und MHF für die nächste längere Betriebsunterbrechung in 2003 gefertigt, bezüglich ihrer Hochfrequenz-Eigenschaften vermessen, und schließlich von MIN konditioniert.

Der vor zwei Jahren vorangetriebene Umbau des LINAC III-Injektionssystems hat sich im Routinebetrieb bewährt. Der wechselweise Betrieb von zwei verschiedenen H^- -Quellen ist möglich: Die klassische Cäsium-behaftete Magnetron-Quelle ist zur Zeit die Standardquelle des LINAC III, an der Cäsium-freien Hochfrequenzquelle sind letzte Entwicklungen noch nicht abgeschlossen. Hier liegt der Schwerpunkt der Arbeiten bei der Erhöhung der Extraktions-Effizienz. Jedoch stehen beide Quellen für die Erzeugung eines H^- -Strahls zur Verfügung. Jede Quelle besitzt eine eigene LEBT („Low Energy Beam Transportline“) und einen eigenen RFQ („Radio Frequency Quadrupole“). Das wechselseitige Zuschalten der jeweiligen Quelle erfolgt über eine 1998 neu aufgebaute MEBT („Medium Energy Beam Transferline“).

Die klassische Magnetron-Quelle lief im Betriebsjahr 2000 sehr zuverlässig.

DESY II

DESY II lief im Jahr 2000 als Vorbeschleuniger von Positronen für DORIS und PETRA mit der gleichen

hohen Zuverlässigkeit wie in der Vergangenheit. Durch das neue Kontrollsystem auf PC Basis konnten die Übersichtlichkeit der Kontrollen verbessert und die Optimierungsprozeduren des Beschleunigerbetriebs vereinfacht werden. Verbesserungen an der Magnetstrom-Steuerung führten zu längeren störungsfreien Betriebszeiten. Durch diese Maßnahmen konnte die Injektionseffizienz im Lauf des Jahres von 40–60% auf 80–90% gesteigert werden. Für PETRA konnten Bunche mit typisch $(1.4-1.5) \times 10^{10}$ Teilchen bei 7 GeV geliefert werden. Für DORIS waren es $(3-4) \times 10^9$ Teilchen bei 4.5 GeV. In den Füllpausen lieferte DESY II während der gesamten Betriebszeit Strahl für die Teststrahl-Benutzer.

Während des Shutdowns wurden die HF-Senderanlagen modernisiert. Die mehr als 30 Jahre alte Summendrossel, die ein integraler Bestandteil der Magnetstrom-Erzeugung ist, wurde mit einer neuen Spule versehen.

DESY III

Der Betrieb von DESY III als Protonen-Vorbeschleuniger für PETRA verlief im Berichtszeitraum ebenfalls mit hoher Zuverlässigkeit. Der Mittelwert des Gesamtstroms bei dem Maximalimpuls von 7.5 GeV/c lag wie zuvor bei 200 mA, was 20% über dem Designwert ist. Das Strahlage-Messsystem wurde mit der vervollständigten Auswerteelektronik ausgerüstet und mit einem neuen Datensammel- und Speichersystem erfolgreich geprüft. Mit der Analyse der neu gesammelten Strahlagedaten wurde begonnen.

Während des Shutdowns wurde ein neuer Resonator eingebaut. Die Abschirmung von einigen Lagemonitoren wurde besser geerdet, um elektronische Störungen zu minimieren.

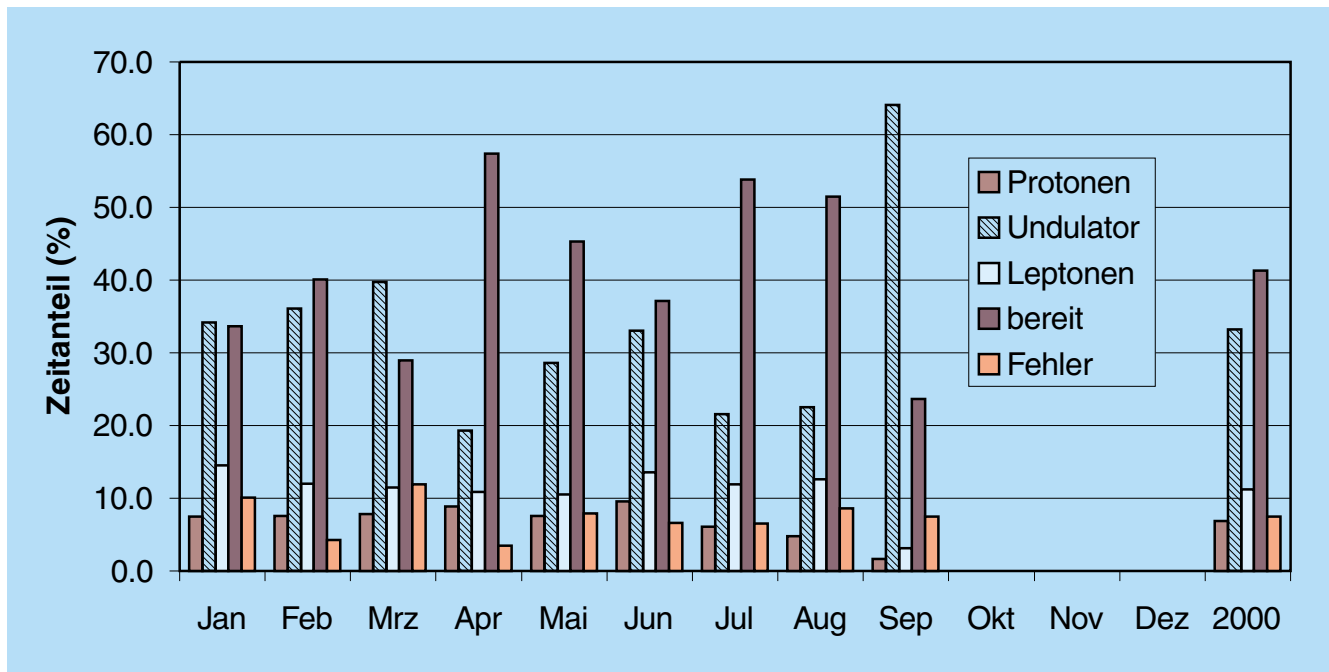


Abbildung 104: Aufteilung der Betriebszeit 2000 auf die einzelnen Betriebsmodi: Vorbeschleunigerbetrieb: Leptonen und Protonen; Synchrotronstrahlungsbetrieb: Undulator; Maschine im Wartezustand: bereit.

PETRA II

Im Betriebsjahr lief die Maschine etwas mehr als 270 Tage, entsprechend etwa 6500 Stunden. Nach dem Wiederanlauf im Januar wurde PETRA bis Anfang September sowohl als Vorbeschleuniger für HERA als auch als Synchrotronstrahlungsquelle für HASYLAB und im September nur noch für HASYLAB betrieben. Die Verteilung der Zeit auf die einzelnen Betriebsmodi zeigt Abbildung 104. Die Ausfallzeit war im Mittel mit etwa 6% sehr gering, wobei keine technische Komponente besonders auffällig war. Der Betrieb im Einzelnen sah wie folgt aus:

Betrieb als Vorbeschleuniger

Elektronen/Positronen

Die Maschine lief etwa 10% der Zeit als Positronen-Vorbeschleuniger für HERA. Der Betrieb war über den gesamten Berichtszeitraum unproblematisch.

Protonen

Das positive Ergebnis des vorangegangenen Jahres konnte nochmals leicht verbessert werden. Der Spitzenwert des Protonenstroms bei Ejektions-Energie lag bei 121 mA und entsprach damit 97% des Entwurfs-werts. Im Mittel wurden über 100 mA bei der Ejektions-Energie von 40 GeV zur Verfügung gestellt. Leider gab es während des Betriebs zeitweilig Probleme mit der Ejektion der Teilchen. Im Laufe des Jahres stellte sich heraus, dass es einen Zusammenhang der Ejektionsschwierigkeiten mit dem Synchrotronstrahlungsbetrieb gibt. Es besteht der Verdacht, dass die Ferrite der Ejektionskicker durch elektromagnetische Felder der Positronenbunche aufgeheizt werden. Diese Erwärmung führt dazu, dass nach Beendigung eines Synchrotronstrahlungs-Runs die Ejektionskicker beim anschließenden Protonen-Betrieb nicht mehr ihre notwendige magnetische Feldstärke erreichen. Um dieses Phänomen näher untersuchen zu können, wurden Temperatursensoren an den Kicker angebracht. Als Abhilfe wurde gleichzeitig die Abschirmung der Kicker gegen

elektromagnetische Felder der Positronenbunche verbessert und ein dritter Ejektionskicker eingebaut, um so einen sicheren Transfer der Protonen nach HERA zu garantieren.

Betrieb als Synchrotronstrahlungsquelle

Die Maschine stand im Berichtsjahr für mehr als 30% der Zeit als Synchrotronstrahlungsquelle zur Verfügung. Dieser hohe Zeitanteil resultiert aus dem Monat September, in dem die Maschine exklusiv für HASYLAB lief (Abb. 104). Die Maschine wurde in diesem Modus ausschließlich mit Positronen betrieben. Maschinenparameter wie die Energie der Positronen oder Zahl der Bunche wurden den Wünschen der Nut-

zer entsprechend eingestellt. Um den Photonenfluss zu erhöhen, wurden drei Maßnahmen ergriffen. Erstens wurde der Positronenstrom auf 50 mA erhöht. Wegen der Schwierigkeiten mit der Proton-Ejektion wurde im Laufe des Jahres allerdings auf diese Stromerhöhung verzichtet, und beim Betrieb mit wenigen Bunchen (4–8) wurde der Strom sogar abgesenkt. Zweitens wurde die Emittanz der Maschine durch Erhöhung der HF-Frequenz verkleinert, was zu einer Erhöhung des Flusses von etwa 20% führte. Drittens wurde die Optik der Maschine so geändert, dass die Größe des Photonenstrahls am Ort des Monochromators verkleinert wurde. Diese Maßnahme führte zu einer Erhöhung des Flusses von etwa 25%. Die beiden zuletzt genannten Maßnahmen sollen im folgenden Jahr in den Routinebetrieb integriert werden. Insgesamt erwartet man durch dieses Verbesserungsprogramm etwa eine Verdoppelung des Photonenflusses.

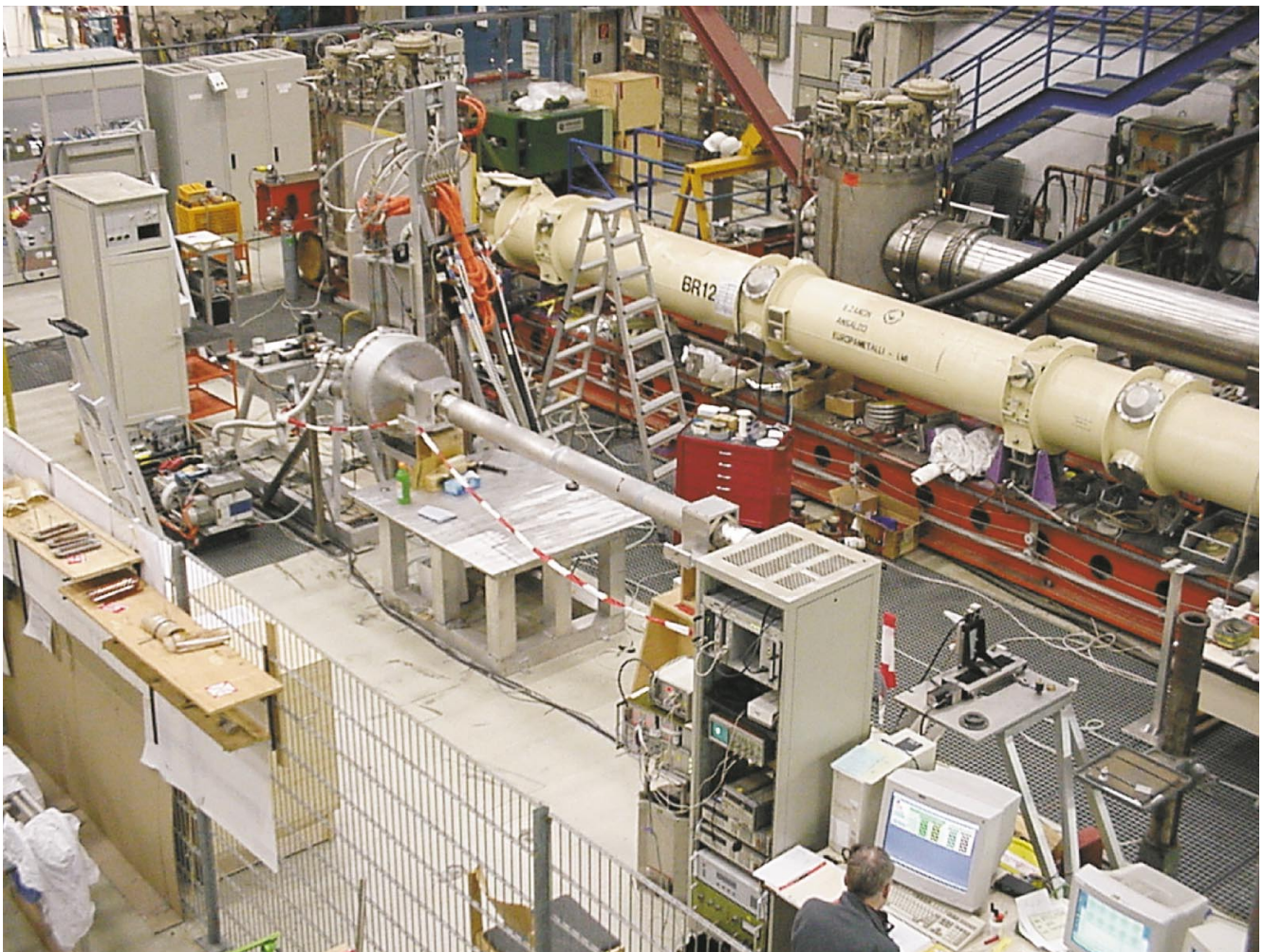


Abbildung 105: Supraleitender Magnet für den HERA-Luminositäts-Upgrade auf dem Teststand.

Arbeiten der Gruppen des Bereichs Beschleuniger

Beschleunigerphysik und Beschleunigerkoordination

Die Gruppe „Beschleunigerphysik“ MPY und die Koordinationsgruppen befassen sich vorwiegend mit der Entwicklung, Inbetriebnahme und Verbesserung aller bei DESY befindlichen Beschleuniger und Speicherringe. Viele Arbeiten dieser Gruppen sind bereits im Abschnitt Beschleuniger erwähnt worden. Einige Arbeiten sollen hier erläutert werden.

Fortführung der Studien zur Elektronenkühlung in PETRA

Wie im vorigen Jahresbericht erwähnt wurde, besteht eine Option für die längerfristige Zukunft von HERA in der Kollision von Hadronen mit Elektronen bzw. Positronen. Die Kühlung der Hadronenstrahlen zur Verkleinerung der Emittanz ist von Interesse, um eine möglichst hohe Luminosität bei derartigen Kollisionen zu erreichen. In diesem Zusammenhang wird unter anderem auch die Elektronenkühlung von Hadronen in PETRA seit einiger Zeit untersucht. Ein solcher Elektronenkühler besteht im Wesentlichen aus drei Teilen:

- Einem LINAC, in dem die Elektronen auf die erforderliche Energie von etwa 10 MeV beschleunigt werden,
- einem so genannten Debuncher, in dem die Elektronenbunche verlängert werden und damit die Energieunschärfe des Strahls auf das notwendige Maß verkleinert wird,
- dem Rezirkulator, der die eigentliche Kühlstrecke enthält, und in dem die Elektronenbunche für einige Tausend Umläufe gespeichert werden.

Die Untersuchungen dieser drei Komponenten wurden fortgesetzt und sind für den Rezirkulator abge-

schlossen worden. Es konnte gezeigt werden, dass die Elektronen im Rezirkulator für einige Tausend Umläufe gespeichert werden können, ohne dass ihre guten Strahleigenschaften wesentlich leiden.

PETRA als Testbeschleuniger für einen Linear-Collider Dämpfungsring

Dämpfungsringe sind wesentliche Komponenten eines Linear-Colliders. Im Zusammenhang mit dem Entwurf eines solchen Rings treten Probleme auf, die man experimentell untersuchen möchte. PETRA eignet sich in mancher Hinsicht gut als Testmaschine, insbesondere wenn es gelingt, die Emittanz der Maschine zu verkleinern. Da die Emittanz einer Elektronen-Maschine quadratisch von der Energie abhängt, erhält man eine kleinere Emittanz, wenn man die Energie der Maschine absenkt. Deshalb wurde versucht, die Maschine bei 6 bzw. 4.5 GeV anstatt bei 7 GeV zu betreiben. Bisher ist es gelungen, einen Strahl in einer Optik mit relativ schwacher Fokussierung bei einer Energie von 4.5 GeV zu speichern. Die Emittanz beträgt in diesem Fall 9.5 nmrad. Die Versuche, einen Strahl in einer Optik mit stärkerer Fokussierung zu speichern, schlugen bis jetzt fehl. Die Untersuchungen zu diesem Themenkreis sollen im folgenden Jahr fortgesetzt werden.

Spin-Polarisation

Polarisierte Positronen und Elektronen

Der in den Vorjahren schon erreichte Polarisationsgrad von 50–60% mit kollidierenden Strahlen bei Protonenströmen von 80–100 mA war auch für das Jahr 2000 typisch.

Die Vorbereitungen für die Erhöhung der Luminosität wurden fortgesetzt. Dabei wurden Polarisations-

Rechnungen für die Elektronen-Optik mit 72 Grad Phasenvorschub in jeder FODO Zelle durchgeführt:

- Die Spinbewegung erster Ordnung wurde unter Berücksichtigung der H1- und ZEUS-Solenoiden berechnet, die in Zukunft keine Kompensatorspulen mehr haben werden. Dabei wurde das überlappende Feld von Solenoid, Dipol und Quadrupol im H1-Detektor berücksichtigt, und es wurden sowohl Kopplungskorrekturen als auch harmonische Korrekturen der geschlossenen Teilchenbahn simuliert. Dies ergab 63% Polarisation, vorausgesetzt, dass die vertikale Strahlage bis auf 0.8 mm korrigiert worden war, bevor die harmonische Korrektur zur Polarisations-Optimierung eingesetzt wurde.
- Analoge Rechnungen unter Berücksichtigung höherer Ordnungen wurden mittels Teilchenttracking durchgeführt und lieferten Ergebnisse, die mit den Rechnungen erster Ordnung verträglich sind.
- Der Effekt von Strahl-Strahl Kräften auf die Polarisation wird gegenwärtig untersucht.

Diese für Elektronenstrahlen durchgeführten Rechnungen werden bald für die bereits berechnete Positronen-Optik wiederholt.

In Beschleunigerphysik-Studien mit einer 72 Grad Optik wurden mit einer gut korrigierten Strahlage und durch Einsatz von angepassten harmonischen Beulen sehr schnell mehr als 60% Polarisation erreicht. Eine Erhöhung der Frequenz des 500 MHz HF-Systems um etwa 250 Hz führte zu keiner merklichen Verringerung des Polarisationsgrades. Diese Experimente bestätigen das Vertrauen in das Konzept der Emittanzverkleinerung durch Einführen einer 72 Grad Optik und durch Erhöhung der HF-Frequenz, das im HERA-Betriebsjahr 2001 zum Einsatz kommen soll.

Polarisierte Protonen

Studien über die Möglichkeit, polarisierte Protonenstrahlen in HERA auf hohe Energie zu beschleunigen und dann zu speichern, werden bereits seit einigen Jahren durchgeführt. Die Ergebnisse wurden nun in einer Habilitationsschrift und in einer Doktorarbeit ausführlich dokumentiert und auf einigen Konferenzen vorgelesen. Mit diesen Arbeiten stellt DESY einen weitgehend neuen Ansatz zur Untersuchung der Dynamik

polarisierter Protonenstrahlen in Hochenergiebeschleunigern vor, welcher von Forschern am RHIC (BNL, USA) und auch von Mitarbeitern am MIT (Boston, USA) anerkennend aufgenommen worden ist. Mit dieser ausführlichen Dokumentation wird ein erster Teil der Studie zu polarisierten Protonen in HERA zunächst als abgeschlossen betrachtet. Gedanken zu weiteren Teilen werden bereits entwickelt. Es gibt noch zahlreiche fruchtbare Aufgabenstellungen, zum Beispiel die Untersuchung von Aufstelltoleranzen, von Feldfehlern, von Rauschprozessen, von Einflüssen der Strahl-Strahl Kraft und von Konzepten zur Polarisation von Deuteronen-Strahlen. Ein sehr fruchtbarer Austausch von Ideen und Erfahrungen wurde mit den Forschern am RHIC etabliert. Dort wurden „Sibirische Schlangen“ eingebaut, und es werden gerade die ersten Erfahrungen bei der Beschleunigung von polarisierten Protonenstrahlen gesammelt.

Numerische Berechnung der Maxwell'schen Gleichungen

Bei DESY wird an zahlreichen Problemen der numerischen Berechnung elektromagnetischer Felder gearbeitet. Dabei kommen die Programme OPERA-2D (Magnetostatik), MAFIA (Elektro- und Magnetostatik, Temperaturberechnungen, zeitharmonische und transiente Felder, resonante Felder und selbstkonsistente Teilchen-Feld-Wechselwirkung), Microwave Studio (zeitharmonische und transiente Felder und resonante Felder), TRAFIC4 (selbstkonsistente Berechnung von Bunchen auf gekrümmten Bahnen, kohärente Synchrotronstrahlung), ASTRA (Teilchenttracking mit Raumladungseffekten im niederenergetischen Bereich), L, ELEGANT (hochenergetisches Teilchenttracking) und GENESIS (FEL Berechnung) zum Einsatz.

Neu- und Weiterentwicklung von Programmen

Das Programm TRAFIC4 zur Berechnung von Bunchkompressoren wurde so erweitert, dass sich die Wechselwirkung zwischen Teilchendynamik und kohärenter Synchrotronstrahlung berücksichtigen lässt. Übergabeformate ermöglichen die aufeinander folgende Benutzung von ASTRA, ELEGANT, TRAFIC4 und

GENESIS, so dass der komplette TESLA Test Facility Linearbeschleuniger simuliert werden kann. In Zusammenarbeit mit der Technischen Universität Darmstadt und der Universität Rostock werden die Programme V und Q entwickelt. Während das Programm Q auf Teilcentracking basiert, erlaubt V die Beschreibung von Vielteilchensystemen im Phasenraum durch Dichtefunktionen. Ferner wurde ein Interface zwischen dem Kontrollsystem der TESLA Test Facility und dem V Programm realisiert. Durch den direkten Vergleich zwischen Maschinenzuständen und V Berechnungen konnten bereits Fehlauflösungen von Komponenten identifiziert und behoben werden. Um die resonanten Felder sehr ausgedehnter Strukturen zu berechnen, werden zwei Ansätze verfolgt: in DESY Zeuthen wird an der Parallelisierung des Eigenmode Problems gearbeitet und an der Universität Rostock wird die CSC Methode („Coupled Scattering Parameters“) untersucht, die es erlaubt, einzelne Unterabschnitte getrennt zu simulieren.

Projekte

Zahlreiche Berechnungen wurden für die existierenden und geplanten Beschleuniger durchgeführt wie zum Beispiel Koppler (TESLA, LINAC II, H⁻-Quelle), Wakefield-Berechnungen (TESLA, FEL, HERA, ZEUS), Resonatoren (TESLA), Magnete und Wiggler. An der Technischen Universität Darmstadt wurden Wakefelder ultrakurzer Bunche unter Berücksichtigung eines gesamten TESLA-Moduls bestimmt und Modelle zur Beschreibung des Wakefelds durch Oberflächenrauigkeiten im FEL Undulator-Strahlrohr entwickelt. Für den TTF Bunchkompressor 2 wurde an der Universität Rostock die CSC Methode erprobt.

