

Bereich Beschleuniger (M)

Inhalt

Übersicht	187
Speicherringanlage HERA	189
Speicherring DORIS III	191
Die Vorbeschleuniger	193
Arbeiten der Gruppen des Bereichs Beschleuniger	197
Voruntersuchungen zum TESLA Linear-Collider Projekt	225
Entwicklung eines Freie-Elektronen Lasers für sehr kurze Wellenlängen	233
Strahlenschutz	239



Übersicht M-Bereich

HERA

Das Berichtsjahr 2001 war von den Umbauarbeiten für die Luminositätserhöhung von HERA geprägt. Nachdem im Vorjahr die alten Beschleunigerkomponenten bereits weitgehend ausgebaut worden waren, ging die Montage der neuen Beschleunigerkomponenten zügig voran, so dass der Strahlbetrieb mit der Injektion von Protonen in HERA am 27. Juli aufgenommen werden konnte. Bis Mitte August konnten Protonen routinemäßig injiziert und beschleunigt werden.

Nach anfänglichen Schwierigkeiten, den Positronenstrahl um die Maschine zu transportieren, standen dann Anfang September beide Ringe für ausführliche Strahl-optikttests zur Verfügung.

Ab Anfang Oktober wurden zum ersten Mal in 2001 beide Strahlen bei ihrer Maximalenergie zur Kollision gebracht, wobei eine spezifische Luminosität von $1.68 \times 10^{30} \text{ cm}^{-2} \text{ sec}^{-1} \text{ mA}^{-2}$ erreicht wurde.

Ein Problem bei der Inbetriebnahme der neuen Wechselwirkungszonen war der Synchrotronstrahlungsuntergrund der Experimente H1 und ZEUS. Er soll durch den Einbau von zwei vertikalen und einem horizontalen Kollimator, mit deren Auslegung und Fertigung bereits begonnen wurde, reduziert werden.

DORIS III

Bedingt durch größere Umbauarbeiten, bei denen unter anderem ein Großteil der Triplet-Vakuumkammern ausgetauscht und zwei Resonatoren ausgebaut wurden, und wegen einer Reihe von Zwangsbelüftungen entwickelte sich die Strahllebensdauer nur sehr langsam. Bei einem integrierten Strahlstrom von 100 Ah wurden erst annähernd 50% der Vorjahreswerte erreicht. Dies

erklärt die gegenüber dem letzten Jahr um 2% leicht reduzierte Betriebseffizienz von 92.3%.

Die gegen Ende des diesjährigen Betriebes erzielten Lebensdauern von 12 Stunden bei 130 mA, 15 Stunden bei 110 mA und 20 Stunden bei 90 mA sind ähnlich wie die in den Vorjahren erzielten Werte.

Vorbeschleuniger

Die Vorbeschleuniger für Elektronen und Positronen, LINAC II-PIA-DESY II, liefen auch 2001 sehr zuverlässig.

Die vom LINAC II an PIA gelieferte Teilchenzahl konnte auf 3.9×10^{10} Positronen gesteigert und damit verdoppelt werden.

Für den Betrieb des LINAC III stehen seit Herbst dieses Jahres zwei verschiedene H^- -Quellen zur Verfügung. Die neu in Betrieb genommene Cäsium-freie Hochfrequenzquelle konnte während einer mehrwöchigen Betriebsperiode für die Injektion in den LINAC III und weiter in DESY III genutzt werden. DESY III erzeugt unabhängig von der genutzten Quelle einen stabilen Strom von 210 mA bei 7 GeV.

Linear-Collider Studien

Mit der Fertigstellung des TESLA Technical Design Report (TDR) wurde im Berichtszeitraum ein wichtiger Meilenstein auf dem Weg zur Realisierung des Zukunftsprojekts für einen 500–800 GeV supraleitenden Elektron-Positron Linear-Collider mit integriertem Röntgenlaser-Labor erreicht.

Eine Kostenschätzung für den Beschleunigerteil des Projektes wurde anhand von Industriestudien für die

Massenfertigung der Hauptkomponenten der Anlage erarbeitet. Die Kosten für den 500 GeV Collider wurden zu 3.136 Milliarden € ermittelt. Die zusätzlichen Kosten für die Integration des Röntgen-FEL belaufen sich auf 0.241 Milliarden €.

Der TESLA TDR wurde im März 2001 im Rahmen eines internationalen Kolloquiums der Öffentlichkeit vorgestellt. Das große Interesse am TESLA-Projekt wurde durch die Teilnahme von annähernd 1000 Wissenschaftlern an dieser Veranstaltung eindrucksvoll unterstrichen.

Auf der Basis des TDR wurde die Vorbereitung des Planfeststellungsverfahrens weitergeführt. Mitarbeiter von DESY und unabhängige Ingenieure für die Genehmigungsplanung, die Projektsteuerung, die Umweltplanung und die hydrogeologischen Untersuchungen erarbeiten in einem Team die Planunterlage.

Im Berichtszeitraum konnte der TESLA Test Facility LINAC in der Regel im 24-Stunden-Betrieb genutzt werden. Hierbei standen zunächst Studien zur Beschleunigerphysik im Vordergrund. Ab Sommer lag der Schwerpunkt dann im Bereich des FEL-Betriebs.

Freie-Elektronen Laser

Im Laufe des Jahres 2001 gelang es, die Verstärkungsleistung des FELs gegenüber dem im Vorjahr erreichten Wert von 10^3 bis 10^4 schrittweise um mehrere Größenordnungen zu erhöhen. Der Erfolg beruhte auf der Optimierung nicht eines einzelnen, sondern mehrerer Betriebsparameter wie der Einstellung des Bunch-Kompressors, des Photoinjektors und der Elektronenstrahlage im Undulator.

Dem Wunsch der ersten wissenschaftlichen Nutzer folgend, konzentrierten sich die Bemühungen auf den Wellenlängenbereich zwischen 80 nm und 120 nm. Am 10. September wurde der maximal mögliche Verstärkungsfaktor von 10^7 erreicht. Erste Experimente nutzten den erzeugten FEL-Strahl, um das Verhalten von Probenmaterial im intensiven Photonenstrahl zu untersuchen.

Die Studien zum Entwurf eines Höchstleistungs-FELs für Wellenlängen bis hinunter zu 0.1 nm (kurz: XFEL) wurden fortgesetzt.

Speicherringanlage HERA

Im Berichtsjahr 2001 stand HERA im Zeichen der Umbauarbeiten für die Luminositätserhöhung. Im Vorjahr waren bereits die alten Beschleunigerkomponenten weitgehend ausgebaut und die neuen Magnetstützen teilweise aufgestellt worden. Die Montage der neuen Beschleunigerkomponenten ging zügig voran, inklusive des Einbaus der Spinrotatoren in den geraden Stücken Nord und Süd.

Am 1. Mai waren die Einbauarbeiten im Norden abgeschlossen. Zwei Wochen später war auch das gerade Stück Süd bereit für die Inbetriebnahme. Ab Mitte Mai wurden Vermessungsarbeiten, die Inbetriebnahme der Netzgeräte, Vakuumtests und die Inbetriebnahme und Justierung des neu installierten drahtgestützten Magnetpositions-Messsystems durchgeführt. Alle diese Arbeiten sind ausführlich im Bericht der technischen Gruppen beschrieben. Vor Beginn des Strahlbetriebs wurden noch einmal alle Magnete, an denen während der Betriebsunterbrechung gearbeitet wurde, bezüglich Polarität und Zuordnung zum Kontrollsystem überprüft und dabei gefundene Unstimmigkeiten beseitigt. Am 27. Juli wurde der Strahlbetrieb mit der Injektion von Protonen in HERA aufgenommen. Die Inbetriebnahme von Protonen verlief ohne größere Probleme. Nach der Aufdeckung von einigen Fehlern bei der Ansteuerung der Netzgeräte und nach der Beseitigung von Problemen mit der Magnetkühlung konnten bis zum 13. August Protonen routinemäßig injiziert und beschleunigt werden. Der Anlauf mit Positronen stand unter einem ungünstigeren Stern. Es gab anfänglich große Schwierigkeiten, den Strahl um die Maschine zu transportieren. Diese waren im Wesentlichen darauf zurückzuführen, dass einer der neuen Quadrupolmagnete beim Einbau beschädigt wurde. Dies hatte den Kurzschluss einer Teilspule zur Folge. Das Auffinden dieses Defekts sowie seine Reparatur führten zu einer Verschiebung des Wiederanlaufs um etwa drei Wochen.