Untersuchung nichtlinearer Prozesse

Eine wichtige Fragestellung in der Beschleunigerphysik betrifft den Einfluss nichtlinearer und explizit stochastischer Felder auf die Teilchenbewegung in Speicherringen. Die stochastische Dynamik befasst sich dabei mit der Frage, welchen Einfluss Rauscheffekte, wie zum Beispiel HF-Rauschen, statistische Schwankungen der Stromversorgungsgeräte der Magnete, Quantenfluktuationen durch Strahlungsemission, Erdbewegung oder Restgasstreuung, in Beschleunigern ha-

ben können. Die mathematische Modellierung führt im allgemeinen auf stochastische Differentialgleichungen, oder, äquivalent dazu, zur Fokker-Planck-Gleichung. Die Fokker-Planck-Gleichung ist eine partielle Differentialgleichung für die Wahrscheinlichkeitsdichte, die angibt, wie groß die Wahrscheinlichkeit ist, zu einem bestimmten Zeitpunkt ein Teilchen zwischen zwei infinitesimal benachbarten Phasenraumpunkten zu finden. Für realistische, nichtlineare Speicherring-Felder lassen sich diese Gleichungen nicht mehr analytisch lösen. Im Rahmen einer Kollaboration mit der Universität Bologna werden numerische und störungstheoretische Methoden entwickelt zur Lösung solcher stochastischer dynamischer Systeme. Anwendungen in der Beschleunigerphysik sind die Strahl-Strahl-Wechselwirkung und die Diffusion aus einem stabilen HF-Paket („Coasting Beam“).

Arbeiten der technischen Gruppen

Über viele Arbeiten der technischen Gruppen wurde bereits im Abschnitt über die Maschinen (Seite 199 ff, 203 ff und 205 ff) berichtet. Weitere Arbeiten der Gruppen werden hier beschrieben. Die Aktivitäten im Rahmen der Linear-Collider Studien finden an entsprechender Stelle Erwähnung (Seite 239 ff).

Es sei hier darauf hingewiesen, dass sich alle Gruppen am Schichtbetrieb der Beschleuniger oder an Rufbereitschaften beteiligen.

Injektion/Ejektion – MIN –

Die Gruppe MIN-Injektion ist für den Betrieb und die Weiterentwicklung der Injektionsbeschleuniger LINAC II, LINAC III und PIA verantwortlich, ferner für die Strahltransportwege zu den Vorbeschleunigern DESY II und DESY III, für alle Injektions- und Ejektionselemente in allen Beschleunigern und Speicherringen, und für die sogenannten „Beam Dumps“ in allen Speicherringen und Synchrotrons. In zunehmendem Maß übernimmt MIN weiterhin Aufgaben in Zusammenhang mit dem Betrieb des TESLA Test Facility Linac. Der Schwerpunkt liegt hier im Bereich des Injektionssystems.

Elektronen/Positronen LINAC II

Die am LINAC II verwendeten Modulatoren sind über 30 Jahre alt, so dass zunehmend mit Ausfällen und längeren Reparaturzeiten zu rechnen ist. Aus diesem Grund wurde 1997 ein Modulator versuchsweise umgerüstet und kann seitdem mit einem neuen Ladenetzgerät und neuer SPS-Steuerung betrieben werden. Nach den Erfahrungen im Langzeitbetrieb kann nun ein sukzessiver Umbau aller Modulatoren durchgeführt werden, der aus betriebstechnischen Gründen über insgesamt drei Jahre verteilt erfolgen soll. Seit Beginn der Betriebsunterbrechung im Herbst 2000 konnten zwei weitere Modulatoren erfolgreich umgebaut und wieder in Betrieb genommen werden.

Auch wenn im Berichtszeitraum kein Wechsel der Kanoneneinheit notwendig war, so schien nach Erfahrungen aus früheren Jahren der vereinfachte Wechsel wünschenswert. Hierzu wurde seit 1999 eine austauschbare Einheit mit Anodenflansch und Vakuumventil für einen schnellen Kanonenwechsel berechnet, konstruiert und gefertigt. Alle Strahlführungselemente zwischen der Kanone und dem ersten Beschleunigerabschnitt wurden mit in neuer CF Vakuum-Dichttechnik realisierten Anschlüssen gefertigt. Der Test aller Komponenten, Kanone, Plattensystem und Prebuncher, auf einem separaten Teststand war erfolgreich, so dass in der Betriebsunterbrechung seit Herbst 2000 der neue Injektor im LINAC II eingebaut und im Anschluss daran gemeinsam mit dem erneuerten LINAC-Abschnitt in Betrieb genommen werden konnte.

LINAC III

In Zusammenhang mit den Modifikationen im Bereich der H^- -Quellen wurden 1999 ein neues Plattensystem in der Strahlführung, ein RFQ für 35 keV Eintrittsenergie und ein Rebuncher-Resonator neu installiert und in Betrieb genommen. Ein neu aufgebauter 10 kW Sender einschließlich Amplituden- und Phasenregelung gehört ebenfalls zum System. In vielen Betriebsstunden konnten gute Erfahrungen gesammelt werden. Ein Strom von bis zu 6 mA konnte am Ende des LINAC III gemessen werden. Für eine verbesserte Strahldiagnose wurden neue Diagnoseboxen mit Harfen gefertigt und im September 2000 installiert und erfolgreich in Betrieb genommen.

Kicker

Für die Protonen-Ejektion von PETRA nach HERA wurden bereits 1999 die vorhandenen sogenannten Fahrkicker durch eine neue Generation von Kickermagneten ersetzt. Sie haben sich seitdem im Betrieb sehr gut bewährt. Zu Diagnosezwecken wird allerdings eine Temperaturmessung nachgerüstet. Ergänzend wurde für die im Herbst begonnene Betriebsunterbrechung ein Mittelkicker vorbereitet.

Die Entwicklungsarbeiten für den HERA Elektronen-Dump wurden abgeschlossen und der Einbau in HERA vorbereitet. Nach der derzeitigen Betriebsunterbrechung wird der Dump-Kicker zur Verfügung stehen.

Im Rahmen von Studien für den TESLA Linear-Collider wurde an der TESLA Test Facility ein Feedbacksystem aufgebaut, das unter anderem zwei schnelle Kicker verwendet. Diese speziell aufgebauten Kickermagnete erlauben gemeinsam mit der von der Gruppe MSK entwickelten Regelelektronik eine Korrektur der Strahlposition innerhalb einer Mikrosekunde.

In zunehmendem Maße werden Röhren durch Halbleiterpulser ersetzt. Dies spiegelt sich in der noch laufenden Entwicklung neuer Pulser für die Kickermagnete bei DESY II, PETRA und HERA wider. Erste Halbleiterpulser können bei der Elektronen-Injektion bei DESY II und HERA verwendet werden.

Hochfrequenztechnik – MHF –

Die Gruppe MHF ist verantwortlich für den Betrieb und die Entwicklung aller Hochfrequenzanlagen in den Kreisbeschleunigern bei DESY. Die Arbeiten teilen sich drei Untergruppen. Die erste, MHF-e, ist zuständig für die sehr umfangreichen, normalleitenden 500 MHz Beschleunigungsanlagen und 1000 MHz Rückkopplungssysteme für Elektronen oder Positronen in DESY II, DORIS III, PETRA II und HERA, und die zweite, MHF-sl, für das supraleitende 500 MHz System im HERA-Elektronen-Ring und für die supraleitenden 1.3 GHz Resonatoren der TTF. Die Hochfrequenzsysteme für die Protonen-Beschleunigung in DESY III, PETRA II und HERA sowie die 1.3 GHz Klystrons der TTF werden von der dritten Untergruppe, MHF-p, betreut.

Strahlbetrieb	2000 Positronen	1999 Positronen
Dauer des Lumi-Betriebes in Monaten ⁽¹⁾	6.5	8
Anzahl der Lumi-Runs	300	317
Integrierte Luminosität	65.5 pb ⁻¹	45 pb ⁻¹
Mittlere Anzahl der Lumi-Runs pro Monat	46	39
Mittlere Dauer eines Lumi-Runs	8.9 h	8.4 h
Mittlere Zeit zwischen zwei Lumi-Runs ⁽²⁾	7 h	10.4 h
Mittlerer Anfangsstrom eines Lumi-Runs	42.3 mA	30.6 mA
Mittlerer Strom während der Lumi-Runs	24 mA	18 mA
Über den gesamten Betriebszeitraum gemittelter Strom ⁽³⁾	14 mA	11 mA
HF-Betrieb		
Mittlere Leistung pro HF-System zu Beginn eines Lumi-Runs	900 kW	750 kW
Gesamtzahl der Strahlverluste ⁽⁴⁾ durch Störungen der HF-Systeme	119	139
Gesamtzahl der Strahlverluste bezogen auf die integrierte Luminosität	1.8 pb	3.1 pb

(1) Anzahl der Wochen mit Lumi-Betrieb $\times 7 / 30.5$

(2) $30.5 \times 24 \text{ h/Monat} / 39 \text{ Runs}$ – mittlere Run-Dauer

(3) inklusive Ströme außerhalb der Lumi-Runs

(4) Definition von Strahlverlust: $\Delta I_B > 10\%$

Tabelle 8: *Strahl- und HF-Betrieb der HERA-e Maschine.*

Normalleitende Beschleunigungsstrecken für Elektronen/Positronen – MHF-e –

Die Gruppe MHF-e betreibt die 500/1000 MHz HF-Systeme aller Elektronen-Ringbeschleuniger. Diese HF-Systeme bestehen aus 16 Senderanlagen mit insgesamt 28 Dauerstrich-Klystrons. Davon sind 20 800 kW-Klystrons, vier 600 kW-Klystrons, zwei 300 kW-Klystrons und zwei 250 kW-Klystrons. Die DC-Anschlussleistung der 16 Senderanlagen beträgt 34 MW. Die HF-Leistung wird über etwa 3.5 km Hohlleiter auf etwa 120 normalleitende und 16 supraleitende Cavities verteilt.

Gegenüber dem Vorjahr konnte die Betriebssicherheit der HF-Systeme deutlich gesteigert werden. Die Anzahl der HF-bedingten Strahlverluste bezogen auf die integrierte Luminosität ist von etwa drei Strahlverlusten pro pb⁻¹ auf zwei Strahlverluste pro pb⁻¹ gesunken. Die Betriebsbedingungen für die HF-Systeme waren aufgrund der höheren Strahlströme und der damit ver-

bundenen erhöhten Senderleistungen deutlich härter als im Vorjahr (vergleiche Tabelle 8):

- Der mittlere Anfangsstrom der Lumi-Runs vergrößerte sich um 38%,
- der mittlere Strom während der Lumi-Runs vergrößerte sich um 33%,
- die mittlere Senderleistung bei Run-Beginn vergrößerte sich um 20%.

Zur Auswertung wurden die Störungen der HF-Systeme in fünf Kategorien aufgeteilt.

- HV: Sender-Gleichrichteranlage, Klystronschutz,
- Sender: Senderanlage inklusive Klystrons, Zirkulator, Modulator, Luft- und Wasserkühlung,
- Absorber/Hohlleiter: Hohlleitersystem mit Absorbieren,
- Cavity: Cavities inklusive Vakuum-Überwachung, Kühlung und Frequenzabstimmung,

- Sonstiges: Fehlbedienung, Phasing, SLC-Kryogenik, Netzvischer usw.,
- Unbekannt: Verursacher konnte nicht eindeutig ermittelt werden.

Ähnlich wie im Vorjahr lag der größte Anteil der Störungen mit 42% bei den Cavities. Durch Verbesserung der Überwachungs-Elektronik konnte der Anteil der Vakuumstörungen der normalleitenden Cavities von 63% auf 27% reduziert werden. Die relativen Anteile der Störungen im HV- und Senderbereich blieben mit je 22% und 21% nahezu konstant.

Neben den direkt mit dem Beschleunigerbetrieb in Zusammenhang stehenden Tätigkeiten der Gruppe MHF-e war das größte Projekt des vergangenen Jahres die Modernisierung der DESY II-Senderanlage. Die Anlage, die seit 1968 in Betrieb war, konnte mit zwei 500 MHz Thomson-CSF-Klystrons $1 \text{ MW}_{\text{peak}}/300 \text{ kW}_{\text{ave}}$ liefern. Obwohl für den Betrieb nur zwei Klystrons benötigt wurden, waren in der Senderanlage vier Klystrons installiert. Bei Klystronausfall konnten so, durch Umschalten einiger Hohlleiterschalter, in kürzester Zeit die Reserveklystrons in Betrieb genommen werden. In dem kurzen Winter-Shutdown 1999/2000 wurden bereits erste Vorbereitungen für eine Sender-Modernisierung getroffen. Eines der vier Klystrons wurde samt zugehörigem Hohlleitersystem demontiert, um Platz für die Steuerschranke der neuen Anlage zu schaffen. Die neue Anlage wurde für drei Klystrons konzipiert, von denen, wie bisher, nur jeweils zwei betrieben werden. Das dritte Klystron steht als Reserve bereit und kann, ebenfalls wie bisher, in kürzester Zeit über das Hohlleiterschalter-System aktiviert werden. Als Ersatz des bisherigen Röhren-Modulators, der die Modulationsanoden aller Klystrons parallel steuerte, wurden im Laufe des Jahres drei einzelne Halbleiter-Modulatoren aufgebaut. Zu Beginn des Shutdowns 2000/01 wurde die alte Anlage bis auf die Klystrons und das Hohlleitersystem demontiert und neu aufgebaut. Neun Wochen nach Shutdown-Beginn war die neue Anlage betriebsbereit. Sie wird ab Anfang Januar 2001 für den DESY II Strahlbetrieb laufen.

An der PETRA-Senderanlage, die aus zwei Sendern besteht, wurden zur Erhöhung der Zuverlässigkeit umfangreiche Umbauten vorgenommen. Im Gegensatz zu früher werden jetzt alle Cavities von nur einer Sendeanlage mit HF-Leistung versorgt, während die zweite An-

lage als Reserve bereitsteht. Energetisch ist dies möglich, da bei 12 GeV und 50 mA Strahlstrom insgesamt von beiden Cavity-Strecken nur 900 kW HF-Leistung benötigt werden. Die Nennleistung pro Senderanlage beträgt 1100 kW. Durch diese Maßnahme hat sich der Wirkungsgrad des nunmehr bei 80% Nennleistung betriebenen Klystrons von 36% auf 51% erhöht.

Zur Erhöhung der Betriebssicherheit der beiden 1 GHz Cavities für das longitudinale Feedback in HERA wurden die stör anfälligen mechanischen Abstimmeelemente und die Auskoppel-Vakuumfenster der Bedämpfungswasserlasten und die Wasserlasten selbst entfernt. Statt dessen wurde vor jedes Cavity ein Hohlleiter-Transformator in die Speiseleitung eingefügt. Mit diesen Transformatoren, bestehend aus je einem „Magischen T“ und je zwei einstellbaren Kurzschluss Ebenen, kann sowohl die Resonanzfrequenz als auch die Betriebsgüte der Cavities eingestellt werden. Im Zuge der Arbeiten für die Luminositätserhöhung bei HERA mussten die beiden hallennächsten 7-zelligen Cavities des HF-Systems „HERA-Nord-Rechts“ Platz für neue Komponenten machen. Zum Ausgleich wurden an anderer Stelle zwei 5-zellige Cavities installiert. Es handelt sich dabei um zwei neu gefertigte Cavities vom Typ „PETRA“. 20 Cavities dieses Typs werden gegenwärtig von der Firma ACCEL als Reserve produziert.

Supraleitende Beschleunigungsstrecken – MHF-sl –

Neben den normalleitenden Beschleunigungsstrecken aus Kupfer werden auch supraleitende Resonatoren im HERA-Elektronenring betrieben. Hierbei handelt es sich um 16 Resonatoren, die aus jeweils vier Zellen bestehen. Sie sind aus dem Metall Niob gefertigt, welches bei 9.2 K supraleitend wird. Die Betriebstemperatur der supraleitenden Resonatoren ist 4.2 K, das heißt die Temperatur des flüssigen Heliums beim normalen atmosphärischen Druck. Eine detaillierte Beschreibung der supraleitenden Beschleunigungsstrecke ist in den früheren Jahresberichten gegeben worden.

Im Berichtsjahr 2000 arbeitete das supraleitende Cavity-System im Wesentlichen ohne Ausfälle. Die maximale Hochfrequenzleistung betrug hierbei 1300 kW. Eine am koaxialen Koppler angelegte Spannung von 3.5 kV unterdrückt wirkungsvoll das Auftreten von

„Multipacting“ und verhindert somit die Gefahr eines Überschlages (siehe DESY Jahresbericht 1996, Seite 188 und 1999, Seite 194). Gegen Ende des Betriebs musste diese Hochspannung an zwei Einkopplern ausgeschaltet werden, da die entsprechenden Kapton-Isolierfolien durchgeschlagen waren. Durch kurzfristiges Aufwärmen während einer kurzen Wartungsperiode konnten kondensierte Gase auf der Kopplerinnenseite abgedampft werden, so dass beide Koppler bis zu Beginn der Betriebsunterbrechung auch problemlos ohne Hochspannung betrieben werden konnten. Während des Shutdowns werden die geometrischen Bedingungen am äußeren Ende des Kopplers so geändert werden, dass ein Austausch einer fehlerhaften Folie während einer kurzen Betriebsunterbrechung möglich sein wird. Weiterhin ist geplant, die Geometrie der Folie selbst so zu verbessern, dass eine höhere HV Durchschlagsfestigkeit bei gleich guten Hochfrequenzeigenschaften erreicht werden kann.

Die Hauptaufgabe der Gruppe MHF-sl war weiterhin die Entwicklung supraleitender Resonatoren für TESLA. Die Schwerpunkte der Tätigkeiten waren:

- Messungen an den supraleitenden Resonatoren:
 „vertikale Tests“ (62) im Badkryostaten als Eingangskontrolle der 9-zelligen Resonatoren
 „horizontale Tests“ (12) des vollständig bestückten Resonators als Systemtest. Hier ist der Resonator horizontal in einem Testkryostaten eingebaut, der dem Beschleunigungskryostaten in der technischen Auslegung sehr ähnlich ist.
- Weiterentwicklung der Einkoppler für TESLA:
 Es handelt sich hierbei um koaxiale Einkoppler ähnlich wie in HERA, jedoch sind bei TESLA zwei Hochfrequenzfenster vorgesehen. Das innere Fenster schützt die saubere Oberfläche des Resonators vor Kontamination. Das äußere Fenster verhindert die Kondensation von Gasen an der kalten Fläche des inneren Fensters. Als maximale Hochfrequenzleistung konnten im Koppler-Teststand 1.6 MW übertragen werden.
- Entwicklung und Betrieb einer Apparatur zur Beschichtung der Keramiken der Einkoppler mit TiN:
 Al₂O₃ als typisches Material für Hochfrequenzfenster zeigt den großen Wert von etwa 7 für die sekundäre Emission von Elektronen. Da dies als Auslöser für einen elektrischen Überschlag wirken kann, wird

die Keramikoberfläche mit einem geeigneten Material dünn beschichtet. TiN ist sehr gut geeignet, weil der entsprechende Vervielfältigungsfaktor nahe bei 1 liegt. Die Schwierigkeit der Beschichtung besteht darin, die richtige Stöchiometrie zu erzeugen und die Schichtdicke zur Vermeidung von Hochfrequenzverlusten so dünn wie möglich (um 100 Å) zu halten. Nach einigen Vorversuchen wurde eine Apparatur aufgebaut, die durch kontrolliertes Verdampfen von Ti-Drähten im Vakuum und nachträgliches Tempern unter Ammonium eine geeignete TiN Schicht auf komplexen Oberflächen erzeugen kann. Mit dieser Apparatur sind alle Hochfrequenzfenster für TESLA serienmäßig mit TiN beschichtet worden.

- Entwicklung der „Superstruktur“:
 Hierbei werden mehrere Resonatoren (7- oder 9-zellige Cavities) zu einer Einheit verbunden und können gemeinsam mit nur einem Einkoppler betrieben werden. Die elektromagnetischen Eigenschaften der 4×7-zelligen und 2×9-zelligen Superstrukturen wurden intensiv mit Simulationsprogrammen untersucht. Entsprechende Rechenprogramme zur Beschreibung der Koppler für höhere Moden (LEC „Lumped Element Code“), der elektromagnetischen Felder (FEM-Codes) und der Strahl-Resonator Wechselwirkung wurden hierzu entwickelt. Ergänzend hierzu wurden wesentliche Hochfrequenzeigenschaften an Kupfer-Resonatoren gemessen und die Rechnungen überprüft. Sechs 7-zellige Resonatoren für eine Superstruktur wurden aus Niob gefertigt und stehen kurz vor der ersten Messung im supraleitenden Zustand. Die Infrastruktur wurde der Behandlung dieser Resonatoren angepasst oder neu erstellt. Insbesondere musste für den Test der ersten Superstruktur ein supraleitender Flansch entwickelt werden, der nahezu verlustfrei die starken Hochfrequenzströme zwischen den einzelnen 7-zelligen Resonatoren trägt.
- Aufbau einer Infrastruktur zum Test von einzelligen Resonatoren:
 Zur systematischen Untersuchung von neuen Präparationsmethoden der Oberflächen supraleitender Resonatoren eignen sich besonders 1-zellige Resonatoren. Sie können mit kleinem apparativen Aufwand behandelt und gemessen werden. In der vorhandenen Infrastruktur für die 9-zelligen TTF Resonatoren können solche Untersuchungen allerdings nur

schwerlich durchgeführt werden, da die Produktion der Serienresonatoren nicht gestört werden soll. Es wurde daher die vorhandene Anlage zur Präparation der 500 MHz HERA-Resonatoren so modifiziert, dass ein Messprogramm mit 1-zelligen 1.3 GHz Resonatoren durchgeführt werden kann. Die Umbauarbeiten am Reinraum und an der Kälteanlage stehen kurz vor dem Abschluss, und mit der Inbetriebnahme kann im Frühjahr 2001 gerechnet werden.

– Supraleitender TE011 Testresonator:

Die üblichen Beschleunigungsresonatoren (TM010 Feldkonfiguration) besitzen sowohl hohe elektrische als auch magnetische Oberflächenfelder. Zur Untersuchung der maximalen magnetischen Feldstärken eines Hochfrequenz-Supraleiters wird ein solcher Resonator benötigt, der auf seiner Oberfläche kein oder ein nur sehr kleines elektrisches Feld besitzt. Andernfalls können Effekte des elektrischen Oberflächenfeldes, wie zum Beispiel die Feldemission, die Messung verfälschen. Der TE011 Obermode eines elliptischen Resonators zeigt die gewünschte Feldkonfiguration. Ein solcher Resonator wurde aus Niob-Material gebaut, und die notwendigen Einkoppler wurden entwickelt und vermessen. Mit der Aufnahme der ersten supraleitenden Messungen kann zu Beginn des Jahres 2001 gerechnet werden.

Anlagen zur Beschleunigung von Protonen

– MHF-p –

Im Berichtszeitraum arbeiteten die Hochfrequenzsysteme zur Beschleunigung von Protonen in den Ringbeschleunigern weitgehend problemlos. Lediglich der Austausch einiger ausgefallener kleinerer Komponenten, wie zum Beispiel Netzteile und Vorverstärker, sowie als größte Maßnahme der Austausch zweier Hochleistungsröhren wurden vorgenommen.

Parallel zum Betrieb wurden zahlreiche Geräte zur Diagnose und Untersuchung der Protonenstrahl-Cavity Wechselwirkung installiert und verschiedene Messungen durchgeführt.

Seit November 1999 funktioniert die Messung der 52 MHz Fourierkomponente des gebunchten Protonenstrahls. Mit ihr ist die Bestimmung der Bunch-Phasen in Echtzeit möglich. Seit Februar 2000 wird diese Mes-

sung durch eine Detektion des Betrags der 208 MHz Fourierkomponente ergänzt. Aus beiden Fourierkomponenten können die Bunch-Längen in Echtzeit bestimmt werden. Es zeigte sich, dass in HERA-p nicht nur Multibunch-Schwingungen auftreten, die aus Schwingungen der Bunch-Phasen bestehen, sondern dass diese auch mit Schwingungen der Bunch-Längen verknüpft sind.

Bis Mitte des Jahres waren die analogen Bestandteile der schnellen Cavity-Feld-Diagnosen fertiggestellt. Mit ihnen gelang es, die Synchrotronfrequenz auf den HF-Transienten nachzuweisen. Diese Einheiten werden eine große Rolle bei der Inbetriebnahme und Überwachung eines HF-Feedforwards spielen. Darüber hinaus bilden sie die Basis für eine ständige Überwachung der Cavity-Felder. Große Teile des fernsteuerbaren Timings der Diagnoseeinrichtung wurden bis Mitte des Jahres mit Unterstützung der Gruppe FEA fertiggestellt. Der Aufbau des Timings in unabhängigen Funktionseinheiten gewährleistet eine hohe Flexibilität des Systems im Hinblick auf Messungen, die über den Standardfall hinausgehen, zum Beispiel Beam-Echo Messungen.

Mit dem Aufsetzen des Front-End-Computers (FEC) in Form eines VME-Crates mit ADC-Karten zur Datenaufnahme, CPU zur Datenverarbeitung und Festplatte zur Zwischenspeicherung der Daten wurde mit Unterstützung der Gruppe MST begonnen. Mitte des Jahres konnten die ersten Messungen mit der darauf laufenden und in das HERA-Kontrollsystem integrierten Software durchgeführt werden. An der Software wird noch gearbeitet, damit die Daten später fortwährend über das HERA Kontrollsystem zur Verfügung stehen. Um den Hardwareaufbau weiter zu vervollständigen, wurden HF-Modulationseinheiten in Auftrag gegeben, mit denen es möglich ist, HF-Korrektursignale für eine „Beam-Loading“ Kompensation für die Cavities zu erzeugen. Mit ihrer vollständigen Fertigstellung stehen alle analogen Einheiten fest installiert zur Verfügung, die für ein auf DSPs oder auch FPGAs basierendes Feedforward notwendig sind. Der Monitorteil für ein Multi-Bunch Feedback mit eigenem Feedback Cavity ist durch die Bunch Phasen- und Längen-Messung gegeben. Während des normalen Betriebs wurden bei mehr als 50 Strahlbeschleunigungen Daten von Multibunch-Schwingungen und/oder „Beam-Loading“ Transienten einzelner Cavities mit Unterstützung der Gruppe MSK aufgezeichnet. Um diese Schwingungen zu verstehen,

benötigt man viele Parameter des Speicherrings. Ein Teil dieser Parameter wurde auch in diesem Jahr in Maschinenstudien untersucht. Dazu gehörten die Aufnahme von Multibunch-Schwingungen bei verschiedenen Füllmustern, das heißt statt 180 Bunche 18 oder auch nur 9, und Beam-Echo Messungen. Die Aufnahme von Beam-Echos stellte das gute Signal-Rausch-Verhältnis der neuen Strahl diagnose unter Beweis.

Für HERA und PETRA wurde die Beschaffung von jeweils einem 52 MHz Reserve-Cavity sowie der zugehörigen Hochleistungssender-Komponenten in die Wege geleitet. Die Front-End Computer bei HERA wurden zu Beginn des Shutdowns von DOS auf das Betriebssystem Linux umgestellt, unter anderem um den wachsenden Speicherplatzbedarf der Programme zu decken.

Für DESY III wurde ein Ersatz-Cavity fertiggestellt und mit Beginn des Shutdowns im Oktober gegen das bisher installierte ausgetauscht. Es konnte bis zu der benötigten Beschleunigungsspannung von 20 kV erfolgreich getestet werden. Sobald mit Ablauf des Shutdowns wieder Protonen vom Injektor-Linac zur Verfügung stehen, kann das System auch unter Strahlbedingungen betrieben werden. Das bisher verwandte Cavity steht als Ersatz weiter zur Verfügung.

Einen Meilenstein für das TESLA-Projekt stellt der erfolgreiche Test des ersten Prototyps des 10 MW Multibeam Klystrons (Abb. 106) bei langer Pulsdauer dar. Bereits 1999 konnte der Prototyp beim Hersteller bei einer Ausgangsleistung von 10 MW und einer Pulsdauer von 500 μ s erfolgreich getestet werden. Da dort aber keine Anlage zur Erzeugung von Hochspannungspulsen von mehr als 500 μ s Pulsdauer zur Verfügung stand, musste dieser Test bei DESY erfolgen. In der zweimonatigen Betriebsunterbrechung von Mai bis Juni wurde einer der TTF Hochspannungsmodulatoren für den Betrieb mit dem Multibeam Klystron umgerüstet und das Klystron installiert. Das Klystron erreichte eine Ausgangsleistung von 10 MW bei einer Pulslänge von 1.5 ms. Die benötigte Hochspannung betrug 117 kV bei einem Strom von 131 A. Somit lag die Effizienz mit 65% relativ nahe bei dem angestrebten Wert von 70%. Zum Vergleich: Mit einem konventionellen 5 MW Singlebeam Klystron lässt sich nur eine Effizienz von 45% erreichen. Für den TESLA Linear-Collider werden 600 der Multibeam Klystrons benötigt. Seit Abschluss des erfolgreichen Tests wird das Multibeam Klystron als eines der Klystrons für den TTF-Betrieb eingesetzt.



Abbildung 106: 10 MW Multibeam Klystron Thomson TH1801.

Mit der Installation eines weiteren Hochspannungsmodulators, dessen Schaltungsprinzip weitgehend dem der bisher bei TTF eingesetzten Modulatoren entspricht, wurde in der Erweiterung der TTF-Halle begonnen. Die verschiedenen großen Untereinheiten des Modulators wurden nach DESY-Vorgaben von Industriefirmen gefertigt und zum Teil von diesen auch weiterentwickelt. Hervorzuheben sind der neue Hochspannungshalbleiterschalter auf Basis von „Integrated Gate-Commutated Thyristoren“ (IGCT), der neue Typ des Pulstransformators und das neu entwickelte Hochspannungsnetzgerät, das es ermöglicht, Rückwirkungen auf das Hauptnetz zu beseitigen, die sonst mit der Betriebsfrequenz des Modulators von maximal 10 Hz auf das Hauptnetz einwirken würden.

Außerdem wurde die Beschaffung von verschiedenen HF-Komponenten, wie Hohlleiterkomponenten, Zirku-

latoren oder Verstärker, für den weiteren Ausbau der TTF eingeleitet. Einige dieser Komponenten wurden bereits geliefert und konnten getestet werden.

Die Hochfrequenzregelung des TTF Linearbeschleunigers, die für die Regelung der Vektorsumme von 24 supraleitenden Resonatoren ausgelegt ist und zur Zeit die vorhandenen 16 Resonatoren ansteuert, wurde über mehrere Monate mit Strahlbetrieb eingesetzt und hat sich dabei als sehr zuverlässig erwiesen. Die Flexibilität der digitalen Regelung erlaubte dabei wahlweise TTF Betrieb, bei dem die Vektorsumme der 16 Resonatoren geregelt wird, oder FEL Betrieb, bei dem wegen des zwischen den beiden Kryomodulen installierten Bunchkompressors nur die Vektorsumme der vor dem Bunchkompressor installierten 8 Resonatoren stabilisiert wird.

Im Februar 2000 wurde erstmalig an der TTF das SASE Prinzip demonstriert, wobei die Stabilität und Reproduzierbarkeit der HF-Regelung für die supraleitenden Strukturen wesentlich zum Erfolg beitrugen.

Eine wesentliche Verbesserung der Bedienungsfreundlichkeit der HF-Regelung wurde durch Implementierung einer Zustandssteuerung erreicht. Wesentliche Elemente dieser Steuerung sind die Automatisierung der Inbetriebnahme der HF, des Wiedereinschaltens nach Abschaltung durch Fehler, der Einstellung der Schleifenphase und einer adaptiven Voraussteuerung. Die Arbeitsbelastung der Bedienungsmannschaft konnte durch diese Automatisierung erheblich verringert werden.

Ein neues Konzept zur aktiven Kompensation der dynamischen Lorentzkraft-Verstimmung der supraleitenden Resonatoren wurde entwickelt und erfolgreich am horizontalen Teststand CHECHIA erprobt. Das Arbeitsprinzip beruht auf einem piezoelektrischen Translator, welcher in den Motor-gesteuerten mechanischen Frequenzsteller integriert ist und eine Reaktionszeit von weniger als $100\ \mu\text{s}$ besitzt. In Verbindung mit einer adaptiven Voraussteuerung konnten Frequenzänderungen von etwa 300 Hz auf weniger als 30 Hz unterdrückt werden.

Weitere wichtige Punkte waren das Design einer digitalen Regelung der nächsten Generation, basierend auf C67, die Entwicklung der Motorisierung der „Waveguide Tuner“, die Demonstration der Einzelbunch Tran-

sientenmessung und die Arbeiten an einem Tunnelkompatiblen Design der „Low-Level-RF“ für TESLA 500.

Software und Technik zur Kontrolle von Beschleunigern – MST –

Die Gruppe MST betreibt die Kontrollsysteme der Beschleuniger LINAC II/III, DESY II/III, DORIS, PETRA und HERA sowie der zugehörigen Strahltransportwege. Hierzu entwickelt und betreut die Gruppe MST Software und betreibt ein umfangreiches Rechnernetzwerk, das überwiegend aus PCs besteht. Darüber hinaus unterhält die Gruppe MST ein Entwicklungs- und Servicelabor für prozessorgesteuerte Elektronik sowie für Personenschutzeinrichtungen im Rahmen des Beschleunigerstrahlenschutzes.

Der Übergang in das Jahr 2000 verlief für das MST Rechnernetzwerk erwartungsgemäß unspektakulär. Nur in wenigen Fällen musste von Hand eingegriffen werden, um kleinere Unregelmäßigkeiten zu beheben.

Neben der ständigen Pflege und weiteren Verbesserung der Rechner-, Peripherie- und Netzwerkinfrastruktur, der existierenden Kontrollprogramme, zum Beispiel der Integration neuer Vakuumdruckmessgeräte, sowie der Neuerstellung von Betriebsprogrammen, zum Beispiel der Bedienung des Elektronen-/Positronentransfers von PETRA nach HERA, lag der Schwerpunkt im Bereich Software bei den Vorbereitungsarbeiten für die Umstellung der Vorbeschleunigerkontrollen von Windows 3.11 auf Windows NT. Hierzu wurde ein Konzept entwickelt, das einerseits bewährte Elemente beibehält, aber andererseits auch neue Techniken zum Einsatz kommen lässt, die bereits für das HERA-Kontrollsystem entwickelt wurden.

Die Umstellung der Programme des PETRA-Kontrollsystems konnte weitgehend abgeschlossen werden, wofür eine Reihe von Serviceprogrammen, die von allen Kontrollprogrammen benötigt werden, neu programmiert oder überarbeitet wurden. Beispiele hierfür sind die Softwareroutinen, welche die Kommunikation der Kontrollrechner mit dem DESY-eigenen Feldbus SEDAC herstellen. Auch die zugehörigen Kontrollrechner erfuhren eine Modernisierung und wurden auf das neue Betriebssystem umkonfiguriert. Parallel hier-

zu wurde die Funktionalität der graphischen Programmierschnittstelle ACOP („Accelerator Component Oriented Programming“) erweitert, die in Zukunft in allen von der Gruppe MST betreuten Kontrollsystemen der Schnittstellenstandard für Applikationsprogramme sein wird.

Ebenfalls wurde mit der seit längerer Zeit überfälligen Integration der DESY III Magnetsteuerung in das eigentliche DESY III Kontrollsystem begonnen. Diese Arbeit geschieht in enger Zusammenarbeit mit der Gruppe MSK. Es ist das Ziel, gewachsene Speziallösungen zu eliminieren und zum Beispiel für die Rechnerkommunikation das bei HERA bewährte Kommunikationsprotokoll TINE („Threefold Integrated Network Environment“) zu verwenden.

Die Gruppe MST engagiert sich in wachsendem Maße im Bereich der TTF-Kontrollen. Der für HERA entwickelte Magnetserver wurde in das TTF-Kontrollsystem integriert und in seiner Funktionalität erweitert. Darüber hinaus begannen Studien und erste Realisierungsmaßnahmen für verbesserte Strahldiagnosemöglichkeiten und bei der Langzeitarchivierung von TTF-Beschleunigerdaten. Es ist der große Vorteil von TINE, auf einer Vielzahl von Computerplattformen einsetzbar zu sein und andere Kontrollsysteme integrieren zu können.

In Zusammenarbeit mit der Gruppe MKS konnte durch die Entwicklung eines TINE-zu-EPICS Übersetzers eine Lücke geschlossen werden. Darüber hinaus wurde das TINE Kommunikationsprotokoll um die vom TTF-Kontrollsystem geforderten Anfragemöglichkeiten und Datenformate erweitert. Dies erlaubt in Zukunft eine nahtlose Kommunikation zwischen beiden Kontrollsystemen.

Prozessorgesteuerte Elektronik kommt im Bereich der Beschleunigerkontrollen in großer Stückzahl zum Einsatz. So mussten im Berichtsjahr über dreitausend Controller gewartet und gegebenenfalls repariert werden. Auf Grund von Alterungserscheinungen elektronischer Bauteile erwies es sich als notwendig, mehrere hundert Netzteile vorsorglich zu tauschen. Für die Umbauarbeiten im Rahmen des Projekts zur Erhöhung der Luminosität bei HERA wurden über hundert neue Controller zur Magnetsteuerung gebaut. Die Modernisierung der Ansteuerung der HF-Senderanlagen des LINAC III konnte abgeschlossen werden. Im Zuge der Umstellung der

Magnetkontrollen bei TTF mussten vierzig neue Netzgerätekontroller gefertigt und betriebsbereit gemacht sowie Änderungen an den Mikroprozessorprogrammen anderer Kontrollertypen vorgenommen werden, die in Zukunft auch bei HERA zum Einsatz kommen können.

Im Bereich der gesetzlich vorgeschriebenen Personenschutzeinrichtungen an allen DESY Beschleunigeranlagen wurden die im Vorjahr begonnen Entwicklungsarbeiten für eine neues Interlocksystem fortgesetzt sowie die Betriebssicherheit bestehender Anlagen durch den Anschluss weiterer unterbrechungsfreier Stromversorgungen weiter gesteigert. Das von einer Firma gebaute neue HERA Zugangskontrollsystem wurde in Betrieb genommen und wird jetzt mehrere Monate lang intensiv getestet.

Den Höhepunkt des Jahres stellte die Ausrichtung des 3. PCaPAC („Personal Computer and Particle Accelerator Controls“) Workshops vom 9. bis 12. Oktober 2000 dar. Mehr als 120 Teilnehmer aus 43 Instituten aus 17 Ländern trugen mit 93 Vortrags- oder Posterpräsentationen zum Erfolg der Veranstaltung bei. Der PCaPAC Workshop bietet ein Forum, auf dem Themen, Trends und Probleme PC-basierender Kontrollsysteme diskutiert werden können. Die Gruppe MST ist weltweit einer der großen Vorreiter auf diesem Gebiet. Lehrveranstaltungen und Firmenpräsentationen zu zukünftigen Entwicklungen auf dem EDV-Sektor rundeten das Programm ab.

Diagnose und Instrumentierung – MDI –

Die Gruppe MDI ist zuständig für die Erfassung und Untersuchung der Strahleigenschaften in nahezu allen Beschleunigern und Speicherringen bei DESY. Dazu gehören neben der Analyse von Strahlage, Strahlstrom, Strahlprofil und Strahlpolarisation auch die Messung der Strahlverluste und das Kollimieren der Strahlen. Das ist für den Schutz der Experimente und der supraleitenden Magnete bei HERA von außerordentlicher Wichtigkeit.

Die zuverlässige und präzise Messung von Strahlpositionen und -strömen ist eine wichtige Voraussetzung

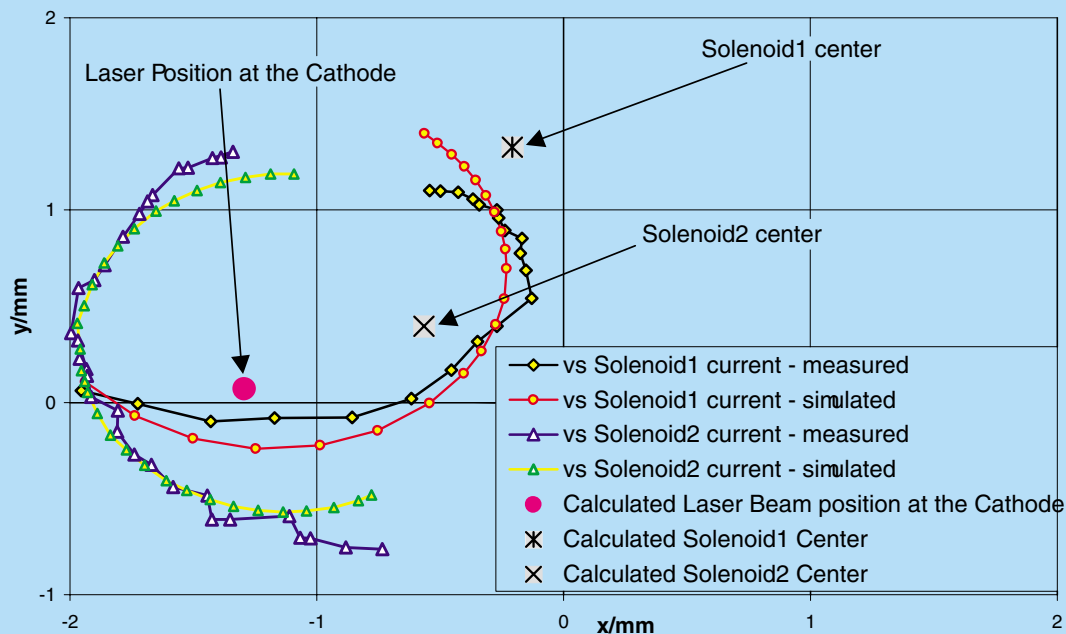


Abbildung 107: Vergleich von Strahllagemessungen und Simulationen. Daraus wurden die Positionen der Solenoid-Spulen und des Laserspots auf der Photokatode bei der TTF-Quelle bestimmt.

für einen effizienten Beschleunigerbetrieb. Umfangreiche Service-Arbeiten an den entsprechenden Monitor-systemen und dem Datenübertragungssystem SEDAC gewährleisteten dies. Entwicklungsarbeiten an dem HERA-e Strahllage-System für eine schnellere Mittelwertbildung, bessere Auflösung und Orbitspeicherung wurden in Angriff genommen und erfolgreich getestet. Am Beschleuniger PETRA wurde ein verbesserter Bunchstrom-Monitor installiert, der auch für die hohen Einzelbunch-Ströme beim HASYLAB-Betrieb von PETRA geeignet ist. Am Beschleuniger DESY III wurde erfolgreich ein neues Auslesesystem der Strahllagemonitore in Betrieb genommen und in das Kontrollsystem integriert. Bei DESY II wurde die Auslese der Strahlstrommessung erweitert und für das Kontrollsystem bereitgestellt. Für DORIS wurde ein neues Vakuumrohr inklusive Keramikgap für den Strommonitor konstruiert und eingebaut. Dieses erlaubt nun auch bei hohen Strömen in DORIS eine präzise Strahlstrommessung, ohne dass der Monitor von den star-

ken HOM-Verlusten zu sehr aufgeheizt und gestört wird. Durch den Umbau des LINAC II mussten diverse Strommonitore den neuen Gegebenheiten angepasst werden. Dies wurde zum Anlass genommen, einige Verbesserungen an den Monitoren vorzunehmen, um auch weiterhin einen problemlosen Betrieb zu gewährleisten. Die Entwicklung der Strahllageelektronik für die TTF Undulatoren wurde abgeschlossen und diese wurde in Betrieb genommen. Es wurde auf Anhieb eine Einzelbunch-Auflösung von $20\ \mu\text{m}$ erreicht. Über eine Mittelwertbildung über die Bunche eines Makropulses kann damit die für das Beam-Based-Alignment geforderte Auflösung von $10\ \mu\text{m}$ problemlos erreicht werden. An den ersten drei Strahllagemonitoren von TTF wurden Auslese-Elektroniken von HERA-e installiert. Mit deren Hilfe konnte zusammen mit einem neuen Simulationsprogramm der TU Darmstadt die Ausrichtung der Solenoid-Spulen und des Laser-Spots an der Quelle präzise vermessen und eingestellt werden (Abb. 107).

Die Entwicklung und der Service von Spezialmonitoren für bestimmte Strahlparameter wurden von MDI weitergeführt. So wurde zum Beispiel die Energiemessung an DESY II mit Hilfe des Peaking-Strip Detektors verbessert. Diese liefert ein Referenz-Triggersignal für die Energiebestimmung des Teilchenstrahls in DESY II. Insgesamt 18 hochauflösende „Wire Scanner“ vom LEP-Typ wurden in TTF, HERA, PETRA und DESY III eingebaut. Sie wurden bei TTF zur Kalibrierung und Überprüfung der Strahlpositionsmonitore und zur Emittanzbestimmung verwendet. Bei HERA wurden mit der neu entwickelten Elektronik im „Fast-Scan-Modus“ Messungen zur dynamischen Apertur durchgeführt. Ebenso vielversprechend liefen die ersten Versuche im „Slow-Scan-Modus“, die Teilchenverteilung des Strahles weit außerhalb des Strahlzentrums zu vermessen. Die Photonen-Strahllagemonitore in DORIS und PETRA wurden weiter verbessert. Sie dienen als Standardinstrumente für eine sehr präzise Strahllageregelung, um die Photonenstrahl-Qualität in den HASYLAB Experimenten sicherzustellen. Für die Emittanzmessung im LINAC III (Harfen) wurde eine CAN-Bus Ansteuerung entwickelt, die in Zukunft die alte SEDAC Ansteuerung, auch der Kollimatoren, ersetzen soll. Weiterhin wurde die Fertigung spezieller Leuchtschirme nach Anwenderspezifikation betrieben. So wurden unter anderem besondere Anfertigungen für HASYLAB und BESSY (Berlin) realisiert.

Für die Luminositätserhöhung von HERA werden eine Reihe von Instrumenten wie Positionsmonitore, Kollimatoren und Verlustmonitore zur Strahl diagnose und Strahlführung entwickelt. Dazu gehört auch die permanente Messung der Position der Magnete auf den Magnetbrücken mittels eines Drahtmesssystems sowie die Positionierung der Magnetbrücken und des GO und GG Quadrupols in ZEUS. In Zusammenarbeit mit IHEP (Protvino) wurden die neuen Synchrotronstrahlungs-Monitore für die HERA-Wechselwirkungszonen („Finger“) bei DORIS erfolgreich getestet. Die endgültige Version wird zur Zeit bei IHEP gefertigt. Aus der gleichen Zusammenarbeit ist ein neues Softwarepaket zur schnellen Übertragung von digitalen Videosignalen über das Computer-Netzwerk entstanden. Das soll in Zukunft ein Standardprogramm für die Analyse von Videosignalen, zum Beispiel von den vielen Leuchtschirmen, OTR-Schirmen, Synchrotronstrahlung usw., bei DESY werden.