Anfang September standen dann beide Ringe für ausführliche Strahloptiktests zur Verfügung. Im Verlauf dieser Studien wurden mehrere kleinere Fehler der Magnetfelder aufgedeckt und beseitigt. Die Strahlenveloppen weichen nach diesen Korrekturen nur noch um etwa 10% von ihren Idealwerten ab. Damit sind die Voraussetzungen für einen Luminositätslauf von dieser Seite erfüllt. Größere Schwierigkeiten machte der Versuch, die absoluten Magnetpositionen im Bereich der Wechselwirkungszonen mit einer Genauigkeit von unter einem Millimeter durch so genanntes „Beam Based Alignment“ zu bestimmen. Es stellte sich heraus, dass die üblichen Prozeduren in ihrer Genauigkeit nicht ausreichten. Die Bemühungen konzentrierten sich dann auf die Bereitstellung von verbesserten Algorithmen und automatisierten Verfahren. Diese Verbesserungen nahmen den ganzen Rest des Jahres in Anspruch. Zuletzt betrug die Genauigkeit der Festlegung der Magnetpositionen nur etwa einige Millimeter, welches für einen guten Luminositätsbetrieb nicht ausreichend ist.

Die Beeinflussung der neuen, in den Detektoren H1 und ZEUS installierten supraleitenden Fokussier- und Ablenkmagnete durch die Detektorsolenoidfelder dagegen stellte kein großes Problem dar. Die Bewegung dieser Magnete durch die sich ändernden magnetischen Kräfte während der Magnetrampe erwiesen sich im Wesentlichen so wie erwartet, und ihre Kompensation stellte kein großes operationelles Problem dar. Etwas schwieriger war die Kompensation der durch das Schließen des ZEUS-Kalorimeters bedingten Änderung der Magnetfelder. Die Strahlorbitverschiebungen lassen sich jedoch mit Hilfe eines neuen Orbit-Rückkopplungssystems mit einer Bandbreite von 2 Hz kontrollieren. Die Kompensation der Kopplung der horizontalen und vertikalen Betatronschwingungen des Positronenstrahls, welche durch die Detektorsolenoidfelder verursacht wird, erfolgt