Eine neuartige Strahlverlustmessung und Online-Dosimetrie mit Lichtwellenleitern des Hahn-Meitner-Instituts (Berlin) und des Fraunhofer Instituts (Euskirchen) wurde bei TTF in Zusammenarbeit sehr erfolgreich getestet. Weitere Installationen und Messungen zum Schutz der FEL-Undulatoren wurden vorbereitet. Der ständige Ausbau, die Wartung und die Dokumentation der Lichtleiter-, Koaxial- und Steuerkabelnetze in allen Beschleunigeranlagen wurden von MDI in Zusammenarbeit mit einigen externen Firmen zuverlässig weitergeführt. Für die Luminositätserhöhung sind die erforderlichen Arbeiten an den Kabelnetzen von HERA, den Pilohermen und den Elektronikschränken angelaufen.

Strahlkontrollen – MSK –

Die Gruppe ist zuständig für spezielle Kontroll- und Instrumentierungsaufgaben im Zusammenhang mit der Strahldynamik in HERA und in den Vorbeschleunigern. Dazu gehören die folgenden Aufgabenschwerpunkte:

- Transfersteuerung und Synchronisation zur Teilcheninjektion,
- Markersysteme und Triggererzeugung,
- HF-Ansteuerung von Vorbeschleunigern und HERA,
- Strahlfeedback an allen Beschleunigern,
- Messung longitudinaler Strahlschwingungen,
- Messung der Q-Werte durch Analyse der transversalen Strahlschwingungen,
- Magnetstromsteuerung für DESY II und DESY III,
- Frequenzsteuerung für die HF der Protonenmaschinen.

Im Berichtsjahr wurden im Wesentlichen folgende Einzelaufgaben bearbeitet:

- Die DESY III-Kontrollen wurden an Windows NT und das TINE-Protokoll zum Datenaustausch zwischen Kontrollsystem und VME-Hardware angepasst. Dabei wurde auch eine erweiterte Fernsteuerung des VME-Systems bei Netzausfall installiert.
- Die Markersysteme für DORIS, PETRA und HERA wurden hinsichtlich der Rasterauflösung verbessert

und für PETRA und HERA wurde eine Fehlerdiagnose zur Verbesserung der Betriebssicherheit implementiert.

- Die Feedbacksysteme wurden durch Umstellung der Hardware auf programmierbare Logik weiterentwickelt und verbessert. Ein Ziel ist es, die Systeme für PETRA und HERA zu vereinheitlichen.
- Für TTF wurde der Prototyp einer Hardware zur Strahllageregelung erfolgreich getestet, die für das schnelle Feedback eingesetzt werden soll.
- An der HERA-e Tuneregelung und an der Q-Messung wurden Verbesserungen insbesondere für den Lumi-Betrieb vorgenommen.
- Die BKR-Oszillografenanlage hat eine neue Struktur hinsichtlich der Kontrollrechner, der Signalverkabelung und der Signalmultiplexer erhalten.
- Für die Feedbacksysteme wurde auch die Weiterentwicklung der Schwingungsdetektoren hinsichtlich Rauschen und Sample-Frequenz vorangetrieben. Außerdem wurde der Bestand an Ersatzgeräten vervollständigt.
- Mit dem Bau eines neuen Linac-Triggeregenerators für die zeitstabile Elektronen- und Positronen-Buncherzeugung in LINAC II und PIA wurde begonnen. Eine temporäre Instabilität des alten Systems konnte identifiziert und beseitigt werden. Eine Neuentwicklung ist aber dringend erforderlich und ist auch bereits konzipiert.
- Zur Diagnose der Energie- und Phasen Anpassung bei der HERA-e Injektion wurde ein Schwingungsdetektor mit Signalanalyse entwickelt und erfolgreich getestet.
- Für die neue HERA-p Transfersteuerung wurde ein VME-Modul zur Synchronisation mit den Umlaufzeiten in PETRA und HERA präpariert.
- Ein weiteres VME-Modul mit Multiplexerfunktion in programmierbarer Logik für die HERA-p Frequenzsteuerung wurde fertiggestellt.
- Für eine flexiblere Steuerung der HF-Amplitudenmodulation in DESY II wurde ein VME-Modul entwickelt, welches den alten AM-Generator mit seiner störanfälligen Signalprozessor-Hardware ablösen soll.

Neben diesen Einzelaufgaben war MSK auch an verschiedenen Messschichten beteiligt, bei denen die Strahldynamik der Protonen wegen der „Coasting Beam“ Problematik im Vordergrund stand:

- Erzeugung eines ungebunchten Protonenstrahls bei 920 GeV/c zur Untersuchung eines neuen Schottky-Signaldetektors, der für den Betrieb mit gebunchtem Strahl konzipiert ist.
- Messung der longitudinalen Strahl-Transferfunktion unter Verwendung eines Phasendetektors aus dem HERA-p Phasenloop.
- Messung des longitudinalen Echos eines zweifach in zeitlichem Abstand angeregten Protonenstrahls zur Untersuchung von Diffusionsprozessen im HF-Bucket.

Eine weitere Untersuchung am Protonenstrahl in HERA mit dem Ziel, eine Verminderung der Synchrotronstrahlung bei niedrigen Energien nachzuweisen, die das metallische Vakuumrohr bewirkt, war von CERN-Mitarbeitern initiiert worden. Dabei wurde der neue Schottky-Signaldetektor verwendet und eine vorläufige Datenanalyse vorgenommen.

Quenchüberwachung

Die Projektgruppe „Quenchüberwachung“ besteht aus Mitgliedern der M-Bereichsgruppen MST, MDI, MVP und MKS sowie der F-Bereichsgruppe FEB. Die Aufgabe der Gruppe besteht darin, das Quenchüberwachungssystem des HERA-Protonenrings weiter zu entwickeln und zu betreuen. Von einem Quench spricht man, wenn ein supraleitender Magnet, zum Beispiel durch einen Energieeintrag bei einem Strahlverlust, schlagartig in den normalleitenden Zustand übergeht. Das Quenchüberwachungssystem sorgt unter anderem dafür, dass der Strom in der betroffenen Magnetspule von Schutzdioden übernommen wird, bis der Strom abgeschaltet ist. Auf diese Weise wird die Zerstörung der Spule verhindert.

Während der gesamten Berichtsperiode wurde HERA-p bei einer Protonenstrahl-Energie von 920 GeV betrieben. Es wurden 16 durch Strahlverluste erzeugte Quenche, verursacht vor allem durch einen längere Zeit un-

erkannten Strahlorbit-Fehler im Quadranten SR/WL, erkannt und eine Schnellabschaltung der Magnetkette ausgelöst. Das Quenchüberwachungssystem erwies sich während der gesamten Zeit als unauffällig und weitgehend störungsfrei. In drei Fällen musste wegen Elektronikproblemen zur Sicherheit eine langsame Entregung der Magnetkette eingeleitet werden. Fehlerhafte Quenchmeldungen in der Überwachungselektronik des Oktanten WL verursachten sechs Schnellabschaltungen. In jedem Fall wurden alle Schnellabschaltungen der supraleitenden Magnete sicher beherrscht. Die Hauptarbeit der Projektgruppe konzentrierte sich im Berichtsjahr auf die Entwicklung der Quenchüberwachungs-Elektronik der neuen supraleitenden Magnete, die im Rahmen des Projekts zur Luminositätssteigerung von HERA im Bereich der Experimente H1 und ZEUS eingebaut werden. Diese Magnete sind nicht Bestandteil des bisherigen HERA-p Hauptstromkreises. Auf Grund baulicher Unterschiede im Vergleich zu den HERA Hauptmagneten erwies sich eine Adaption der vorhandenen Überwachungselektronik als nicht möglich. Umfangreiche Tests der neuentwickelten Elektronik wurden an den neuen Magneten auf dem Magnetteststand durchgeführt.

Vakuum – MVA –

Mit Ausnahme der Vakuumsysteme von HERA-p, DESY III sowie TTF werden alle Vakuumsysteme der DESY Beschleuniger von der Gruppe MVA entworfen, gefertigt, betrieben sowie weiterentwickelt. Der Schwerpunkt der Arbeiten im Berichtsjahr lag eindeutig beim Projekt der Luminositätssteigerung des HERA-Beschleunigers. Etwa 300 m neue Vakuumkomponenten, vorwiegend Unikate, waren zu fertigen und auch teilweise noch zu konstruieren. Weitere Schwerpunkte waren ein Umbau bei DORIS, diverse Wartungs- und Entwicklungsarbeiten an den anderen Beschleunigern sowie einige spezielle Projekte für TESLA.

HERA

Der Betrieb des Elektronenrings verlief problemlos. Der Restgasdruck war so niedrig, dass auch ohne Regenerieren der NEG Pumpen die Strahllebensdauer der Positronen im Normalfall mehr als zehn Stunden

betrug. Betrieb mit Elektronen wurde in 2000 nicht durchgeführt.

Die zweifellos umfangreichste und anspruchsvollste Aufgabe für MVA war die Planung und Durchführung des Projekts zur Luminositätssteigerung von HERA. Beide Hauptwechselwirkungszonen im Norden und Süden werden bis zu einem Abstand von etwa 65 m zum Wechselwirkungspunkt komplett neu aufgebaut. Die Gruppe MVA betreute dabei das für beide Strahlen gemeinsame Vakuumsystem bis etwa 11 m, acht Spezialkammern für den Protonenstrahl in den Halbquadrupolen sowie das exklusive Elektronen-Vakuumsystem, das aus 4×20 verschiedenen Kupferkammern besteht.

Weiterhin wurde für die jeweils rechte Seite der Wechselwirkungszonen ein etwa 15 m langes Vakuumsystem gefertigt, das ausschließlich zum Transport der von den Leptonen erzeugten Synchrotronstrahlung dient. Die Absorption der Strahlung erfolgt in etwa 20 m Entfernung von den empfindlichen Detektoren. An verschiedenen Stellen werden anspruchsvoll zu fertigende Kupferabsorber mit teilweise sehr hohen Leistungsdichten eingebaut.

Zum Erreichen der maximalen Luminosität war es notwendig, die Apertur in den Halbquadrupolen für die Fokussierung des Protonenstrahls zu maximieren. Dies wurde durch eine spezielle Kammerkonstruktion aus dünnwandigen Edelstahlblechen erreicht. Da diese Kammern auch von Synchrotronstrahlung getroffen werden, wurden sie zusätzlich von außen verkupfert, um eine optimale Kühlung zu gewährleisten. Um einen guten Druck zu erreichen, werden diese Kammern mit parallel laufenden NEG Pumpen ausgerüstet, die zwischen den Polen des Halbquadrupols liegen. Ein besonderes Problem war dabei, die mechanischen Spannungen beim Aktivieren der NEG Streifen bei etwa 400°C in den Griff zu bekommen.

Das gesamte Fertigungsprogramm für die Luminositätssteigerung zeichnete sich dadurch aus, dass sämtliche Komponenten praktisch Unikate sind und nur in sehr geringen Stückzahlen zu fertigen waren. An vielen Stellen wurden spezielle Löt- oder Schweißtechniken zum Fügen der vakuumdichten Verbindungen eingesetzt. Um den Arbeitsanfall zu bewältigen, wurden zeitweilig 25 Leiharbeiter zusätzlich in der Gruppe beschäftigt. Zum Ende des Jahres 2000 waren praktisch

alle Komponenten gefertigt, bis auf die oben erwähnten dünnwandigen Edelstahlkammern, bei denen Schwierigkeiten mit der Verkupferung den Zeitplan verzögert hatten. Es wird erwartet, das Programm planmäßig in 2001 zu beenden.

DORIS III

Ein Problem bei DORIS ist die mechanische Verkopplung der Vakuumkammern mit den fokussierenden Quadrupolmagneten. Durch Synchrotronstrahlung werden die Kammern ungleichmäßig erwärmt, sie verformen sich mechanisch und führen über Verschieben der Quadrupole zu leichten Orbitänderungen im Beschleuniger. Viele Experimente reagieren sehr empfindlich auf Lageänderungen des Synchrotronstrahlungsfächers. Um die Situation zu verbessern, wurden im vergangenen Jahr die jeweils zwei bis drei Vakuumkammern in den zehn Quadrupoltripletts von DORIS so modifiziert, dass die mechanische Kopplung mit dem Magneten aufgehoben wird. An den neuen Kammern wurden die integrierten Ionen-Getterpumpen durch Ti-Sublimationspumpen ersetzt.

Weiterhin wurden bei DORIS mehrere sogenannte Auslasskammern modifiziert, um die Kühlung zu verbessern. Unter Mithilfe von MVA wurde die Fertigung von vier neu konstruierten Kickern angestrebt. Fertigungsprobleme beim Bau der Kicker ließen nur den Austausch des Vertikalkickers während der Montagezeit zu. Die drei Injektionskicker werden Mitte 2001 gegen die Neukonstruktion ausgewechselt werden.

PETRA

Das Vakuumsystem von PETRA besteht aus Aluminium-Kammern, die miteinander verschweißt, das heißt flanschlos verbunden sind. Diese Technik ist zwar kostensparend, jedoch service-unfreundlich. Für einen Test wurden im letzten Shutdown zwei Kammern mit flanschbaren Schiebestücken ausgerüstet. Dabei wurde eine spezielle Diamant-Kohlenstoff Beschichtung für die verwendeten Aluminium-Conflat-Flansche gewählt. Die Beschichtung sorgt, durch Reduktion der zur Herstellung der Flanschverbindung notwendigen Kräfte, für eine längere Standzeit der Schneiden des

Flansches. Diese relativ kostengünstige Flanschverbindung empfiehlt sich für komplexe Aluminium-UHV-Systeme.

LINAC II

Im LINAC II wurden drei neue, bei MVA gefertigte S-Band Beschleunigerstrukturen eingebaut. Diese Strukturen wurden mittels eines speziellen induktiven Lötverfahrens gefertigt, das im Rahmen des S-Band Projektes bei DESY entwickelt worden war.

TESLA/TTF

Für den TTF Beschleuniger wurde bei der Gruppe MVA ein spezieller Kollimator konstruiert und gefertigt, der in einer dispersiven Sektion zur Kollimierung des Dunkelstroms eingesetzt werden soll. Die Fertigung ist noch nicht beendet.

Weiterhin wurde für einen schnellen Feedback-Kicker ein Keramikrohr mit einer dünnen Schicht aus nicht-rostendem Stahl besputtert. Die Schwierigkeit besteht hier darin, die Schichtdicke so dünn zu halten, dass das magnetische Feld des Kickers mit der notwendigen Bandbreite hindurch gelassen wird, jedoch dick genug, um den Strahl begleitende Spiegelströme über die Schicht weiterzuleiten. Nach einer längeren Versuchsreihe an einer bei MVA eingerichteten Sputterapparatur konnte eine solche Schicht mit den gewünschten elektrischen und mechanischen Eigenschaften hergestellt werden. Zwei der mit diesen Rohren ausgerüsteten Feedback-Kicker wurden bei TTF sehr erfolgreich getestet.

Im Hinblick auf die Verbesserung der für TESLA eingesetzten supraleitenden Cavities wurde bei der Gruppe MVA an der Entwicklung einer Elektropolitureinrichtung für 9-zellige Niob-Cavities gearbeitet. Die konstruktiven Arbeiten für eine Versuchseinrichtung sind jetzt abgeschlossen, und die Fertigung des Aufbaus hat begonnen. Es ist geplant, in der ersten Jahreshälfte von 2001 einen Vorversuch in der Galvanikeinrichtung der Lufthansa in Hamburg durchzuführen. Weiterhin wurde im Verbund mit den Gruppen FDET und MKS ein Vorhaben zur Einrichtung einer ständigen Elektropolierereinrichtung bei DESY beantragt.

Für systematische Untersuchungen der optimalen Schweißparameter beim Schweißen der TESLA Niob-Cavities wird gegenwärtig eine Elektronenstrahl-Schweißanlage mit besonders anspruchsvollen Vakuumbedingungen beschafft. Es ist geplant, diese Anlage bis Ende April 2001 in der Werkhalle von MVA, Gebäude 14, aufzubauen. Zwei MVA-Mitarbeiter betreuten bereits im Jahr 2000 die vakuumtechnische Auslegung der Anlage und bereiteten die Umrüstung der Werkhalle vor. Der Betrieb der Anlage wird später gemeinsam durch die Gruppen MVA und MKS erfolgen.

Ein weiteres Projekt der Gruppe ist die Entwicklung von Strahlspoilern aus Graphit für den Einsatz im Kollimatorsystem des geplanten TESLA Linear-Colliders. Graphit, insbesondere in pyrolytischer Form, ist besonders widerstandsfähig gegenüber thermischem Stress, der durch die Einwirkung des extrem konzentrierten 250 GeV Strahls im Material induziert wird. Probleme mit Graphit als Kollimatormaterial entstehen durch die normalerweise schlechten Vakuumeigenschaften sowie durch die relativ schlechte elektrische Leitfähigkeit des Materials. Mehrere Versuchskollimatoren aus hochdichtem Graphit erreichten nach Ausbacken bei 400°C Ausgasraten von 10^{-10} mbar $l s^{-1} cm^{-2}$, die auch für ein UHV-System akzeptabel sind. Der im Normalfall sehr dicht an der Oberfläche vorbeifliegende Strahl wird durch resistive Wakefelder gestört. Da die Berechnung dieser Effekte sich als schwierig erweist, wurde gemeinsam mit dem Linear Accelerator Center (SLAC, USA) ein Strahltest dieser bei DESY gefertigten Kollimatoren geplant. Bei diesem Experiment wird der vom Dämpfungsring kommende niederenergetische SLC-Strahl zwischen einem Kollimatoren-Paar hindurchgeschossen und die Abhängigkeit des durch Wakefelder erzeugten mittleren Ablenkwinkels von der relativen Position des Kollimatorpaares zum Strahl bestimmt. Vier Graphitkollimatoren wurden bereits im November zusammen mit einer Wechselkassette an SLAC geliefert. Das Experiment ist für die erste Hälfte 2001 geplant.

Protonenvakuum – MVP –

Die Gruppe MVP ist für die Vakuumsysteme des Protonenrings von HERA, einschließlich der Isoliervakuum-

systeme für die Heliumtransferleitung und die supraleitenden Magnete, des Protonenrings von DESY III und der TESLA Test Facility (TTF) verantwortlich. Diese werden von der Gruppe entworfen, gebaut, weiterentwickelt und betrieben. Im Berichtsjahr bereitete der Betrieb dieser Systeme keinerlei Probleme.

Neben den allgemeinen Wartungs- und Reparaturarbeiten konzentrierten sich die Aufgaben der Gruppe vor allem auf den Umbau des HERA-Vakuumsystems in den beiden Wechselwirkungszonen Nord und Süd im Rahmen der Luminositätssteigerung, auf die Weiterentwicklung und den Ausbau der Vakuumsysteme für die TESLA Test Facility sowie auf den Bau von 60 weiteren, fernbedienbaren Vakuumpumpständen.

Weiterhin ist die Gruppe maßgeblich an der Entwicklung und dem Betrieb des TTF-Kontrollsystems beteiligt.

HERA und DESY III

Bei dem in der Wartungsperiode 2000/2001 begonnenen Umbau der Wechselwirkungszonen Nord und Süd zur Luminositätssteigerung von HERA werden rund 320 m des Protonenvakuumsystems modifiziert. Hierfür wurde im Berichtszeitraum die Fertigung der neuen Vakuumkammern zum großen Teil gruppenintern durchgeführt und nahezu abgeschlossen. Im HERA-Tunnel wurden alle Vakuumkammern und Pumpen in den entsprechenden Bereichen abgebaut. Mit der Modifikation der Vakuumkammern, die weiterverwendet werden sollen, wurde begonnen. Die Konstruktion der beiden Synchrotronstrahlungs-Absorber zum Schutz der Strahlventile nahe den Wechselwirkungszonen wurde abgeschlossen und mit der Fertigung begonnen.

Die detaillierte Auslegung des Isoliervakuumsystems für die neuen supraleitenden Magnete GG und GO, die sich innerhalb der beiden Detektoren H1 und ZEUS befinden, wurde ebenfalls abgeschlossen und mit dessen Aufbau begonnen.

Seit Beginn der Wartungsperiode wurden umfangreiche Wartungsarbeiten am Isoliervakuumsystem sowie

an den Pumpen, Schiebern und Messröhren und deren elektronischen Komponenten durchgeführt.

Es wurden Vorbereitungen unternommen, das elf Jahre alte Vakuumpkontrollsystem des HERA-p Ringes auf das bei TTF verwendete DOOCS umzustellen. Dadurch würde die Gruppe nur noch ein Kontrollsystem betreuen müssen. Die Umstellung kann weitgehend durch automatische Skripts erfolgen und soll in der Wartungsperiode abgeschlossen werden. Bei DESY III wurden die Vakuumpkomponenten für den Nachbau der CERN-Protonen-Cavity gefertigt, montiert und im Shutdown 2000 eingebaut.

Neue Linearbeschleuniger

Im Rahmen der Entwicklungsarbeiten für den neuen Linearbeschleuniger wurden im Jahr 2000 mehrere Umbauten am Vakuumsystem des supraleitenden Linearbeschleunigers der TESLA Test Facility durchgeführt. Hierzu gehörten einige Umbauten im Bereich der Elektronenkanone (Gun) und der Einbau von Elementen für diverse Experimente, wie die Vakuumpkammern für das RAFEL Experiment, den „Fast Feed Back“ Kicker sowie das „Wakefield“ Experiment. Hierfür wurden wie bisher alle neuen Vakuumpkomponenten im Reinraum mit ähnlichen Prozeduren wie die supraleitenden Cavities gereinigt, um Staub zu entfernen. Die Installation der Vakuumpkammern in den Beschleuniger erfolgte mit kleinen mobilen Reinräumen. Beim Betrieb des TTF-Beschleunigers bereitete das Vakuumsystem keinerlei Probleme.

Das Kathodenwechselsystem für die FEL-HF-Elektronenkanone wurde aufgebaut und vakuumtechnisch in Betrieb genommen. Das System wurde inzwischen nach DESY Zeuthen transportiert, um dort am neuen Teststand PITZ mit der Elektronenkanone verbunden zu werden. Die Fertigung der elektronischen Komponenten für 60 weitere, fernbedienbare Pumpstände wurde nahezu abgeschlossen und mit dem Aufbau der Pumpstände begonnen. Die ersten zehn Pumpstände wurden fertiggestellt und werden nun an den vorgesehenen Stellen in Betrieb genommen.

Für das TTF-Kontrollsystem wurde der größte Teil der Magnete auf das TINE-Protokoll umgestellt. Dieses Protokoll wurde in die DOOCS Libraries aufge-

nommen. Dadurch können jetzt wieder sämtliche TTF-Programme auf alle Magnete zugreifen.

Die im Vorjahr begonnenen Arbeiten zur Automatisierung des Beschleunigerbetriebs konnten für die Hochfrequenzsteuerung der Module und der Gun erfolgreich abgeschlossen werden. Ein „Finite-State-Machine-Server“ steuert die gesamte Hochfrequenz und führt auch automatische Messungen mit Hilfe von MATLAB-Programmen durch, um zum Beispiel die Phasen des 1.3 GHz Systems einzustellen. Darüber hinaus wurden Verbesserungen in den Anwendungen für den TTF-Betrieb vorgenommen und Konzepte für den TESLA-Beschleuniger erarbeitet.

Neben der allgemeinen Weiterentwicklung der Hard- und Software des „Beam Interlock Systems“ (BIS) des TTF-Beschleunigers wurde das System für den Betrieb mit langen Strahlpulsen angepasst. Hierzu wurden unter anderem die Hardware für das „Very Fast Protection System“ durch Photomultiplier zum Schutz des Undulators vor Strahlverlusten geändert sowie die neue Elektronik des Toroidsystems zur schnellen Erkennung von Strahlverlusten getestet und in Betrieb genommen. Ferner wurde das BIS so erweitert, dass die neu eingebauten Experimente wie das RAFEL- und Wakefield-Experiment sowie die Wirescanner im Undulator durch den Strahlbetrieb nicht geschädigt werden können. Ebenso wurde die Hard- und Software des BIS für den TTF-Betrieb aus dem DESY Beschleunigerkontrollraum vorbereitet.

Kryogenik und Supraleitung – MKS – HERA Kältebetrieb

Das HERA-Kältesystem zur Helium-Versorgung der supraleitenden Protonenring-Magnete, der Experimente und der supraleitenden Cavities lief von April 1998 bis Mitte September 2000 durchgängig bei einer abgesenkten Temperatur von 4.0 K, das heißt im Unterdruckbetrieb. Die Verfügbarkeit der geforderten Kälteleistung betrug im Berichtsjahr 98.5%. Dabei trug die Kälteanlage selbst im Mittel nur mit 0.12% Ausfallzeit bei (12.4 Min./Woche, 1 Ausfall), das Verteilungssystem mit 0.05% (5.2 Min./Woche, 2 Ausfälle), 7 HERA-Quenche mit 0.21% (21.5 Min./Woche), die Stromversorgung mit 1.0% (100.7 Min./Woche, 5 Ausfälle)

und die Kryokontrollen mit 0.11% (11.5 Min./Woche, 3 Ausfälle). Neben dem Kältebetrieb der Ringmagnete wurden die supraleitenden Cavities des Elektronenringes, das HERMES Experiment und die Magnete der Experimente H1 und ZEUS bei 4.4 K gekühlt. Zusätzlich wurden für HASYLAB und den Laborbetrieb insgesamt 29 m³ Flüssig-Helium in Kannen abgegeben.

Zur Steigerung der Kompressorleistung wurde zunächst für den Südhalbring, in dem die meisten Verbraucher versorgt werden müssen, ein neues Vorhaben angemeldet. Danach können die Kompressoren der Niederdruckstufe über Frequenzumrichter bis 60 Hz angesteuert werden. Es werden damit zusätzliche Kälteleistungsreserven geschaffen werden, um sowohl den Ring im Unterdruckbetrieb als auch die für die Luminositäts-erhöhung zusätzlich benötigten supraleitenden Magnete zu kühlen.

Mit Beginn der HERA Betriebsunterbrechung im September 2000 wurden alle Anlagenkomponenten routinemäßig gewartet. Die Gesamtbetriebszeiten der drei Kälteanlagen betragen: 77 000 h, 75 000 h und 28 000 h (Redundanz), die der Kompressoren: 82 000 h, 79 000 h und 32 000 h (Redundanz).

HERA-Kältekontrollen

Die SEDAC-Anbindung lief im vergangenen Jahr stabil. Bei einem älteren Typ von unterbrechungsfreien Stromversorgungen und anderen Netzteilen mussten mehrere Ausfälle verzeichnet werden. Diese werden im Shutdown 2000/01 ausgewechselt. In dem D/3 Kontrollsystem für die HERA-Kälteanlage wurden die Stromversorgungen für die Ein-Ausgabe-Module auf ein neues redundantes USV-System umgestellt.

Die für das laufende Jahr geplante Erneuerung des Kontrollsystems konnte nicht durchgeführt werden. Zeitliche und technische Schwierigkeiten führten zu einem Abbruch des Projekts im Juni des Jahres. Auch eine geplante Aufrüstung des D/3-Kontrollsystems auf eine neuere Version konnte aus finanziellen Gründen nicht umgesetzt werden. Die Bemühungen gehen dahin, das vorhandene System so sicher wie möglich über die nächsten Jahre zu bringen. Dazu gehört unter anderem der Betrieb des nicht Jahr-2000 festen Systems mit einer um vier Jahre zurückgestellten Systemzeit.

EPICS

In Zusammenarbeit mit der Gruppe MKK wurden weitere Rechner zur Diagnose der 10 kV Schaltstationen in Betrieb genommen. Zusammen mit der Gruppe MST wurde ein „Channel Access“ – TINE Gateway entwickelt. „Channel Access“ ist das von dem EPICS Toolkit eingesetzte Kommunikations-Protokoll. Dieses ermöglicht den transparenten Zugriff auf alle Daten der von der Gruppe MKS-2 betriebenen EPICS Rechner. Eine erste Anwendung fand dieses Gateway bei dem Diagnose-Rechner von MHF-sl. Neue Entwicklungen sind darauf ausgerichtet, die Stabilität der Anwendungen und Systeme weiter zu verbessern. So wurde ein Teil der Treiber-Software durch neue, modulare Software ersetzt. Diese ermöglicht eine verbesserte Wiederverwendbarkeit und damit eine bessere Wartung. Neue Diagnose-Software rundet diese Entwicklungen ab. Bedingt durch die Probleme bei der Umstellung des alten Kontrollsystems erlangt die bei MKS eingesetzte EPICS Software zusätzliche Bedeutung.

Luminositäts-erhöhung

Für die Luminositäts-erhöhung wurden von MKS-2 komplexe neue Regelungen vorbereitet, getestet und implementiert. Elektronik musste zum Teil neu entwickelt werden, weil vorhandene SEDAC-Module nicht mehr nachgebaut werden konnten. Zum Test der Magnete wurden in der Magnetesthalle (MTH) zusätzliche Kryo-Kontrollen installiert. Es wird ein EPICS-System eingesetzt, das über einen CAN-open-Feldbus an den Prozess angebunden ist. Dazu wurden industriell gefertigte Module und eigenentwickelte Elektronik (Temperaturmessung) gemischt verwendet.

Die Vorbereitungen für die kryogenische Versorgung der supraleitenden Magnete für die Luminositäts-erhöhung sind weitgehend abgeschlossen. Mit dem Einbau der Komponenten in den HERA-Hallen Nord und Süd ist im Herbst 2000 begonnen worden. Der Einbau und die Inbetriebnahme der zugehörigen neuen Vorkühlerboxen inklusive der Helium-Warmgasventilstationen und der Einbindung in das vorhandene HERA Kältesystem werden ab Januar 2001 erfolgen.

Für den Umbau der Wechselwirkungszonen von HERA im Rahmen der Luminositäts-erhöhung werden neben

den 6 supraleitenden Magneten etwa 50 normaleitende Quadrupol-Magnete benötigt.

Die normaleitenden Magnete und die ersten beiden supraleitenden Magnete sind auf einem Teststand in Halle 55 getestet und sowohl magnetisch als auch optisch vermessen worden (Abb. 105). Die restlichen zwei Magnete sowie zwei Ersatzmagnete werden bis etwa April 2001 vermessen und zum Einbau bei HERA bereit sein.

Beschleunigerentwicklung (TESLA und TTF)

Im Laufe des Berichtsjahres konnte die Kapazität der Anlage für die Cavity-Präparation auf den maximal möglichen Durchsatz erhöht werden. Insgesamt wurden 14 neue Resonatoren ausgeliefert, 146 Chemiebehandlungen, 82 Titan- und 64 Niobbeizungen, wurden durchgeführt. Durch den 1999 erfolgten Umbau der Reinstwasserversorgung konnten Hochdruckspülen und Chemiezyklen parallel gefahren werden. Zur Testvorbereitung wurden insgesamt 255 Hochdruckspülungen durchgeführt. Es wurden 49 Cavities für Vertikal- und 9 Cavities für Horizontalmessungen präpariert. Der mittlere Gradient der vertikal gemessenen 9-zelligen Cavities lag bei 26.7 MV/m, die Einsatzschwelle der Feldemission bei 21.5 MV/m.

Für die geplante Superstruktur sind Vorrichtungen und Adapter konstruiert und gefertigt worden. Die ersten beiden Cavities der 7-zelligen Beschleunigerstruktur (Abb. 108) wurden an DESY ausgeliefert und stehen nunmehr zum Test bereit.

Für die Superstrukturen wurde eine supraleitende UHV-dichte Vakuumdichtung entwickelt. Hierzu wurde ein 2-zelliger Resonator mit entsprechender Flanschgeometrie ausgerüstet und die Dichtungstechnik an diesem Prototypen entwickelt. Die Grenzen dieser Dichtungstechnik sind bisher nicht bekannt, da das Testobjekt selbst mit 11 MV/m die Begrenzung des Gesamtsystems darstellt. Zur Verbesserung der Qualität und sicheren Handhabung der Resonatoren wurden neue Rahmenelemente entwickelt und in Betrieb genommen. Sie erlauben, sowohl die Superstrukturen als auch die Standardcavities mit 9 Zellen aufzunehmen. Durch leichtere Handhabung und präzise Halterung sind Veränderungen der Feldprofilverteilung sowie Verletzungen der Niob-Struktur ausgeschlossen.



Abbildung 108: Superstruktur Typ 2 bei der Testmontage für den vertikalen Einsatz.

Bei mehreren Experimenten an supraleitenden Resonatoren konnte durch Wärmebehandlung bei 150 °C eine Verbesserung der Güte als Funktion der Beschleunigungsfeldstärke erreicht werden. Um dieses Verfahren serienmäßig einsetzen zu können, wurde ein Schutzgas-Heizsystem für komplette Strukturen entwickelt und aufgebaut.

Für die im Reinraum verwendete Hochdruckspüle wurde die ursprünglich von CERN gelieferte Kontroll-Hardware und -Software durch eine SPS Steuerung und eine Prozessvisualisierung mit Visual Basic ausgetauscht.

Kryomodule

Im Frühjahr 2000 wurde ein viertes Kryomodul montiert, das Modul 1*, dessen mittlerer nutzbarer Gradient oberhalb von 25 MV/m liegen wird. Das Modul

wurde in die Ausstellung EXPO 2000 gebracht. Dies war der erste Test für den Straßentransport und für die Konservierung eines einbaufertigen Moduls. Zum Ende des Berichtszeitraums wurde die Montage des Moduls Nr. 4 mit einem zu erwartenden mittleren Gradienten zwischen 26 und 28 MV/m begonnen.

Datenbank für die TTF

Zur Optimierung der Arbeiten an den supraleitenden Cavities für TTF werden die chronologische Abfolge der Arbeiten und die Verfügbarkeit der wichtigsten Anlagen zur Präparation und zum Test der Resonatoren in einer Datenbank festgehalten. Zusätzlich werden die wichtigsten Daten der visuellen und mechanischen Eingangskontrolle der Cavities, die Prozedur und Ergebnisse ihrer chemischen Behandlungen und Messungen bei Zimmertemperatur und 2 K in dieser Datenbank gespeichert. Vom Linac über die Module kann direkt auf die Daten der Resonatoren zugegriffen werden, die im TTF-Linac installiert sind.

Dazu musste eine Vielzahl von SQL-Prozeduren entwickelt werden, um die anfallende Datenmenge zu filtern und für die Datenbank aufzubereiten. Um den Zugriff auf diese Daten zu erleichtern, wurde ein umfangreiches graphisches Benutzer-Interface zur Datenbank erstellt, das die wichtigsten Ergebnisse in Form von Tabellen und Graphen zur Verfügung stellt.

TTF Kryogenik

Im Berichtszeitraum wurde die Helium-Kälteversorgung des TTF-Kältelabors und des TTF-Linearbeschleunigers mit zwei TTF-Kryomodulen gewährleistet. Dabei wurde der Kältebetrieb des TTF-Linearbeschleunigers länger als ein Jahr durchgehend aufrechterhalten.

Für die erweiterte Helium-Kälteversorgung des TTF/FEL-Linearbeschleunigers mit einem Anschluss an die HERA-Heliumkälteanlage wurde die Verlängerung der bestehenden TTF-Transferleitung zur FEL-Vorkühler- und Verteilerbox installiert. Weiterhin wurde ein zweites Helium-Vakuumkompressorsystem, das zur Entkopplung der Kälteversorgung des TTF-

Linearbeschleunigers und des TTF-Kältelabors und zur Kapazitätserweiterung benötigt wird, geliefert, aufgebaut und in Betrieb genommen.

Der endgültige und vollständige Anschluss zur HERA-Kälteanlage wird im nächsten Shutdown des TTF-Linearbeschleunigers erfolgen. Einige spezielle kryogenische Komponenten, die für den Ausbau des Linearbeschleunigers (TTF Phase 2) benötigt werden, wurden spezifiziert. Zu diesen Komponenten gehören eine 24 m lange Bunchkompressor-Bypass-Transferleitung mit neun Prozessrohren, eine Neuauslegung der Modulverbindungsstücke und eine dem neuen Moduldesign angepasste Endbox.

Für den Test von speziellen supraleitenden Cavities wird eine Cavity-Test-Anlage (CTA) aufgebaut, zu der unter anderem eine 300 W Kälteanlage und ein 1000 Liter Badkryostat gehören. Die Anschlusselemente für den CTA-Kryostaten wurden gefertigt, abgenommen und installiert. Der CTA-Pumpstand wurde geliefert, aufgebaut und komplett angeschlossen. Während des HERA-Shutdowns wurde die CTA Kälteanlage zum Füllen von Helium-Kannen für die Experimente bei HASYLAB eingesetzt.

Für die Kontrollen der 900 W-Kälteanlage in Halle 3 wurde das vorhandene D/3-System von HERA entkoppelt, um unabhängige Shutdown-Perioden zu ermöglichen. Die Kryo-Kontrollen für den LINAC liefen problemlos mit dem vorhandenen EPICS-System.

Energieversorgung – MKK –

Die Gruppe MKK betreibt die Energieversorgung bei DESY. Die Stromversorgung beginnt bei den drei 110 kV/10 kV-Großtransformatoren, die die 10 kV-Schaltstationen für die Energieverteilung speisen. Die Energieverteilung geht bis zu den Niederspannungsanlagen für die Gebäudeversorgung. Ein großes Aufgabengebiet ist die Magnet- und Senderstromversorgung. Die gesamte Wasserkühlung, Kaltwasser und Druckluftzeugung sowie die Beheizung und Belüftung der Gebäude, Experimente und Tunnel gehören ebenfalls zu den Aufgaben der Gruppe.

Einige wesentliche Aktivitäten der Gruppe werden im Folgenden dargestellt.

Stromversorgung

Von Ende 1999 bis Mitte 2000 traten mehrere Kabelkurzschlüsse mit längeren Stillstandszeiten für die Beschleuniger auf. Betroffen waren alte 10 kV-VPE Kabel mit PVC-Mänteln aus der Bauzeit von PETRA. Sie sind überwiegend erdverlegt. Um die Betriebssicherheit des Beschleunigerbetriebes zu gewährleisten, wurde mit dem Vorhaben zum Auswechseln dieser Kabel in der Wartungszeit begonnen.

Bei den Netzstörungen zeigte sich mehrfach, dass die gestörten Netzweige nicht selektiv abgeschaltet werden, sondern ganze 10 kV-Schaltanlagen abgeschaltet werden. Die mechanischen Schutzrelais in den 10 kV-Schaltfeldern wurden daher gegen elektronische Typen ersetzt, die eine bessere Zeitstaffelung gewährleisten.

Die unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) des Rechenzentrums versagte zweimal nach einem Netzfehler mit Spannungsausfall. Als Vorsorge wurde unter anderem eine neue USV mit einem Batterie-Managementsystem installiert, das die Verfügbarkeit und den Zustand der Batterien automatisch überwacht.

Die Schaltanlagen für die DORIS-Wasserkühlung wurden erneuert und dem veränderten Bedarf von DORIS als Synchrotronstrahlungsquelle angepasst.

Die elektrische Versorgung der Erweiterung des Anbaus der Halle III wurde installiert. Dafür wurde ein 2500 kVA-Transformator mit Schaltanlage beschafft. Die Schaltanlage für die Wasserkühlung, die Klystronmodulatoren und den zweiten Heliumverdichter wurden projektiert und bestellt.

Magnetstromversorgung

Die supraleitenden Magnete in den Wechselwirkungszonen von HERA Nord und Süd mussten mit einem Quenenschutzsystem ausgerüstet werden. Die Gleichstromschnellschalter und die Schalterelektronik wurden projektiert und bestellt.

In der Halle II wurden umfangreiche Magnetmessungen durchgeführt. Die Magnetbrücken wurden dort komplett aufgebaut und getestet, bevor sie in HERA eingebaut wurden.

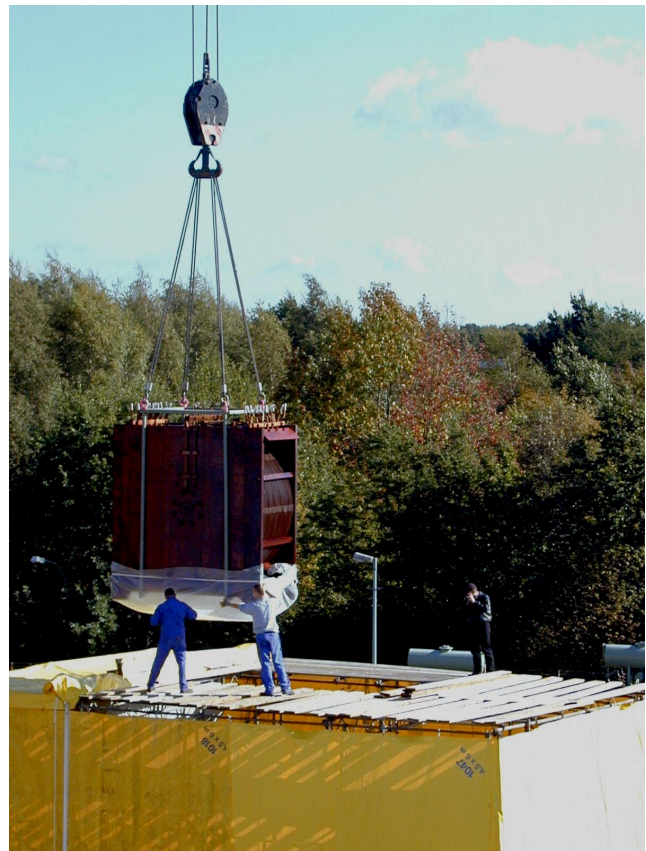


Abbildung 109: Einbau der neuen Wicklung für die Summendrossel.

Da Gasanalysen des Öls der DESY II-Summendrossel auf einen fortgeschrittenen Abbau der Papier-Isolation oder auf Brandstellen in der Wicklung hindeuteten, wurde die Wicklung der Summendrossel gegen die Reservewicklung während etwa vier Wochen zu Anfang der DESY-Wartungszeit im Oktober ausgetauscht (Abb. 109). Nach verschiedenen anfänglichen Schwierigkeiten zeigte die Reservewicklung die gleichen elektrischen und magnetischen Eigenschaften wie die Originalwicklung. Eine Papieranalyse der Originalwicklung bestätigte den starken Abbau der Isolation.

Senderstromversorgung

Der Hochspannungsraum und die Kondensatorräume von DESY II wurden überholt und instand gesetzt.

Die Mittelspannungsschaltanlagen der Container PETRA West und Ost wurden im Shutdown erneuert.

ert. Die neuen Vakuumleistungsschalter erlauben ein selektives Abschalten jeder einzelnen Senderstromversorgung.

Das HERA-Feedback erhielt in der Wartungszeit eine neue Senderstromversorgung mit Sternpunktsteller, die im Container PETRA West installiert wurde. Das Klystron-Crowbar wurde von einer Funkenstrecke auf ein schnelles Ignitron-Crowbar umgestellt.

Ladegerät für Klystronmodulatoren

Die Regelungen der Ladenetzgeräte von den Modulatoren 1 und 3 wurden umgebaut, um die Netzurückwirkungen durch den Pulsbetrieb zu reduzieren. Ein Konstantladenetzgerät für 300 kW, bestehend aus vier 75 kW-Modulen, wurde geliefert. An dem 75 kW-Prototypmodul wurden umfangreiche Tests durchgeführt. Es treten keine Netzurückwirkungen durch den Pulsbetrieb mehr auf. Das Konstantladenetzgerät soll den Modulator 4 versorgen.

Für vier weitere TESLA-Modulatoren wurden Ladenetzgeräte ausgeschrieben. Aus Kostengründen wurden konventionelle Schaltnetzteile bestellt. Die Netzurückwirkungen lassen sich durch eine zusätzliche Leistungsregelung eliminieren. Dafür wurde ein digitaler Regler mit einem programmierbaren Prozessor der Firma Altera entworfen und getestet. Die Regelung enthält ein Lern- und Optimierungsprogramm, um zum einen eine konstante Wirkleistung aus dem Netz aufzunehmen und zum anderen Netzspannungsschwankungen während des Ladevorganges auszuregeln.

Der Prototyp des Puls Kabels für den TESLA-Modulator wurde ausgeliefert. Das Puls Kabel soll im FZ Karlsruhe getestet werden.

Das bei der Gruppe MKK entwickelte Kondensator-Ladegerät mit konstanter Leistungsaufnahme wurde zum Patent angemeldet.

Überwachung und Kontrollen

Für den neuen Photoinjektor in Zeuthen, PITZ, wurde ein Konzept für die Automation der Wasserkühlanlage entwickelt.

Die neuen 10 kV-Schaltanlagen in dem Container PETRA West und Ost wurden mit digitalen Schutzgeräten ausgerüstet und über digitale Schutzgeräte in das MKK-Kontroll- und Alarmsystem aufgenommen.

Die DORIS-Kühlanlage und die PETRA Nord Kühlalarmanlage wurden mit neuer Mess- und Regeltechnik, die auf SPS-Steuerungen basiert, ausgerüstet und mit in das MKK-Kontrollsystem aufgenommen.

Die Transientenrekorder zur Netzspannungsüberwachung der 10 kV-Netze wurden mit schnellen ADC-Karten ausgerüstet. Die Abtastrate wurde um den Faktor 100 auf 100 kHz pro Kanal erhöht.

Das Projekt zur Ausrüstung der Senderstromversorgungen mit Transientenrekordern, die mit dem MKK-Kontrollsystem vernetzt sind, wurde begonnen.

Zahlreiche Klimaanlage wurden neu installiert bzw. umgebaut und größtenteils über den Profibus mit dem MKK-Kontrollsystem vernetzt.

Ein Teil der Heizungsanlage wurde ebenfalls in das MKK-Kontrollsystem integriert.

Wasserkühlung, Kaltwasser und Druckluft

Aus dem DESY-Tunnel wurden nicht mehr benötigte Schläuche und Leitungen entfernt. Die DESY II-Senderanlage wurde mit neuer Durchfluss- und Temperaturüberwachung ausgerüstet. Bei HERA war die Hauptaufgabe, die Wasserkühlung der neuen Magnete und der Spin-Rotatoren vorzubereiten. Um die zusätzlich zugeführte Energie ohne Temperaturanstieg abführen zu können, wurden zwei neue Kühltürme installiert. Für TTF wurde ein neues Pumpenhaus gebaut und bestückt.

Ein grundlegendes Konzept für die Wasserkühlung von TESLA wurde ausgearbeitet. Zur Vereinfachung der Anlage und wegen der besseren Umweltverträglichkeit wurde eine hybride Rückkühlung mit Benetzung der Luftkühler vorgeschlagen. Für die Klystronkühlung von PITZ in Zeuthen wurden die wassertechnischen Rahmenwerte festgelegt. Bei der Kanone wurde das Kühlkonzept ausgearbeitet und mit dem selbst entwickelten Rechenprogramm DySyS grundlegend dimensioniert.