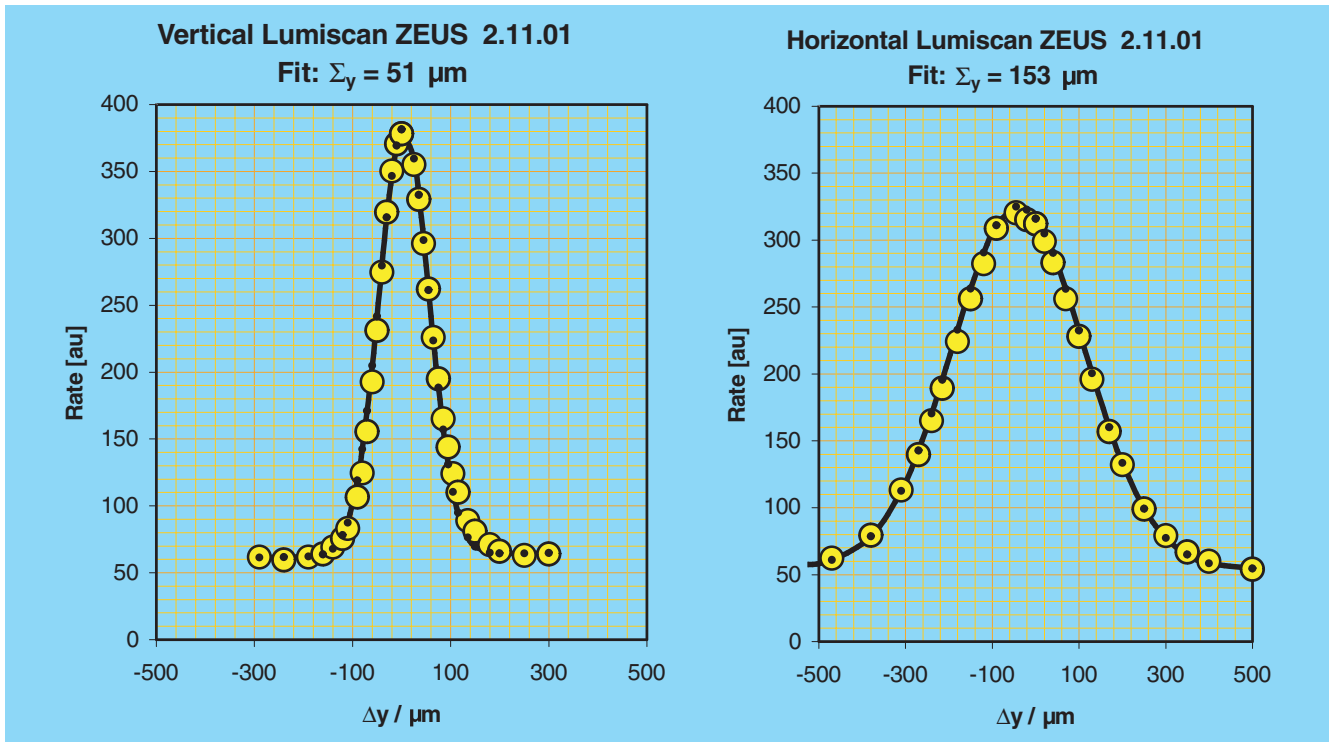


Abbildung 110: Luminositätssignal als Funktion der relativen vertikalen (links) und horizontalen (rechts) Strahlposition von Protonen und Positronen am Wechselwirkungspunkt ZEUS. Die Breite der Kurven entspricht der effektiven Strahlbreite. Die daraus berechnete Spezifische Luminosität beträgt $1.68 \times 10^{30} \text{ cm}^{-2} \text{ sec}^{-1} \text{ mA}^{-2}$, die etwa 87% des Entwurfswertes beträgt.

nun mit zwei gedrehten Quadrupol-Paaren auf beiden Seiten des Wechselwirkungspunktes. Die globale Kopplung, die in den Bögen des Beschleunigers generiert wird, wird nach wie vor durch kleine vertikale Orbitverschiebungen in den Sextupolmagneten kompensiert. Die Kopplung, welche durch Neigung der „low beta“ Quadrupole entsteht, wird lokal durch gedrehte Quadrupolwindungen auf den supraleitenden Magneten in der Wechselwirkungszone kompensiert. Dieses Konzept erwies sich in der Praxis als erfolgreich. Damit ließen sich Strahlparameter in der Nähe der Designwerte realisieren.

Ab Anfang Oktober wurden zum ersten Mal im Jahr 2001 beide Strahlen bei ihrer Maximalenergie zur Kollision gebracht. Nach einigen Verbesserungen von Kopplung und Optik des Positronenstrahls (wie oben beschrieben) ergab sich eine spezifische Luminosität von $1.68 \times 10^{30} \text{ cm}^{-2} \text{ sec}^{-1} \text{ mA}^{-2}$ (Abb. 110),

welche bereits recht nahe am Designwert von $1.92 \times 10^{30} \text{ cm}^{-2} \text{ sec}^{-1} \text{ mA}^{-2}$ liegt.

Als größtes Problem mit der neuen Wechselwirkungszone stellte sich bei der Inbetriebnahme der Synchrotronstrahlungsuntergrund der Experimente H1 und ZEUS dar. Durch sorgfältige Zentrierung des Positronenstrahl-Orbits konnte der Untergrund so weit reduziert werden, dass das Experiment H1 eingeschaltet werden konnte. Der Untergrund muss jedoch noch etwa um den Faktor 100 reduziert werden, um gute Bedingungen für die Experimente zu erzielen. Die Analyse, welche sich über die Monate November und Dezember erstreckte, ergab, dass die Situation mit zwei vertikalen und einem horizontalen Kollimator bei 62 m, 19 m und 6 m jeweils auf der linken Seite vor den Experimenten H1 und ZEUS verbessert werden kann. Mit der Auslegung und Fertigung dieser Kollimatoren wurde bereits begonnen.