Klima-, Lüftungs- und Heizungsanlagen

Die HEW übernahm ab dem 1. Januar 2000 die Betriebsführung der Wärmeversorgung von DESY. Die Betriebserfahrungen mit der Fernwärmebeheizung sind gut. Gleichzeitig wurden die Heizungsübergabestation, das Hochdrucknetz und ein Teil der Heizungsunterstationen in das MKK-Kontrollsystem aufgenommen.

Das Verwaltungsgebäude, der Hörsaal und das Gebäude PETRA Süd Rechts wurden an das zentrale Kaltwassernetz angeschlossen. Es wurden neue Klimaanlage für das Expo-Gebäude und den TTF-Tunnel in Betrieb genommen. In der DORIS-Versorgungshalle wurde die Klimaanlage überholt.

Für den Technischen Design Report des TESLA-Projektes wurden die Lüftungsanlagen für den Tunnel und die Versorgungsgebäude projektiert und die Kosten abgeschätzt

Kollaboration

Am Institut für Hochspannungstechnik an der TU Darmstadt wurde ein Prototyp eines mehrfach koaxialen Rohrleiters aufgebaut. Es wurden erste thermische Messungen durchgeführt. Die Patentanmeldung dieses Rohrgasleiters wurde vorbereitet.

Beschleunigerplanung – MPL –

Die Gruppe MPL ist zuständig für die Planung und Aufstellung von Beschleunigerstrukturen in Tunneln und Experimentierhallen und für die Koordination von Beschleunigeraufstellungen. Zur Zeit ist die Hauptaufgabe der Gruppe die Entwicklung von Komponenten für die supraleitenden Beschleuniger und Materialuntersuchungen vor allem an Niob und Niob-Legierungen.

Beschleunigeraufstellungen

Für die geplante HERA-Luminositätssteigerung wurden etwa 18 verschiedene Magnet-Aufstellungstypen konstruiert und mit kompletten Fertigungsunterlagen herausgegeben. Etwa 14 Unterbauten, darunter zwei verfahrbare Aufstellungen für die CZ- und BW-Magnete,

wurden im Jahr 2000 erstellt. Diese Unterbauten werden an etwa 145 Orten im HERA-Tunnel installiert. Für jeden Aufstellungsort wurden die Strahlagen sowie die Sockellängen in Bezug zur Tunnelgeometrie errechnet und in stets aktualisierten Listen festgeschrieben.

Für die Montage der Magnetträger (Brücken) im Bereich der Experimente H1 und ZEUS wurden die Bodenplatten mit den Aufstellungen der Antriebseinheiten konstruiert. Für die 3-Punktlagerung der linken Brücken wurden die vorhandenen A-Stützen mit einer Quertraverse und Lagereinheit aufgerüstet. Des Weiteren wurden für HERA ein Kollimatorgestell, ein Sextupolgestell mit Lenkerjustierung und für das Experiment ZEUS eine BY-Magnetaufstellung konstruiert.

Für DORIS III wurden zwei Korrekturspulen-Halterungen sowie Pump- und Kammerunterstützungen entworfen. DORIS II bekam eine neue Sextupolaufstellung mit Lenkerjustage, und zur Senkung vorhandener Schwingungen wurden 28 Dipol-Magnete mit neuen Unterstützungen versehen.

Der TTF-Kryostat für die DESY EXPO 2000 wurde mit Sockeln ausgerüstet.

Entwicklung von nahtlosen Resonatoren

Die HF-Eigenschaften der bei DESY durch Innen-Hochdruck-Umformung (IHU) gefertigten beiden einzelligen TESLA-Resonatoren 1K2 und 1K3 wurden getestet. Die Behandlungen und Prüfungen sind in Kollaboration mit dem Jefferson Lab (USA) und KEK (Japan) durchgeführt worden. Der Resonator 1K2 zeigte nach dem Abbeizen von etwa $250\ \mu\text{m}$ eine elektrische Feldstärke von etwa $33\ \text{MV/m}$, und nach dem zusätzlichen Abtrag von $100\ \mu\text{m}$ durch Elektropolieren erreichte er eine Feldstärke von $43\ \text{MV/m}$ bei hoher Güte (Abb. 110). Dieses Ergebnis gehört zu den besten Resultaten, die überhaupt in der Geschichte von supraleitenden Resonatoren erreicht worden sind.

Eine weitere, von der Firma Butting mit ähnlicher Technik gefertigte Monozelle mit $\text{RRR}=200$ erreichte im HF-Test etwa $32\ \text{MV/m}$ nach dem Abbeizen von $150\ \mu\text{m}$ durch „Buffered Chemical Polishing“ und $39\ \text{MV/m}$ nach zusätzlicher Elektropolitur mit $100\ \mu\text{m}$ Abtrag. Auch dieses Ergebnis ist bemerkenswert, weil der Resonator keine Wärmebehandlung bei 1400°C mit

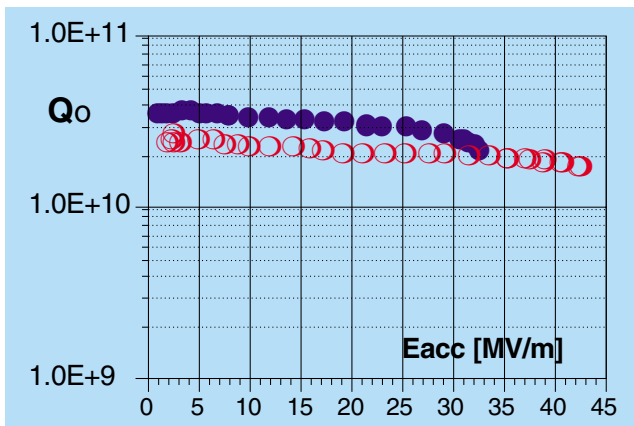


Abbildung 110: Güte gegen Beschleunigungsfeldstärke des nahtlosen Resonators 1K2: Nach dem Abbeizen von $250\ \mu\text{m}$ (●), nach zusätzlichem Abtragen von $100\ \mu\text{m}$ durch Elektropolitur (○).

Ti bekommen hat. Vier einzellige, mit Niob innen ausgekleidete Cu-Resonatoren der TESLA-Form sind aus sprengplattierten Rohren erfolgreich durch IHU gefertigt worden. Die Schichtdicke von Niob liegt zwischen etwa $0.3\ \text{mm}$ im Äquatorbereich und $0.7\ \text{mm}$ in der Iris. Die meisten Resonatoren sind ohne Zwischenmatrizen und Zwischenglühungen gebaut worden. Nach dem Kalibrieren bei $1000\ \text{bar}$ liegen die Schwankungen der Resonanzfrequenz von Resonator zu Resonator unter $2\ \text{MHz}$. Die HF-Tests sind für die erste Hälfte 2001 geplant.

Für die Fertigung von einem mehrzelligen Resonator ist die Entwicklung der Einschnürung im Irisbereich erforderlich. Diese Entwicklung wird zusammen mit der Firma HTI gemacht. Die ersten Ergebnisse an Cu-Rohren sind vielversprechend.

Auf der apparativen Seite wurde eine neue $1000\ \text{bar}$ Kalibriervorrichtung für TESLA-Resonatoren in Zusammenarbeit mit INR in Troitsk (Russland) gefertigt und an DESY geliefert. Die Vorrichtung ermöglicht eine Kalibrierung des mehrzelligen Resonators mit dem Ziel, seine Form zu präzisieren. Die Rechnersteuerung und die Simulationsrechnungen des Umformvorganges wurden weiter optimiert. Die entwickelte Berechnung der Einschnürung des Rohres vor dem IHU ermöglichte eine bessere Übereinstimmung zwischen dem Experiment und der Simulation.

Niobrohr-Entwicklung

Es sind bimetallische NbCu-Rohre hergestellt worden. Durch Sprengplattieren wird ein dickwandiges Cu-Rohr mit Nb 300 innen gefertigt und dann auf etwa $4\ \text{mm}$ Gesamtdicke, davon etwa $1\ \text{mm}$ Nb und etwa $3\ \text{mm}$ Cu, durch Drückwalzen abgestreckt. Das Ziel der Entwicklung ist, den Rohrpreis zu senken und die IHU-Tauglichkeit durch dominierenden Einfluss des gut umformbaren Kupfers zu verbessern. Die erzielte hohe Qualität von NbCu-Rohren (glatte innere Oberfläche und gute Wanddicketoleranzen $<0.1\ \text{mm}$) hat wesentlich zur erfolgreichen Fertigung von NbCu-Resonatoren beigetragen. Weitere Prüfungen von nahtlosen Rohren aus dem massiven Niob haben gezeigt, dass die Fertigung aus dicken Blechen (Drücken, Tiefziehen, Drückwalzen) eine bessere IHU-Tauglichkeit bereitstellt als die Fertigung aus Pillen (Fließpressen). Der erste Fertigungsweg soll weiter verfolgt werden.

Tuner für die TTF-Superstruktur

Eine weitere Aktivität der Gruppe MPL war die Entwicklung und Konstruktion einer neuen Feinabstimmung für die TTF-Superstruktur, die in den Helium-Tank integriert wird und somit keine Beschleunigerlänge verbraucht. Der Prototyp ging im Herbst in die erste Testphase, das Konzept wurde bestätigt. Antriebs-elemente sowie Werkstoffpaarungen und Oberflächenbeschichtungen wurden getestet. Parallel dazu lief die Überarbeitung des Entwurfs.

Cavity-Versteifung

Es wurde eine für flüssiges Helium durchlässige, eine Resonatorzelle umspannende und demontierbare Titan-Schale konstruiert und gebaut. Mit dieser Schale können TESLA-Resonatoren mit einer Äquatorwandstärke von nur etwa $1.5\ \text{mm}$ für $40\ \text{MV/m}$ bei einer Verstimmung von $200\ \text{Hz}$ tauglich gemacht werden. Die ersten Tests sind für Anfang des Jahres 2001 geplant.

Entwicklung von supraleitenden Bälgen

Verschiedene Werkstoffe wurden bezüglich ihrer Eignung als Material für supraleitende Bälge analysiert.

Die Legierung Niob mit 1% Zirkon erscheint wegen guter Umformbarkeit und feinem Korngefüge sogar nach dem Glühen bei 1400°C optimal und wird erprobt. Die nahtlosen Rohre werden durch Fließpressen und Drückwalzen gefertigt. Die Lieferung und Tests sind für die erste Hälfte 2001 geplant.

Werkstoffuntersuchungen

Es ist ein Labor für Metalluntersuchungen aufgebaut und funktionsfähig gemacht worden. Folgende Untersuchungen werden durchgeführt:

- Anfertigung von Mikroschliffen und deren Auswertung sowie Bestimmung von Korngröße, Anomalien des Gefüges, Ausscheidungen usw.,
- Licht- und elektronenmikroskopische Untersuchungen an Niobproben,
- Messungen des Restwiderstandsverhältnisses an Niob und Niob-Legierungen,
- Zug- und Tiefungsversuche an verschiedenen Werkstoffen bei verschiedenen Temperaturen und Dehnraten,

- Härteprüfungen und Untersuchungen der Oberflächenrauheit,
- Chemische und elektrochemische Behandlungen von Niob-Proben und kleinen Niob-Teilen.

Diese Arbeiten ermöglichten eine von den Niob-Produzenten unabhängige Qualitätskontrolle von Niob und sind signifikant für die Entscheidungen über Niob-Anschaffungen.

Die Fertigung samt Glühbehandlung der für das TTF-Projekt erforderlichen Niob-Halbzeuge wurde betreut und deren Erprobung bei DESY durchgeführt. Mit Partnern von anderen Instituten und der Industrie sind die Möglichkeiten für Defektsuche in Niob-Halbzeugen wie Blechen und Rohren fortgeführt und weiter ausgebaut worden, zum Beispiel auf SQUID-Basis mit der Firma FIT und der Universität Gießen. Die Untersuchungen an reinem Niob und NbCu-Plattierungen ermöglichten die erfolgreiche Fertigung von nahtlosen Resonatoren bei DESY.

Eine Reihe von Aufgaben ist in Zusammenarbeit mit den DESY Gruppen MHF, ZMS, MVA, MKS, MVP durchgeführt worden, zum Beispiel Untersuchungen an nach verschiedenen Verfahren hergestellten Schweißproben.

Strahlenschutz

Die Strahlenschutzgruppe ist für die Umsetzung von Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) und Röntgenverordnung (RöV) verantwortlich. Es ist ihre Aufgabe, diese Vorschriften durch verschiedene Maßnahmen zum Erhalt der Sicherheit und Gesundheit der DESY-Mitarbeiter durchzusetzen. Dazu gehören unter anderem Abschirmung der Beschleuniger, Interlocksysteme, Kontrolle radioaktiver Stoffe und Belehrung der Mitarbeiter. Weiterhin werden Personen- und Ortsdosen gemessen, um die Wirksamkeit dieser Maßnahmen zu überwachen. Die so gewonnenen Messwerte dürfen die in den genannten Verordnungen festgelegten Grenzwerte nicht überschreiten. Die Strahlenschutzgruppe muss dies ebenso überwachen wie auch darauf hinwirken, dass jeder Mitarbeiter seine eigene Verantwortung beim Umgang mit ionisierender Strahlung wahrnimmt.

Ortsdosimetrie

Den Vorschriften der Strahlenschutzverordnung entsprechend gibt es auf dem DESY-Gelände Kontroll- und Überwachungsbereiche. In allen diesen Bereichen werden Ortsdosen gemessen, die von Photonen oder Neutronen herrühren können. Dazu werden zwei Messsysteme mit verschiedenen Eigenschaften verwendet.

Das eine System besteht aus einfachen Festkörperdosimetern, die an vielen Messpunkten über das DESY-Gelände verteilt angebracht sind und die Dosis in einem Zeitraum von einem Monat aufsummieren. Die Dosimeter werden im Labor der Strahlenschutzgruppe ausgewertet und archiviert. Dieses System ist gut zur Überwachung des Betriebsgeländes geeignet, Resultate erhält man aber erst nach Ablauf der Messperiode. Um eine sofortige Eingriffsmöglichkeit im Falle zu hoher Dosisleistungen zu haben, existiert ein zweites System, bestehend aus aktiven Detektoren für Photonen und

Neutronen, das in der Lage ist, bei Überschreitung eines bestimmten Alarmschwellenwertes der Dosisleistung in den Beschleunigerbetrieb aktiv einzugreifen. Diese Detektoren sind vorwiegend an Stellen positioniert, an denen eine höhere Dosisleistung möglich erscheint.

Das Gelände wird derzeit an 227 Stellen mit integrierenden Festkörperdosimetern und an 88 Positionen mit aktiven Geräten überwacht. Alle Messwerte werden für das jeweils zurückliegende Jahr in einem Internen Bericht veröffentlicht. Gegenüber den Werten von 1999 haben sich die gemessenen Ortsdosen im Berichtszeitraum nur unwesentlich verändert. Da sie weiterhin sehr niedrig sind, mussten nur an sehr wenigen Stellen neue Kontrollbereiche eingerichtet werden.

Personendosimetrie

Die Messung der Personendosen für Photonen erfolgt mit Festkörperdosimetern, wohingegen Personendosen, die von Neutronen herrühren, mit Kernspur-Filmen registriert werden, die bis Ende 2000 vom CERN bereitgestellt und ausgewertet wurden. Ab 2001 wird die Bereitstellung und Auslese der Kernspur-Filme für Neutronen von der GSF (Neuherberg) übernommen. Festkörperdosimeter wie auch Kernspur-Filme werden bei DESY im Zwei-Monats-Rhythmus getauscht.

Derzeit werden regelmäßig 960 Personen überwacht. Dazu kommen noch zahlreiche Gäste, die nur kurzzeitig bei DESY arbeiten. Insgesamt werden in zwei Monaten jeweils etwa 1000 Dosimeter für Photonen und 100 für Neutronen verteilt und deren Auswertergebnisse in einer Datenbank archiviert. Im Zeitraum November 1999 bis Oktober 2000 betrug die höchste Personendosis 0.6 mSv pro zwei Monate. Insgesamt wurden auf 37 von etwa 6000 Dosimetern Dosen registriert, die über der amtlichen Schwelle von 0.2 mSv lagen. Die maximal zugelassene Dosis für beruflich strahlenexponierte

Personen beträgt 50 mSv pro Arbeitsjahr. Damit liegen auch die Personendosen bei DESY weit unterhalb der zugelassenen Grenzen.

Allgemeine Projekte

Angeregt durch die für DESY zuständige Behörde, das Amt für Arbeitsschutz, wird es in naher Zukunft eine personelle Neuorganisation des Strahlenschutzes bei DESY geben. Kern dieser Neuerung wird hierbei die Ablösung der, rechtlich nicht definierten, Aufsichtsführenden für den Strahlenschutz durch Strahlenschutzbeauftragte sein. Die Grundideen dieser Neuorganisation wurden formuliert und vom Direktorium genehmigt. Ein spezieller Strahlenschutzfachkundekurs, der Voraussetzung ist für die Bestellung zum Strahlenschutzbeauftragten, wurde vorbereitet und wird Anfang 2001 am DESY stattfinden.

Nachdem die Menge des aktivierten Materials, das gelagert werden muss, weiter zugenommen hat, wurde mit der Planung für eine neue Halle für die Lagerung begonnen. Auch dieses Projekt wurde vom Direktorium genehmigt, und es wurde ein geeigneter Platz in der Nähe der Kühltürme für die neu zu errichtende Halle gefunden.

Die veraltete Form der Auslese der Strahlenüberwachungsanlage durch den Nord-Rechner wurde mit Hilfe der DESY-Gruppe MST auf ein modernes PC-System umgestellt. Gleichzeitig wurde die Archivierung (Linux-Server) und Visualisierung (Windows NT) der gewonnenen Daten grundlegend modernisiert und verbessert.

Während der EXPO-Ausstellung wurde mit Hilfe von Strahlenüberwachungsmonitoren und Ortsdosismessungen im EXPO-Bereich der gleichzeitige Betrieb von PETRA überwacht. Hierbei wurden, wie wegen der ausreichend vorhandenen Abschirmung erwartet, keinerlei erhöhte Strahlungspegel gemessen. Am Aktionstag „Strahlung und Wellen“ beteiligte sich auch die Strahlenschutzgruppe und stand mit Rat und Tat für die zahlreichen Besucher zur Verfügung.

Durchgeführt und veröffentlicht wurden weiterhin Studien zum Tritium-Nachweis in Wasser, Berechnungen der an dicken Targets erzeugten Hadron-Raten an

Elektronenbeschleunigern und die entsprechenden Dosen hinter Betonabschirmung, sowie Berechnungen von Dosen durch e- γ -Streustrahlung im Winkelbereich 1° bis 10°.

Auf der internationalen Konferenz „Shielding Aspects of Accelerators, Targets and Irradiation Facilities (SATIF-5)“ konnten die aktuellen Ergebnisse einem breiten Fachpublikum vorgestellt werden.

Arbeiten für TESLA

Für den in DESY-Zeuthen geplanten Hochfrequenz-Photoinjektor, der als Testeinrichtung für TESLA dient, wurde der Sicherheitsbericht durch die Strahlenschutzgruppe erstellt und abgeschlossen. Hierzu wurden die Abschirmungen dimensioniert und die beim Betrieb der Anlage eventuell entstehende Radioaktivität in Luft und Boden berechnet. Die Errichtungsgenehmigung nach Strahlenschutzverordnung wurde daraufhin im April 2000 von der zuständigen Behörde erteilt. Im Herbst 2000 wurde dann der Antrag auf Betriebsgenehmigung nach Strahlenschutzverordnung gestellt.

Weiterhin ist die Strahlenschutzgruppe am Bau und der Installation einer neuen Strahlenüberwachungsanlage für das Photoinjektor-Projekt in DESY-Zeuthen beteiligt. Hierzu wurden modifizierte Messkammern (neue Vorverstärker und Hochspannungsmodule), ein völlig neues Auslesesystem (CAN-Bus) sowie Datenspeicherung (mysql auf Linux) und Visualisierung (Java auf Linux) von der DESY-Gruppe FE entwickelt. Das System konnte Ende 2000 fertiggestellt und getestet werden und wird Anfang Januar 2001 in Zeuthen installiert und in das gesamte Interlock-System eingebunden werden.

Für die Erweiterung der TESLA Test Facility (TTF) (Phase II) wurde ein Sicherheitsbericht erstellt, der der neu auftretenden Problematik des gleichzeitigen und völlig unabhängigen Betriebes zweier Maschinen, TTF und PETRA, Rechnung trägt. Die endgültige Version dieses TTF2 Sicherheitsberichts ist noch nicht fertiggestellt und wird mit den Maschinenphysikern weiterhin diskutiert. Es ist damit zu rechnen, dass dieser Sicherheitsbericht in der ersten Hälfte 2001 abgeschlossen werden kann.

Nachdem im Frühjahr 2000 klar geworden war, dass es aufgrund des Strahlungspegels Probleme mit aller Art

von elektronischen Komponenten im TESLA-Tunnel geben kann, wurde eine Arbeitsgruppe gegründet, die sich der Bestimmung (Berechnung und Messung bei TTF) der bei TESLA auftretenden Strahlungsfelder sowie der Messung der Alterung bzw. Lebensdauer von elektronischen Bauteilen und Komponenten widmete. Hierbei war auch die Strahlenschutzgruppe vertreten, und es konnten erste Ergebnisse zu den zu erwartenden Strahlungsfeldern im TESLA Tunnel veröffentlicht werden.

Für den TESLA Technical Design Report (TDR) wurden alle durchgeführten Studien in Bezug auf Strahlenschutz bei TESLA zusammengefasst und den Editoren übergeben. Hierbei wurden die noch fehlenden bzw. unvollständig untersuchten Teilaufgaben bearbeitet, so dass für den TESLA Technical Design Report ein kompletter Bericht entstehen konnte. Hierzu gehörten neue Studien der Luftaktivierung im Tunnel, die Frage der Belüftung des Tunnels und des Zugangs zum Tunnel bei einer Betriebspause ebenso, wie neue Berechnungen der Aktivierung von Erdreich und Grundwasser sowie Studien der Aktivierung und thermischen Belastung an und um den Beam Dump. Weiterhin gab es Untersuchungen zu einem möglichen Betrieb des

XFEL-Labors während der Zeit der Baumaßnahmen für die zweite TESLA-Experimentierhalle und Berechnungen zur Abschirmung des Tunnels für die Strahlführung zum XFEL-Labor und des Strahlabsorbers.

Kollaboration mit dem INP Krakau

Die Kollaboration mit dem Institute of Nuclear Physics in Krakau (Polen) wird fortgeführt. Die nächsten gemeinsamen Projekte betreffen Rechnungen, die für den Strahlenschutz von TESLA relevant sind.

Im Rahmen dieser Kollaboration konnte das erste Teilprojekt abgeschlossen werden. Hierbei wurden umfangreiche Simulationsrechnungen für den Bereich der Strahlabsorber durchgeführt. Es konnten wichtige Informationen bezüglich der thermischen Belastung der Abschirmung sowie der Aktivierung des Absorbers und der Abschirmungen mit Hilfe des Simulationsprogramms FLUKA gewonnen werden. Weitere Berechnungen von Strahlungsfeldern und Aktivierungen für den Absorber und andere Komponenten von TESLA werden folgen.

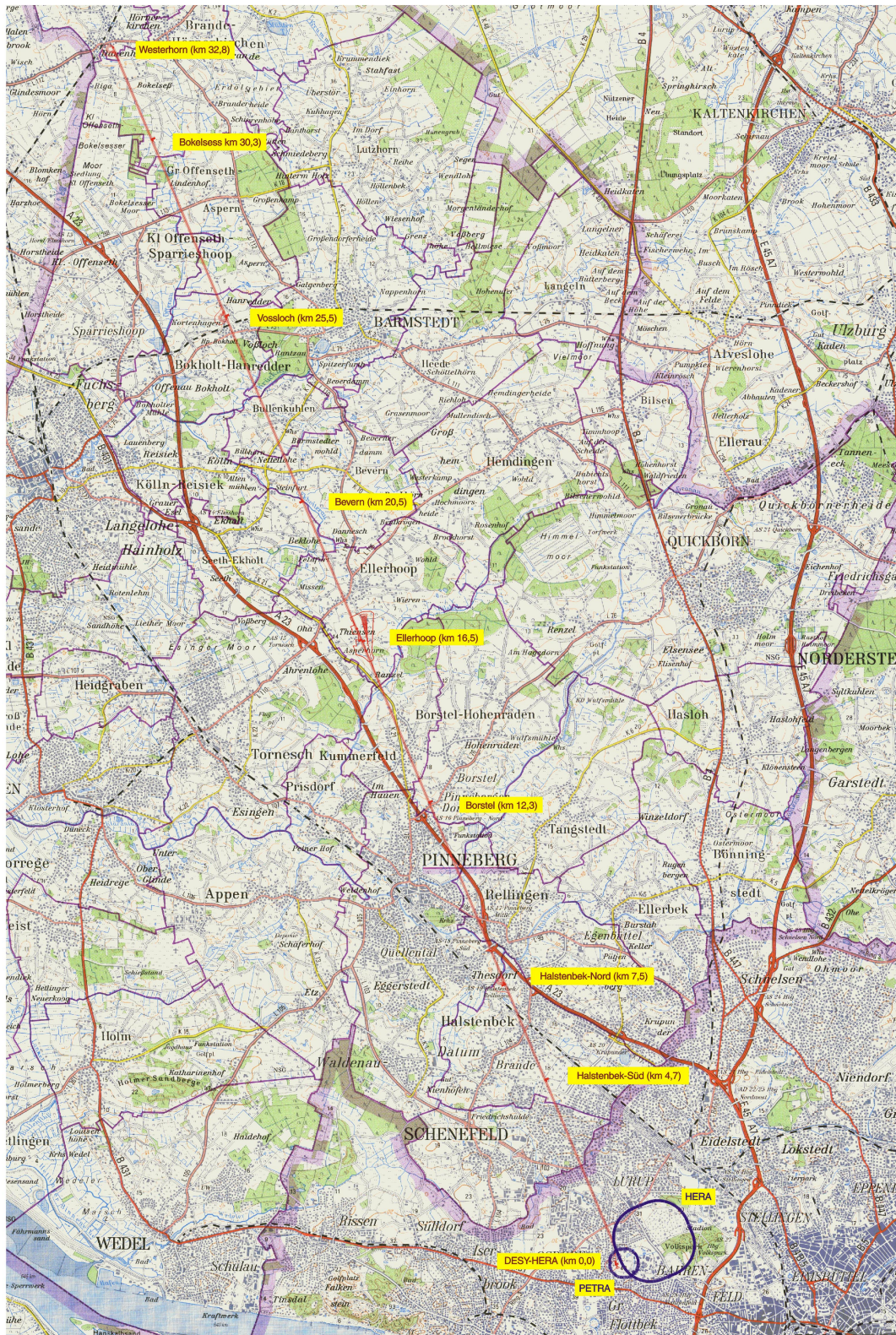


Abbildung 111: Lageplan des Linear-Collider Tunnels in Hamburg und im Kreis Pinneberg.

Voruntersuchungen zum TESLA Linear-Collider Projekt

In der internationalen Gemeinschaft der Hochenergie-Physik besteht eine breite Übereinstimmung, dass eine lineare Elektron-Positron Kollisions-Maschine im Energiebereich von etwa 500–1000 GeV als nächstes Großprojekt realisiert werden sollte. Weltweit werden seit etwa 10 Jahren intensiv die technischen Entwicklungen und Planungen für eine solche Anlage vorangetrieben, wobei von den verschiedenen Arbeitsgruppen unterschiedliche technische Konzepte verfolgt werden.

Die Besonderheit des Ansatzes von TESLA liegt in der Verwendung supraleitender Beschleunigerstrukturen. Die Vorteile gegenüber konventioneller Technologie liegen dabei in einer sehr hohen Effizienz der Strahlbeschleunigung (Verhältnis Strahlleistung zu primärer Anschlussleistung), einer exzellenten Strahlqualität sowie einer sehr vorteilhaften Zeitstruktur der Strahlpulse. Die Leistungsfähigkeit des TESLA-Colliders, gemessen an der Wechselwirkungsrate, die sogenannte Luminosität, ist höher als bei einem konventionellen Linearbeschleuniger. Die gleichen Argumente gelten bei der Anwendung eines supraleitenden Linearbeschleunigers als Treiber für eine Freie-Elektronen Röntgen-Laser (X-FEL) Anlage, mit der kohärente Strahlung extrem hoher Brillanz bis zu Wellenlängen im Angström Bereich für ein breites Spektrum wissenschaftlicher Forschung nutzbar gemacht werden kann. Bei der Planung von TESLA ist daher die Einbeziehung einer X-FEL Nutzer-Anlage als integraler Bestandteil des Projekts vorgesehen.

Im Berichtszeitraum konzentrierten sich die Arbeiten – im Rahmen einer breiten internationalen Kollaboration – auf die Fertigstellung eines Projektvorschlages (Technical Design Report, TDR), in dem das vollständige Design für die zukünftige Anlage sowie die Kosten und das benötigte Personal zusammengestellt sind. Gleichzeitig konnten an der TESLA Testanlage (TTF)

weitere Fortschritte beim Entwicklungsprogramm für die supraleitenden Beschleunigerstrukturen, beim Betrieb des Test-Linearbeschleunigers und bei der Inbetriebnahme der FEL-Testanlage erzielt werden (siehe Seite 241 und 245).

Fortschritt der Design-Arbeiten

Die Arbeiten am TDR konnten bis Ende 2000 weitgehend abgeschlossen werden, so dass das Ziel, den technischen TESLA-Projektvorschlag im Frühjahr 2001 dem Deutschen Wissenschaftsrat zur Begutachtung vorzulegen, eingehalten werden kann. Diese Begutachtung wird ein erster, wichtiger Schritt auf dem Wege zur Genehmigung von TESLA als internationalem Projekt sein.

Parallel zu den Arbeiten am technischen Design wurden die detaillierten Studien für die Möglichkeit, TESLA in der Nähe von DESY zu errichten, fortgesetzt. Die Untersuchungen bezogen die Auslegung der erforderlichen Bauten, wie Tunnel, Strahlverteilung und Experimentierhallen für die Teilchenphysik und X-FEL-Nutzer, sowie die Schätzung der damit verbundenen Kosten ein. Im Rahmen der Designarbeiten für TESLA wurden zahlreiche beschleunigerphysikalische Studien durchgeführt, auf die hier im Folgenden nur kurz und beispielhaft eingegangen werden kann.

Die theoretischen Untersuchungen für eine neuartige Elektronenquelle zur Erzeugung eines „flachen“ Strahls, wie er für den Collider benötigt wird, zeigten, dass es im Prinzip möglich sein sollte, auf einen der beiden Dämpfungsringe bei TESLA zu verzichten, was eine erhebliche Kostenersparnis und Vereinfachung der Komplexität der Anlage erbringen würde. Das bei DESY entwickelte neue strahloptische Konzept hierfür wurde im Berichtszeitraum erstmals erfolgreich in Zu-

sammenarbeit mit Mitarbeitern vom Fermilab (Batavia, USA) am dortigen A0-Testbeschleuniger experimentell bestätigt.

Die Strahldynamik in dem für den Collider- und FEL-Strahl gemeinsam benutzten Teil des TESLA Linearbeschleunigers wurde detailliert untersucht, und es konnte gezeigt werden, dass der gleichzeitige Betrieb mit sehr unterschiedlichen Strahlenergien über einen weiten Bereich problemlos möglich ist. Die Energiebandbreite des FEL-Strahlführungssystems wurde optimiert, was ein schnelles „Tuning“ der Laser-Wellenlänge in der Nutzer-Anlage erlaubt. Ferner konnte gezeigt werden, dass die Effekte durch strahlinduzierte Felder (höhere Moden) in den Beschleuniger-Strukturen weitgehend stationär sind und damit sehr effizient durch ein Feed-Forward System beseitigt werden können. Der Prototyp eines solchen Systems wurde erfolgreich an der TTF getestet.

Das Konzept zur Reduktion von Raumladungseffekten im Dämpfungsring wurde detailliert mit Computersimulationen untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass dieses potenzielle Problem im Rahmen des für TESLA vorgesehenen Bereichs von Strahlparametern keine Limitierung mehr darstellt.

Vorbereitung des Planfeststellungsverfahrens für TESLA

Der geplante TESLA-Tunnel beginnt auf dem DESY-Gelände in Hamburg-Bahrenfeld und verläuft in Richtung Nordnordwest durch den Kreis Pinneberg bis zur Gemeinde Westerhorn (Abb. 111). Er liegt also in der Freien und Hansestadt Hamburg und dem Land Schleswig-Holstein. Beide Bundesländer haben im Jahr 1998 einen Staatsvertrag für die Schaffung der planerischen Voraussetzung für die Errichtung und den Betrieb von TESLA abgeschlossen. In dem Vertrag wurde festgelegt, dass für das Projekt ein gemeinsames Planfeststellungsverfahren mit einer integrierten Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) durchzuführen ist. Die dafür benötigte Umweltverträglichkeitsstudie (UVS) ist bereits im letzten Jahr in Auftrag gegeben worden. In der Studie wird der Einfluss der TESLA-Bauwerke und des TESLA-Betriebs auf die Natur und den Menschen untersucht. Für die Beurteilung sind an den oberirdischen Standorten Indikatorpflanzen und -tiere kar-

tiert worden, das heißt, es sind ausgewählte, die Art repräsentierende Pflanzen und Tiere gezählt worden. Diese Gutachten sind im Berichtszeitraum fertig gestellt worden.

Im Rahmen der Umweltverträglichkeitsstudie wird auch das Schutzgut Wasser untersucht. DESY hat ein hydrogeologisches Fachgutachten in Auftrag gegeben. Die erste Stufe ist fertig gestellt. Bis auf eine Übergangsstrecke in Hamburg liegt die Tunnelachse einheitlich 8 m unter Normalnull. Der Baugrund im Bereich des Tunnels besteht im Wesentlichen aus quartären eiszeitlichen Ablagerungen. Überwiegend sind das wasserdurchlässige Sande und Kiese, die von wasserundurchlässigem Geschiebelehm oder -mergel abgedeckt werden. Im gesamten Bereich liegt der Tunnel im Grundwasser. Untersucht werden in dem Gutachten unter anderem der hydraulische Einfluss des Tunnels und der Hallen und der Einfluss der Wasserentnahmen auf die Grundwasserstände.

Der TESLA-Tunnel liegt mit einem Abstand von 14 m direkt unter der Rellinger Kirche. Das ist für einen im Lockergestein mit einer Bohrmaschine aufgefahrenen Tunnel ein sicherer Abstand. Trotzdem wurde das Unterfahren der Kirche von einem Gutachter untersucht. Das Gutachten kommt zu folgendem Ergebnis: „Um die Standsicherheit des Gebäudes während der Tunnelarbeiten zu gewährleisten, sind keine Maßnahmen im Vorfeld erforderlich. Die Gutachter empfehlen im Vorfeld jedoch geodätische Vermessungen in halbjährlichem Abstand und tägliche Begehungen während der Bauzeit.“ Im Jahr 2000 wurden die Ergebnisse Vertretern der Kirche vorgestellt. Im Jahr 2001 beginnt die Vermessung der Kirche.

Im Jahr 2000 ist auch die Grundlagenermittlung für das Röntgenlaserlabor in Ellerhoop von externen Bauingenieuren durchgeführt worden. Die beiden Elektronenstrahlen für den Betrieb der Röntgenlaser werden etwa 1.5 km vor dem Wechselwirkungspunkt aus dem Haupttunnel in einen eigenen Tunnel gelenkt. In einem Strahlverteilungssystem werden die Strahlen weiter aufgeteilt. In einer oberirdischen Halle mit einer Grundfläche von $200 \times 50 \text{ m}^2$ befinden sich die Messplätze für die Forschungen mit Röntgenlaserlicht. Das ganze Strahlverteilungssystem wird als Tunnelanlage geplant und liegt auf einer schiefen Ebene mit einer Neigung von etwa 10 mrad. Dadurch kann man das gegebene Gelände wesentlich besser ausnutzen.

TESLA Test Facility

Linac-Betrieb und Erweiterungen

Im Rahmen der Voruntersuchungen zum TESLA-Projekt wird bei DESY der Linearbeschleuniger der TESLA Test Facility betrieben. Gleichzeitig wird dieser TTF-Linac als Treiber für einen Freie-Elektronen Laser (FEL) genutzt (siehe Seite 245 ff).

Im Berichtszeitraum konnte der Beschleuniger in der Regel in einem 24-Stunden-Betrieb an durchschnittlich fünf Tagen pro Woche genutzt werden. Längere Betriebsperioden wurden im allgemeinen durch nur kurze Umbauphasen unterbrochen. Im Frühsommer wurden im Rahmen einer sechs Wochen dauernden Betriebsunterbrechung Erweiterungen vorgenommen, die im Folgenden gemeinsam mit den Betriebserfahrungen beschrieben werden.

Das Jahr 2000 begann mit der Optimierung des Linac-Betriebs mit dem Ziel, den Freie-Elektronen Laser in Betrieb zu nehmen. Hierzu waren Strahlpulse mit einigen wenigen Elektronenpaketen pro Puls, aber mit mindestens 1 nC Ladung bei gleichzeitig hoher Strahlqualität der beschleunigten Elektronenpakete notwendig. Raumladungs- und Strahltransport-Probleme mussten überwunden werden. Es galt, den Elektronenstrahl praktisch verlustfrei durch den Undulator des FEL zu führen und innerhalb des Undulators eine Abweichung der Strahlbahn von der magnetischen Achse von unter 100 μm einzustellen. Dies gelang Mitte Februar und erlaubte wenig später am 22. Februar erstmalig den Betrieb des Lasers. Die erreichte Photonen-Wellenlänge von 108 nm stellte einen Weltrekord dar: kein anderer FEL konnte vor diesem Zeitpunkt, basierend auf dem Prinzip der selbstverstärkten spontanen Emission (SASE), Licht im ultravioletten Bereich erzeugen (siehe Seite 245 ff).

Im Zusammenhang mit der weiteren Optimierung des FEL-Betriebs war eine Vielzahl von Messungen am Elektronenstrahl notwendig.

In sogenannten Quadrupol-Scans wurde die transversale Emittanz bestimmt, die, anschaulich beschrieben, als mathematisches Produkt von Strahlquerschnitt und -aufweitung ein Maß für die Elektronenstrahlqualität

ist. Quadrupol-Scans messen den Strahlquerschnitt mittels Leuchtschirmen oder Drähten, die durch den Strahl gefahren werden.

Ebenso wichtig wie die transversale Emittanz ist die Länge der Elektronenpakete, da sie den erreichbaren Spitzenstrom im FEL bestimmt. Nur hohe Spitzenströme erlauben einen FEL-Betrieb. Von der Elektronenquelle bis hin zum Undulator wird die Länge der Elektronenpakete verkürzt und erreicht schließlich eine Länge von deutlich unter einem halben Millimeter. Dies muss durch Messungen kontrolliert werden: das Strahlprofil längs des Elektronenpaketes wird rekonstruiert. Hierbei wurde eine unerwartete Unterteilung in einzelne, noch kürzere Pakete beobachtet, die im Weiteren ausführlich untersucht werden musste.

Neben dem FEL-Betrieb lag ein weiterer Schwerpunkt bei der Vorbereitung von verschiedenen Experimenten zum Verständnis des Betriebes supraleitender Beschleuniger. Lange Pulszüge (800 μs) mit voller Strahllast (8 mA Strom) müssen beschleunigt werden, wobei praktisch kein Strahlverlust während des Transports von der Elektronenquelle bis vor den Strahlfänger akzeptiert werden kann, weil dieser eine Zerstörung des Beschleunigervakuums und damit möglicherweise auch einiger Beschleunigerstrukturen zur Folge hätte. Es wurde ein System vorbereitet, das innerhalb von wenigen Mikrosekunden einen Strahlverlust erkennt und den Beschleuniger abschaltet.

Weitere Experimente konnten durch Umbauten im Frühsommer vorbereitet werden. Vakuumkammern für das sogenannte RAFEL Experiment (siehe Seite 246), zwei extrem schnell pulsare Magnete, sogenannte Kicker, und eine spezielle Kammer mit austauschbaren Strahlrohren unterschiedlicher Oberflächenrauigkeit wurden eingebaut. Hierfür wurden wie bisher alle neuen Vakuum-Komponenten im Reinraum mit ähnlichen Prozeduren wie die supraleitenden Cavities gereinigt, um Staub und andere Partikel zu entfernen.

Die Installation der Vakuumkammern in den Beschleuniger erfolgte mit kleinen mobilen Reinräumen. Beim Betrieb des TTF-Beschleunigers bereitete das Vakuumsystem keinerlei Probleme.

Im Bereich der Hochfrequenz-Elektronenquelle mussten wiederholt Modifikationen vorgenommen werden. Der Betrieb bei dem geforderten hohen Be-

schleunigungsfeld von 35 MV/m scheint insbesondere im Bereich der Kathode, also der eigentlichen Quelle, nicht unproblematisch. Der elektrische Kontakt zwischen Kathode und Hochfrequenzresonator muss genauer untersucht werden. Der Betrieb der Photokathoden selbst entsprach den Erwartungen. Die gelegentlich notwendige Präparation neuer Photokathoden wurde vom INFN Milano erfolgreich durchgeführt. Der für den Betrieb der Elektronenquelle erforderliche Laser (Max-Born-Institut, Berlin) erwies sich auch im zweiten Betriebsjahr als äußerst zuverlässig. Im Hinblick auf den zukünftigen FEL-Betrieb, aber auch für einige anstehende Experimente wurden Erweiterungen vorgenommen. Insbesondere kann künftig der Abstand der Elektronenpakete variiert werden.

Sowohl die unmittelbar hinter der Elektronenquelle als Einfangstruktur installierte einzelne TESLA-Beschleunigungsstruktur als auch die beiden schon im Vorjahr betriebenen Beschleunigermodule liefen problemlos. Als Standardbetrieb kann für den Berichtszeitraum ein Modulgradient von 15–20 MV/m bei einer Hochfrequenzpulslänge von etwa 1.3 ms inklusive Füllzeit genannt werden.

Die Gruppe MVA hat für den TTF-Linac einen speziellen Kollimator zur Kollimierung des Dunkelstroms konstruiert. Weiterhin wurde für einen schnellen Feedback-Kicker der Gruppe MIN ein Keramikrohr mit einer dünnen Schicht aus nichtrostendem Stahl durch Sputtern beschichtet. Zwei der mit diesen Rohren ausgerüsteten Feedback-Kicker wurden bei TTF sehr erfolgreich getestet (siehe Seite 224).

Strahldiagnose und Kontrollen

Im Berichtszeitraum wurde sowohl die Elektronenstrahldiagnose als auch die Diagnose des vom FEL erzeugten Photonenstrahls deutlich verbessert. Am TTF-Beschleuniger wurde die Auslese von bereits früher installierten Strahllagemonitoren verbessert und die Elektronik an veränderte Elektronenstrahl-Parameter angepasst, vor allem konnten aber die Strahllagemonitore im Bereich der Undulatoren in Betrieb genommen werden. Es wurde auf Anhieb eine Auflösung von 20 μm für das einzelne Elektronenpaket erreicht. Über eine Mittelwertbildung kann damit die für das „Beam-Based-Alignment“ geforderte Auflösung

von 10 μm problemlos erreicht werden. Hierbei wird die exakte Position des Monitors durch mehrfach versetzten Einschuss des Elektronenstrahls bestimmt, und die gewonnenen Korrekturen können danach für alle weiteren Messungen berücksichtigt werden.

An den Monitoren zur Bestimmung des Elektronenstrahlstroms wurde bis zum Ende des Berichtszeitraumes gearbeitet; die variable Wiederholfrequenz der Elektronenpakete (0.1–9 MHz) bereitet Schwierigkeiten. An den ersten drei Strahllagemonitoren von TTF wurden Auslese-Elektroniken von HERA-e installiert. Mit deren Hilfe konnte zusammen mit einem neuen Simulationsprogramm (TU Darmstadt) die Ausrichtung der Solenoid-Spulen und des Laser-Spots im Bereich der Elektronenquelle präzise vermessen und korrigiert werden.

Nach dem ersten Betrieb des FEL im Februar 2000 wurde während der Betriebsunterbrechung im Sommer der Bereich der Photonen-Diagnose deutlich modifiziert. Zum einen machte sich hier der schon oben erwähnte Einbau des RAFEL-Experiments stark bemerkbar, zum anderen wurden Experimentierkammern eingebaut, die im Hinblick auf den späteren Ausbau des FEL die Untersuchung von Spiegeln, aber auch ein erstes Physik-Experiment unter Verwendung des erzeugten Laserlichtes erlauben. Für das TTF-Kontrollsystem wurde der größte Teil der Magnete auf das TINE-Protokoll umgestellt. Dieses wurde in die DOOCS Libraries aufgenommen. Dadurch können jetzt wieder sämtliche TTF-Programme auf alle Magnete zugreifen. Weitere umfangreiche Arbeiten zur Weiterentwicklung des TTF-Kontrollsystems sind ausführlich im Bericht der Gruppe MVP geschildert (Seite 226).

Hochfrequenzversorgung und -regelung

Einen Meilenstein für das TESLA-Projekt stellt der erfolgreiche Test des ersten Prototyps des 10 MW Multi-beam Klystrons bei langer Pulsdauer dar. Es erreichte eine Ausgangsleistung von 10 MW bei einer Puls-länge von 1.5 ms. Die Effizienz lag bei 65%. Zum Vergleich: Mit dem bisher verwendeten konventionellen 5 MW Klystron lässt sich nur eine Effizienz von 45% erreichen. Für den TESLA Linear-Collider werden 600 der Multibeam-Klystrons benötigt. Seit Abschluß des erfolgreichen Tests wird das Multibeam-Klystron

für den TTF-Betrieb eingesetzt: Es versorgt die beiden installierten Beschleunigermodule im Routinebetrieb. In der Erweiterung der TTF Halle wurde begonnen, einen weiteren Hochspannungsmodulator, dessen Schaltungsprinzip weitgehend dem der bisher bei TTF eingesetzten Modulatoren entspricht, zu installieren. Die verschiedenen großen Untereinheiten des Modulators wurden nach DESY Vorgaben von Industriefirmen gefertigt und zum Teil von diesen auch weiterentwickelt. Hervorzuheben sind der neue Hochspannungshalbleiterschalter unter Verwendung von IGCTs, der neue Typ des Pulstransformators und das neu entwickelte Hochspannungsnetzgerät, das es ermöglicht, Rückwirkungen auf das Hauptnetz zu beseitigen, die sonst mit der Betriebsfolgefrequenz des Modulators von maximal 10 Hz auf dieses einwirken würden. Die Hochfrequenzregelung der TTF, die für die Regelung der Vektorsumme von 24 supraleitenden Resonatoren ausgelegt ist und zur Zeit die vorhandenen 16 Resonatoren ansteuert, wurde über mehrere Monate lang mit Strahl betrieben und hat sich dabei als sehr zuverlässig erwiesen.