Speicherring DORIS III

DORIS III Betrieb 2001

Der Wiederanlauf von DORIS begann am 15. Januar, und der Beginn des offiziellen Nutzerbetriebes für HASYLAB war für den 12. Februar geplant. Wie im Jahr zuvor wurde mit HASYLAB der übliche 5:1 Wochenrhythmus vereinbart, das heißt fünf Wochen Synchrotronstrahlungsbetrieb, gefolgt von einer Service-Woche. Abweichend davon sollte die erste und die letzte Run-Periode jeweils drei Wochen betragen. Für unvorhersehbare Arbeiten war eine Kurz-Wartungsperiode vom 9. bis zum 23. Juli vorgesehen.

Bedingt durch weitgehende Umbauarbeiten während der Winter-Wartungsperiode – ein Großteil der Triplet-Vakuumkammern, der Vertikalkicker und das Septum wurden ausgetauscht, außerdem wurden zwei Resonatoren ausgebaut – und wegen einer Reihe von Zwangsbelüftungen, die im Laufe des Jahres erforderlich waren, konnte sich die Strahllebensdauer nur sehr langsam erholen. Bereits am 18. Januar musste der Betrieb von DORIS unterbrochen werden, da der neue Vertikalkicker einen irreparablen Schaden zeigte. Drei Keramikstützen, die der Isolation des stromführenden Leiters dienen, hatten sich gelöst und waren in den Bereich des gespeicherten Strahls geraten, was den regulären Betrieb zunächst beendete. Eine ordnungsgemäße Reparatur des Kickers war nicht schnell genug möglich, weshalb die leere Hülle wieder eingebaut wurde. Dafür musste wiederum ein Viertel des DORIS-Vakuumsystems belüftet werden. Fünf Wochen später, in der ersten Service-Woche, wurde eine Belüftung der Bypass-Vakuumkammer vorgenommen, da das Ventil, welches das Strahlrohr BW5 von DORIS trennt, eine zu hohe Leckrate aufwies. Bis zum Juli mussten zwei weitere Belüftungen verkräftet werden. Ursache waren zwei undichte Mode-Koppler an den Beschleunigungskavitäten. In einer Kurz-Wartungsperiode wurde der reparierte Vertikalkicker wieder eingebaut und arbeitete dann störungs-

frei bis zum 16. Oktober. Wegen einer gelösten Keramikstütze wurde die Strahllebensdauer jedoch stark verringert, so dass ein nochmaliger Ausbau erforderlich wurde. Die bis zum Berichtszeitpunkt letzte Belüftung erfolgte am 2. November wegen eines undichten Flansches.

Strahlparameter

Wegen der neuen Vakuumkammern erhöhte sich die Strahllebensdauer nur sehr langsam. Bei einem integrierten Strahlstrom von 100 Ah wurden erst annähernd 50% der Vorjahreswerte erreicht. Massenspektrometrische Messungen zeigten einen dominanten Wasseranteil im Restgas, was die sehr langsame Druckverbesserung erklärt. Die Desorption von Wasser ist wegen des großen Dipolmoments des Wassermoleküls sehr langsam. Der Zeitraum für die Erholung der Lebensdauern im Anschluss an die Belüftungen war allerdings für HASYLAB akzeptabel.

Gegen Ende des diesjährigen Betriebes wurden im 5-Bunch-Betrieb folgende Lebensdauern erzielt: 12 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 vier Wochen Strahlzeit mit 2 Bunchen 85 mA. Der von HASYLAB genutzte integrierte Strahlstrom betrug 492 Ah.

Strahllagestabilität

Der Austausch der Vakuumkammern der Quadrupol-Triplets war erfolgt, um unerwünschte horizontale Orbitveränderungen zu minimieren. Diese werden vor allem durch horizontale Verschiebungen der Quadrupole in den Triplets bewirkt. Da die drei Injektionskicker

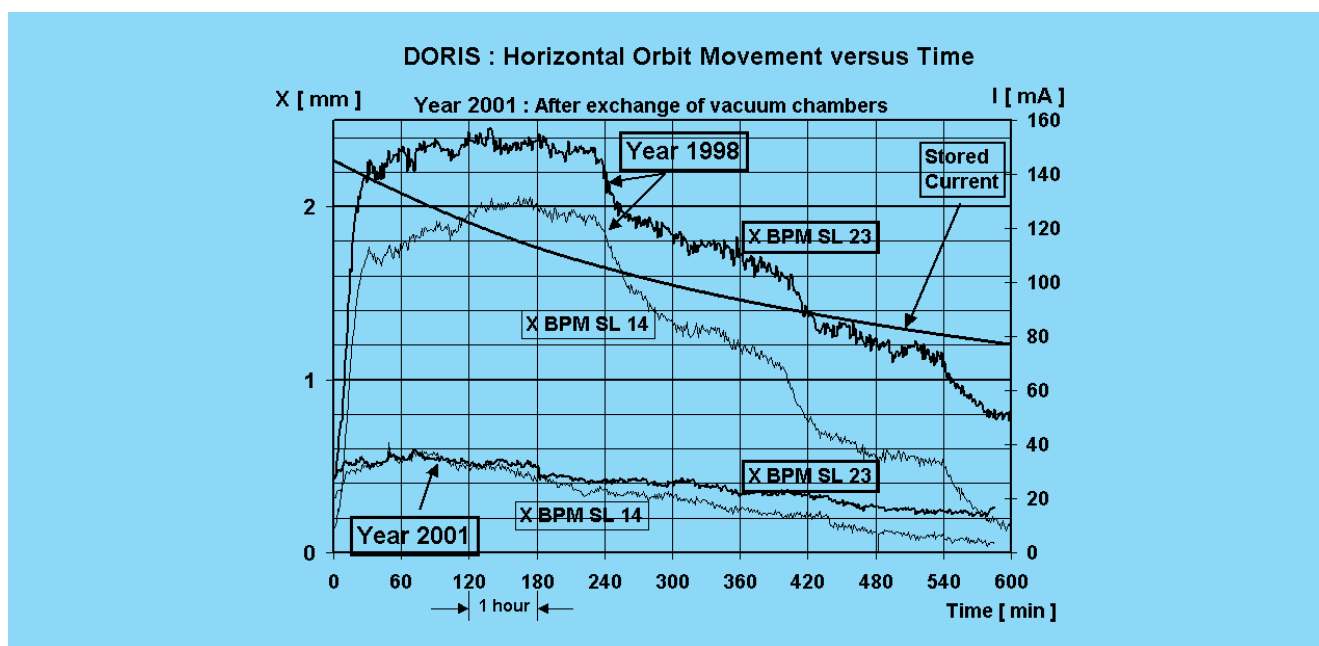


Abbildung 111: Durch den Einbau neuer Vakuumkammern in den Quadrupol-Triplets konnte eine deutliche Verbesserung der horizontalen Orbitstabilität erreicht werden.

nicht rechtzeitig fertig wurden, konnten nicht alle neuen Kammern eingebaut werden, so dass eine Restbewegung des Orbits über eine Run-Periode bleibt. Orbitmessungen zeigen allerdings, dass eine deutliche Verbesserung eingetreten ist. In Abbildung 111 sind die Ablagen des Orbits an zwei Stellen aufgetragen. Diese Messungen überspannen jeweils einen Zeitraum von zehn Stunden und sind im Jahre 1998 bzw. im Berichtsjahr durchgeführt worden. Zu diesen Zeitpunkten waren Lebensdauern und Ströme nahezu gleich. Vor dem Austausch der Vakuumkammern im Jahre 1998 waren die Bewegungen des Orbits an der Stelle der ausgewählten Monitore SL23 und SL14 etwa um den Faktor 5 größer als in diesem Jahr. Als Folge dieser verbesserten Orbitstabilität ergibt sich, wie angestrebt, eine deutlich verbesserte Strahllagestabilität bei den Synchrotronstrahlen. Die PC basierte Strahllageregelung arbeitete auch im Berichtsjahr einwandfrei.

Betriebsergebnis 2001

Das Betriebsergebnis ergibt sich aus dem Verhältnis von 5796 Stunden geplanter Strahlzeit für HASYLAB

und den 5348 Stunden, in der tatsächlich Synchrotronlicht geliefert werden konnte. Die daraus resultierende, verglichen mit dem letzten Jahr geringere Betriebseffizienz von 92,3% ist wesentlich auf die ungewöhnlich hohe Zahl von Zwangsbelüftungen zurückzuführen.