Ein neues Konzept zur aktiven Kompensation der dynamischen Lorentzkraftverstimmung der supraleitenden Resonatoren wurde entwickelt und erfolgreich am horizontalen Teststand CHECHIA erprobt. Das Arbeitsprinzip beruht auf einem piezoelektrischen Translator. Einzelheiten hierzu finden sich in dem Bericht der Gruppe MHF-p (Seite 218).

Infrastruktur

Im Berichtszeitraum konnte die Kapazität der Anlage für die Präparation der TESLA Beschleunigungsstrukturen auf den maximal möglichen Durchsatz erweitert werden. Insgesamt wurden 14 neue Strukturen ausgeliefert, an denen 146 Chemiebehandlungen (82 Titan- und 64 Niobbeizungen) durchgeführt wurden. Durch den im Vorjahr erfolgten Umbau der Reinstwasserversorgung konnten die Hochdruckspülen und die chemischen Beizungen parallel gefahren werden. Für den Test im vertikalen Testkryostat wurden im Jahr 2000 insgesamt 62 Strukturen vorbereitet. Im horizontalen Testkryostaten CHECHIA wurden 12 vollständig bestückte Resonatoren bis zum Ende des Jahres getestet. Dies ist ein Systemtest, bei dem der Resonator horizontal in einen Testkryostaten eingebaut wird, der dem Be-

schleunigungskryostaten in der technischen Auslegung sehr ähnlich ist.

Im Berichtszeitraum wurde die Helium-Kälteversorgung der TESLA Test Facility inklusive des TTF-Linac mit seinen beiden Beschleunigermodulen gewährleistet. Der Betrieb des Linac war dabei das ganze Jahr durchgehend möglich. Die künftige Erweiterung des TTF/FEL Linac verlangt eine höhere kryogenische Anschlussleistung. Hierfür wurde die Helium-Kälteversorgung an die HERA Helium-Kälteanlage angeschlossen. Die bestehende TTF-Transferleitung wurde verlängert und an die FEL Vorkühler- und Verteilerbox herangeführt. Ein zweites Vakuumkompressorsystem für Helium, das zur Entkopplung der Kälteversorgung des TTF-Linac und des TTF-Kältelabors, aber auch zur Kapazitätserweiterung benötigt wird, wurde geliefert, aufgebaut und in Betrieb genommen. Der endgültige und vollständige Anschluss zur HERA-Kälteanlage wird in der nächsten Betriebsunterbrechung des TTF-Linac erfolgen.

Zur systematischen Untersuchung von verbesserten oder auch neuen Präparationsmethoden der Oberflächen supraleitender Resonatoren eignen sich besonders 1-zellige Resonatoren. Sie können mit kleinem apparativen Aufwand behandelt und gemessen werden. In der vorhandenen Infrastruktur für die 9-zelligen TTF-Resonatoren können solche Untersuchungen allerdings nicht durchgeführt werden, da die Produktion der Serienresonatoren nicht gestört werden sollte. Es wurde daher die vorhandene Anlage zur Präparation der 500 MHz HERA-Resonatoren so modifiziert, dass ein Messprogramm mit 1-zelligen 1.3 GHz Resonatoren durchgeführt werden kann.

Die Umbauarbeiten am Reinraum und an der Kälteanlage stehen kurz vor dem Abschluss, und mit der Inbetriebnahme kann im Frühjahr 2001 gerechnet werden.

Im Hinblick auf die Verbesserung der für TESLA eingesetzten supraleitenden Cavities wurde in der Gruppe MVA an der Entwicklung einer Elektropolitur-Einrichtung für 9-zellige Niob-Resonatoren gearbeitet. Die konstruktiven Arbeiten für eine Versuchseinrichtung sind abgeschlossen und die Fertigung des Aufbaus hat begonnen. Es ist geplant, in der ersten Jahreshälfte von 2001 einen Vorversuch in der Galvanik-Einrichtung der Lufthansa in Hamburg durchzuführen.

Weiterhin wurde im Verbund mit den Gruppen FDET und MKS ein Vorhaben zur Einrichtung einer ständigen Elektropolitur-Einrichtung bei DESY beantragt. Für systematische Untersuchungen der optimalen Schweißparameter beim Schweißen der TESLA Niob-Resonatoren wird gegenwärtig eine Elektronstrahl-Schweißanlage mit besonders anspruchsvollen Vakuumbedingungen beschafft. Es ist geplant, diese Anlage bis Ende April 2001 aufzubauen.

Superstruktur

Hierbei werden mehrere Resonatoren (7- oder 9-zellige Cavities) zu einer elektrischen Einheit verbunden und können gemeinsam mit nur einem Einkoppler betrieben werden. Die elektrischen Eigenschaften der 4×7 -zelligen und 2×9 -zelligen Superstrukturen wurden intensiv mit Simulationsprogrammen untersucht (siehe Seite 215). Für die Präparation der Superstruktur sind bei der Gruppe MKS Vorrichtungen und Adapter konstruiert und gefertigt worden. Die ersten beiden 7-zelligen Resonatoren sind an DESY ausgeliefert worden und stehen zum Test bereit. Für den Test wurde zu-

nächst eine supraleitende Ultrahochvakuum-Dichtung entwickelt. Weiterhin entstanden neue Rahmen, die die Superstruktur während der Behandlung aufnehmen.

Entwicklungsarbeiten

Die Hochfrequenz-Eigenschaften der bei DESY gefertigten zwei einzelligen nahtlosen TESLA-Resonatoren 1K2 und 1K3 wurden getestet. Die Behandlungen durch Elektropolitur dieser in hydraulischer Umformtechnik gefertigten Resonatoren sind in Zusammenarbeit mit dem Jefferson Laboratory (USA) und KEK (Japan) durchgeführt worden. Die maximale erreichte Feldstärke lag bei 43 MV/m bei hoher Güte. Dieses Ergebnis gehört zu den besten Resultaten, die überhaupt in der Geschichte von supraleitenden Resonatoren erreicht worden sind (siehe Seite 232). Eine weitere Aktivität war die Entwicklung und Konstruktion einer neuen Frequenz-Feinabstimmung für die TTF-Superstruktur, die in den Helium-Tank integriert wird und somit keine zusätzliche Beschleunigerlänge benötigt. Der Prototyp ging im Herbst in die erste Testphase, das Konzept wurde bestätigt.

Entwicklung eines Freie-Elektronen Lasers für sehr kurze Wellenlängen

Im Februar 2000 wurde mit dem Linearbeschleuniger der TESLA Test Facility das Prinzip der selbstverstärkten spontanen Emission („Self-Amplified Spontaneous Emission“ SASE) bei der Wellenlänge 109 nm in einem Freie-Elektronen Laser (FEL) nachgewiesen.

In den folgenden Monaten konnte mit Elektronenstrahl-Energien zwischen 180 MeV und 280 MeV das SASE-Prinzip im Wellenlängenbereich zwischen 80 nm und 180 nm demonstriert werden.

Nach einer zweimonatigen Betriebspause konnte innerhalb der ersten zehn Tage der Elektronenstrahl wieder zur Emission gebracht werden, was für die gute Reproduzierbarkeit der Elektronenstrahl-Qualität des supraleitenden Linearbeschleunigers spricht.

In dieser kurzen Betriebspause wurden die Spiegelkammer des RAFEL-Experimentes und das Wakefield-Experiment eingebaut. Das RAFEL-Experiment („Regenerative Amplifier FEL“) wurde konzipiert, um das FEL-Licht hinsichtlich seiner Monochromatizität, der Sättigung und der vollen dreidimensionalen Kohärenz zu optimieren.

Das sogenannte Wakefield-Experiment ist von fundamentaler Bedeutung für die Beschleunigerphysik und hat wesentliche Konsequenzen für die Planung des TESLA-FEL. In diesem Experiment wird der Einfluss der Oberflächenrauigkeit von verschiedenen Strahlrohren auf die Elektronenstrahl-Qualität untersucht.

Ferner konzentrierten sich die Arbeiten im Berichtszeitraum auf den Rohbau für Phase 2 sowie auf die detaillierte Planung zu einem Höchstleistungs-FEL im Sub-Nanometer-Bereich, der als integraler Bestandteil des TESLA-Projektes angebaut wird.

SASE-FEL im Ultravioletten

Das Prinzip des FEL ermöglicht es, mit sehr großer Effizienz Bewegungsenergie eines Elektronenstrahls in elektromagnetische Strahlung umzuwandeln. Durch das Prinzip der SASE und durch den Einsatz eines Linearbeschleunigers mit exzellenter Strahlqualität sollte sich ein FEL auch im Röntgenbereich betreiben lassen. Die Realisierung eines FELs im ultravioletten Bereich demonstrierte die technische Machbarkeit der erforderlichen Elektronenstrahl-Qualität sowie eines hochpräzisen Undulators. Die Messung von mehreren Photonenstrahl-Parametern durch die von HASYLAB hergestellte Photonen-Diagnostik zeigte die erwarteten Eigenschaften solcher Art Synchrotronstrahlungsquellen: hohe Brillanz (Abb. 112) und schmales Spektrum der Wellenlängen (Abb. 113) für eine Elektronenstrahlenergie von 233 MeV.

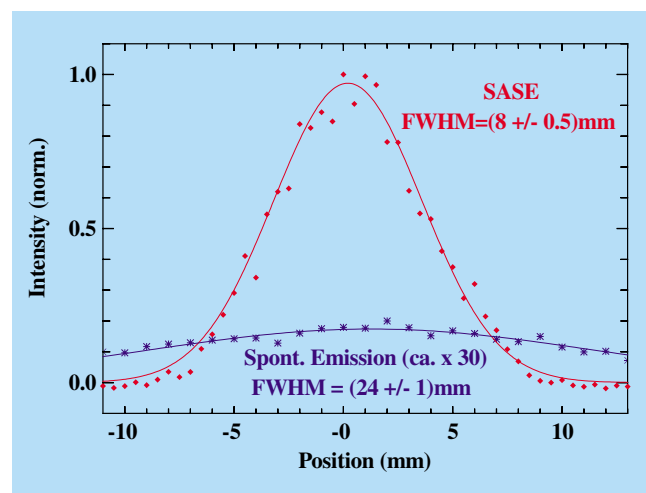


Abbildung 112: Profil des FEL-Photonenstrahls im Vergleich zum Profil der spontanen Undulator-Emission, gemessen mit einer PtSi Photodiode, deren horizontale Position variiert wurde.

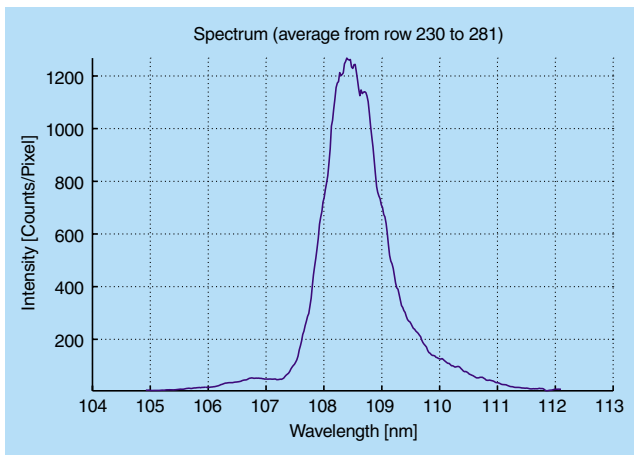


Abbildung 113: *Spektrum des SASE-FEL-Lichts.*

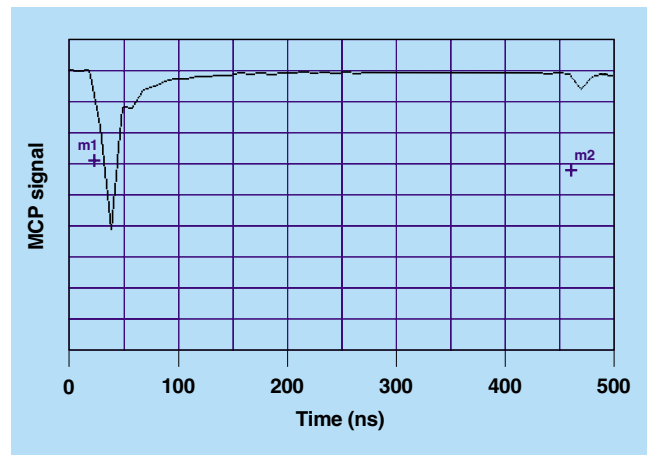


Abbildung 115: *Erster Nachweis der punktgenauen Reflexion von Licht auf dem Micro-Channel Plate (MCP)-Detektor.*

RAFEL-Experiment

Abbildung 114 zeigt eine schematische Darstellung des RAFEL-Prozesses. Im Wellenlängenbereich unter 100 nm liegt die Reflexion eines Spiegels bei nur einigen Prozent. Deshalb kann nur ein winziger Teil des Lichts als Eingabelicht (Seed) für den FEL-Prozess verwendet werden. Wenn ein neues Elektronenpaket den Undulator erreicht, verstärkt es das Licht um drei oder vier Größenordnungen. Dieses sollte die starken Verluste durch die geringen Reflexionen kompensieren und

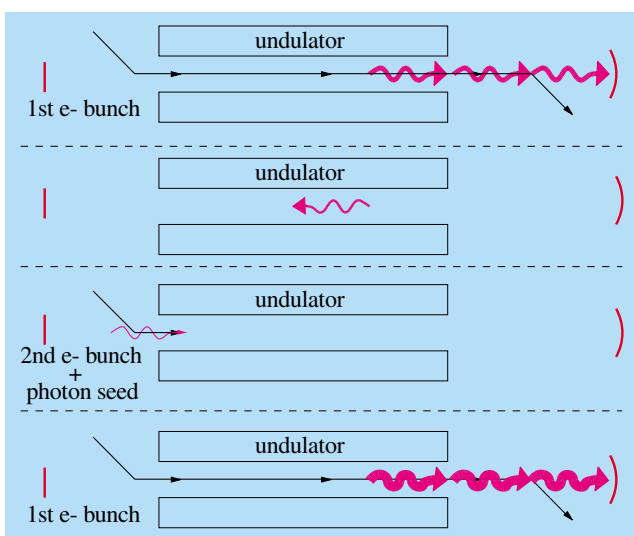


Abbildung 114: *Schematische Darstellung des RAFEL-Prozesses.*

eine Gesamtverstärkung von 10 oder mehr ergeben. Nach dem Durchlauf von mehreren Elektronenpaketen durch den Undulator sollte die Sättigung des FEL-Prozesses eintreten. Dafür ist die Synchronisierung des Lichtes mit dem nächsten Elektronenpaket durch die genaue Einstellung des Abstands zwischen den beiden Spiegeln erforderlich. Zusätzlich ist eine sehr präzise Ausrichtung der Spiegel parallel zueinander nötig, um das Licht auf der Achse des Undulators zu führen. Die Spiegelkammern wurden im Sommer 2000 installiert. Als erster Schritt wurde die parallele Ausrichtung der Spiegel erfolgreich durch die Reflexion von Licht auf dem MCP-Detektor (Abb. 115) nachgewiesen.

Undulator Strahlagementore

Die Undulatorstrecke besteht aus drei separaten Modulen mit jeweils einer speziellen Vakuumkammer, in welche 10 Strahlagementore sowie ebenso viele Korrekturmagnete integriert sind. Im Juli wurden die beiden ersten Module, deren Strahlagementore aus Antennen-Elektroden bestehen, mit der entsprechenden Monitorelektronik ausgerüstet. In das dritte Modul, in welchem Strahlagementore mit Mikrowellenleitern eingebaut sind, wurde die Monitorelektronik Anfang Dezember installiert. Beide Elektroniktypen messen die Lage einzelner Elektronenpakete mit

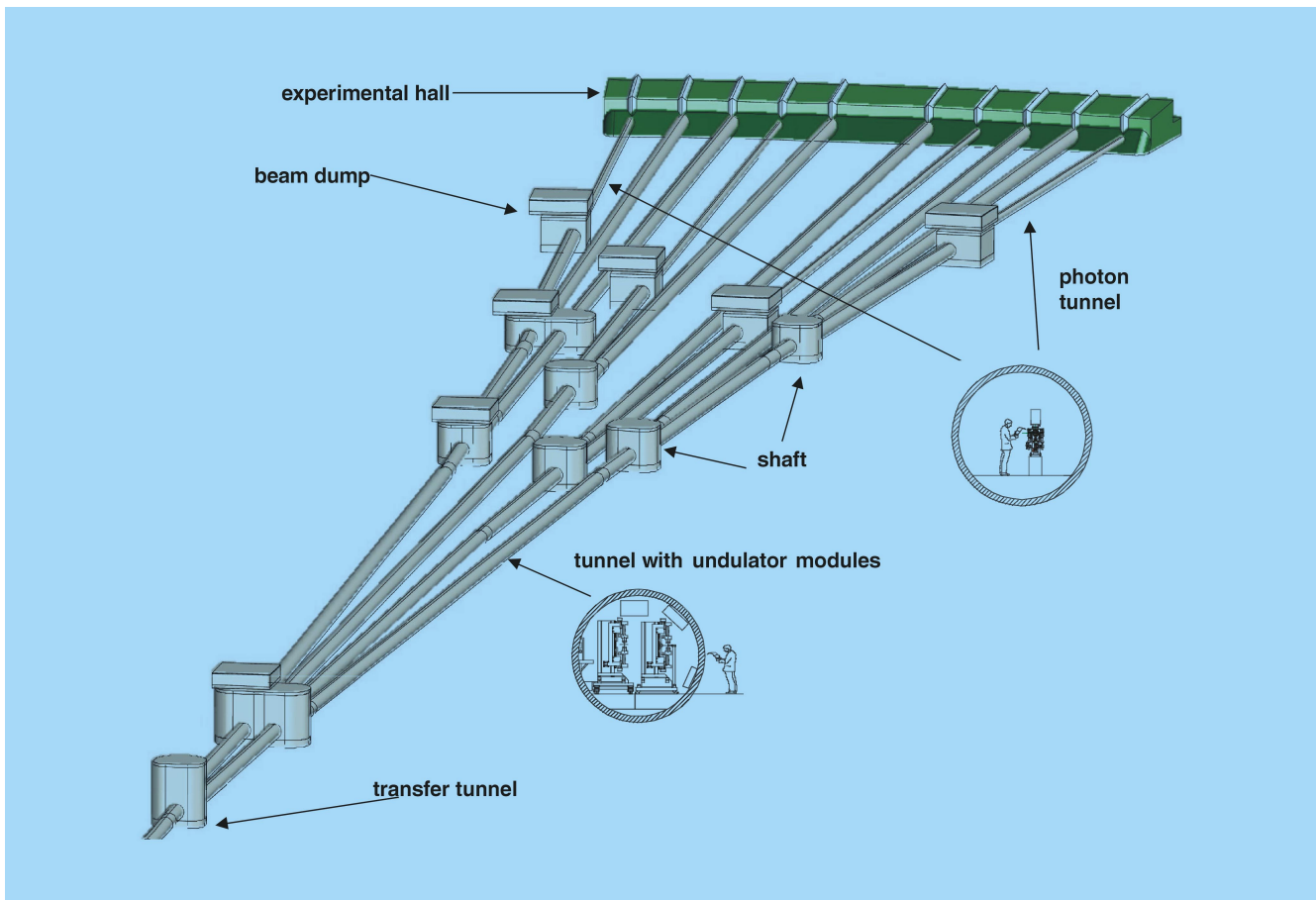


Abbildung 116: Schematische Darstellung der geplanten Strahlweiche zur Aufteilung der Elektronenpakete auf die verschiedenen XFEL-Nutzer.

einer Genauigkeit von etwa $10\ \mu\text{m}$. Mit Hilfe dieser Messungen wird die Strahlage so optimiert („Beam-Based Alignment“), dass die Wechselwirkung zwischen dem Elektronenstrahl und den FEL-Photonen einen Maximalwert annimmt. Außerdem wurde der Aufbau eines BTM („Beam Trajectory Monitor“) Prototyps fertig gestellt. Das Detektorsystem wurde bereits im Jahresbericht 1999 beschrieben. Der BTM wird die Vakuumkammer des Wakefield-Experiments ersetzen.

Wakefield-Experiment

Die Beeinflussung der Strahlqualität ultrakurzer Elektronenpakete durch induzierte Störfelder („Wake-

fields“), verursacht durch die Oberflächenrauigkeit der Vakuumkammer, kann den FEL-Prozess ernsthaft beeinträchtigen. Hier wurden zwei wichtige Fortschritte erzielt: Die Rauigkeit existierender Kammern wurde gemessen und in Zusammenarbeit mit der TU Darmstadt wurde ein Verfahren gefunden, die resultierenden Störfelder zu simulieren. Außerdem wurde ein Strahlrohr mit definierten, absichtlich vergrößerten Rauigkeiten präpariert, eingebaut und die Beeinflussung des Elektronenstrahls gemessen. Erste Ergebnisse zeigen deutliche Veränderungen an der Energieverteilung des Elektronenpakets. Eine erste Analyse zeigt, dass die beobachteten Effekte gut durch die Theorie beschrieben werden. Zukünftig sind direkte Messungen des Störfelds mit sehr empfindlichen Detektoren im Mikrowellenbereich geplant.

Teststand für Elektronenquellen

Die Elektronenquelle ist eine wesentliche Komponente für SASE FELs. Es ist absehbar, dass noch einige Jahre intensiver Forschung und Entwicklung notwendig sind, bevor diese sogenannten Photoinjektoren routinemäßig die Strahlparameter erreichen, die für FELs im Nanometerbereich erforderlich sind. Die notwendigen Tests können nicht am TTF-Beschleuniger durchgeführt werden, da sie dadurch das dortige Forschungsprogramm behindern. Deshalb wurde ein separater Teststand entworfen. Dieser wird bei DESY-Zeuthen aufgebaut im Rahmen einer Kollaboration mit dem Max-Born-Institut Berlin, BESSY Berlin, dem INFN Milano und der TU Darmstadt (Abb. 85, Seite 160).

TTF Phase 2

In der zweiten Ausbaustufe soll der TTF-Linac durch Installation von vier weiteren Linac-Abschnitten auf 1 GeV Strahlenergie erweitert werden. Zusätzlich soll der Undulator auf etwa 30 m verlängert werden. Diese Anlage wird FEL-Strahlung mit Wellenlängen bis zu 6 nm erzeugen und soll Nutzern zur Verfügung stehen.

Die gesamte Entwicklung erfolgt unter maßgeblicher Unterstützung von Wissenschaftlern aus 37 Instituten in elf Nationen. Ein Überblick über beide Phasen der

im Bau befindlichen Anlage wurde bereits im Jahresbericht 1999 gezeigt. Die erforderliche Tunnelverlängerung und die Experimentierhalle wurden fertiggestellt und als Ausstellungshalle im Rahmen der Weltausstellung EXPO 2000 genutzt. Hinsichtlich der Ausrüstung des Beschleunigertunnels konzentrierten sich die Arbeiten auf die Festlegung der Strahlführung.

Studien zu einem Röntgen-FEL

Die Studien zum Entwurf eines Höchstleistungs-FEL für Wellenlängen bis hinunter zu 0.1 nm (kurz: XFEL) wurden fortgesetzt. Die Arbeiten konzentrierten sich auf Fragen, die vor der Abfassung des Technischen Design Reports für TESLA (geplant für 2001) zu klären sind. Dazu gehörten:

- Die Geometrie der Strahlweiche zur Aufteilung der Elektronenpakete auf die verschiedenen Nutzer wurde so verbessert, dass die Kosten für Bauwerke und Strahlführung reduziert wurden und die Beeinträchtigung von Umwelt und Landschaft so gering wie möglich ist. Abbildung 116 zeigt schematisch die geplante Geometrie.
- Im Rahmen von Kollaborationen mit BESSY und mit dem INR/Moskau wurde die Elektronenoptik detailliert ausgelegt und untersucht.