Betriebsunterbrechung

Während der Betriebsunterbrechung vom 17.12.2001 bis 16.2.2002 soll untersucht werden, ob die Resonator-Mode-Koppler für den regulären Betrieb von DORIS erforderlich sind. Im Berichtsjahr waren zwei Belüftungen auf defekte Koppler zurückzuführen. Als Ersatz könnten so genannte Hohlleiter-Mode-Koppler eingesetzt werden, deren Vorteil darin besteht, dass keine Verbindung zum Vakuum existiert. Nachdem weitgehend die Ursachen für das Fehlverhalten des Vertikalkickers erkannt und behoben sind, wird der reparierte Kicker wieder eingebaut. Drei Temperatursensoren werden während des Betriebes über die Temperaturverteilung im Inneren Aufschluss geben. In der darauffolgenden Winter-Wartungsperiode könnten dann die restlichen Kicker eingebaut werden.

Die Vorbeschleuniger

LINAC II und PIA

Mit dem Ende des Betriebsjahres 2000 wurde eine Reihe neuer Komponenten am LINAC II in Betrieb genommen. Das komplett erneuerte und auf moderne Vakuumtechnik umgebaute Injektionssystem läuft seit Beginn des Jahres 2001 störungsfrei im Beschleunigerbetrieb. Insgesamt wurden drei Beschleunigerabschnitte durch neu gefertigte ersetzt. Hierbei wurde im ersten Abschnitt die Anpassung an die noch nicht abgeschlossene Gruppierung der Elektronenpakete aufgegeben und ein Standardabschnitt eingebaut. Mit der Inbetriebnahme zum Jahresbeginn konnte die an PIA gelieferte Teilchenzahl der Positronen auf 3.9×10^{10} Teilchen gesteigert werden. Dies ist eine Verdoppelung der über lange Jahre hinweg üblichen Teilchenzahl. Der während der Betriebsunterbrechung ebenfalls erneuerte Positronen-Separator hat sich beim Betriebsanlauf und während der Optimierung der Positronen-Intensität bewährt. Im Lauf des Jahres konnten drei weitere Modulatoren parallel zum Beschleunigerbetrieb auf Kondensatorladegerät und SPS-Steuerung umgebaut und wieder in Betrieb genommen werden. Der Beschleunigerbetrieb wurde nicht beeinträchtigt.

Auch im beginnenden Jahr 2002 werden weitere Modulatoren umgebaut. Abgeschlossen wird die Modernisierung und damit die Erhöhung der Betriebssicherheit für die kommenden Jahre durch den Austausch der noch verbliebenen vier alten Beschleunigerabschnitte und den Umbau der restlichen Modulatoren. Diese Arbeiten sind für die nächste große Betriebsunterbrechung bei HERA geplant. Der während der Betriebsunterbrechung Ende letzten Jahres in Betrieb genommene neue zweistufige Tetroden-Leistungsverstärker für das 10.4 MHz-System läuft seit Beginn des Jahres störungsfrei. Der alte Verstärker wird für den Einsatz als Reserveeinheit umgebaut. Für das 125 MHz-System muss ein neuer Beschleunigungsresonator gebaut werden, da zum einen kein Ersatz vorhanden ist, zum anderen der

eingebaute Resonator in der Vergangenheit wegen einer hartnäckigen Multipactorentladung Probleme bereitet hat. Hier wurde damals eine Titan-Nitrid-Bedampfung zur Unterdrückung der Entladung vorgenommen. Der Ersatz-Resonator befindet sich zur Zeit in der Konstruktionsphase.

LINAC III

Nachdem sich der in den vergangenen Jahren vorangetriebene Umbau des LINAC III Injektionssystems schon im Testbetrieb bewährt hatte, der wechselweise Betrieb von zwei verschiedenen H^- -Quellen also möglich wurde, konnte der Betrieb der Cäsium-freien Hochfrequenzquelle zusammen mit dem LINAC III so optimiert werden, dass sie seit Herbst für mehrere Wochen als Betriebsquelle eingesetzt werden konnte. Dabei wurde bei einem in den LINAC III injizierten Strom von 9.4 mA und einer Pulslänge von $45 \mu s$ ein hochbeschleunigter und stabiler Strom von 210 mA in DESY III erreicht. Die Umschaltung zwischen beiden Quellen ist inzwischen rechnergesteuert möglich und benötigt nur wenige Minuten. Die Stabilität der LINAC III Sender und damit der LINAC-Energie konnte durch den Einbau schneller Amplitudenregelungen und hochstabiler Schirmgitternetzgeräte wesentlich verbessert werden. Die Amplitudenregelungen kompensieren nun auch die Strahllast.

DESY II

DESY II wurde nach dem Austausch der Summendrossel, dem Einbau eines neuen Strahlfängers in einem Strahltransportweg und der Modernisierung der Senderanlage im Januar 2001 wieder mit Positronen in Betrieb

PETRA Betriebsstatistik 2001

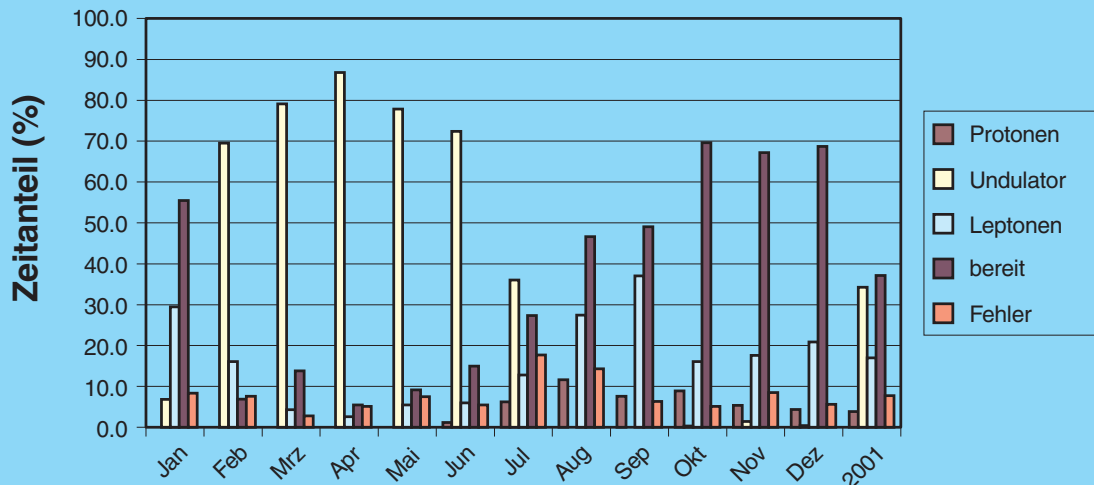


Abbildung 112: Aufteilung der Betriebszeit 2001 auf die einzelnen Betriebsmodi: Vorbeschleunigerbetrieb: Leptonen und Protonen; Synchrotronstrahlungsbetrieb: Undulator; Maschine im Wartezustand: bereit.

genommen. Als Vorbeschleuniger lieferte DESY II mit gewohnter hoher Zuverlässigkeit mittlere Intensitäten von $(1.2\text{--}1.3) \times 10^{10}$ Teilchen pro Bunch, 2.0–2.1 mA bei 7 GeV für PETRA und $(3\text{--}4) \times 10^9$ Teilchen bei 4.5 GeV für DORIS. In den Füllpausen stellte DESY II in der ersten Jahreshälfte auch wieder Strahl für die Teststrahl-Benutzer zur Verfügung. Im Juli 2001 wurde ein DESY II-Standby-Zustand zur Reduzierung der Energiekosten während der Füllpausen eingeführt.

DESY III

Während der Wartungsperiode 2000/2001 wurden neben dem Einbau eines neuen Resonators und Verbesserungen am Lagemonitorsystem die Blindleistungskompensationsanlage modernisiert und eine neue Steuerungslogik für die Schieberventile eingebaut. Bei der Wiederinbetriebnahme mit Strahl im Mai wurde der neue Resonator während mehrerer Wochen konditioniert. In dieser Zeit wurde das Kontrollsystem auf

ein neues Betriebssystem umgestellt. Zusätzlich wurde die Ansteuerung von mehreren Hauptmagnetkreisen verbessert. Ende November musste das Ejektionsseptum wegen eines Wasserlecks im Vakuumsystem ausgetauscht werden. Als Protonenbeschleuniger für PETRA lief DESY III wieder mit hoher Zuverlässigkeit. Der mittlere Wert des Gesamtstroms konnte durch Optimierungen um 5% auf 210 mA gesteigert werden. Die erreichten Spitzenströme lagen über 220 mA.

PETRA II

Im Betriebsjahr 2001 lief PETRA fast während des ganzen Jahres. Nach dem Wiederanlauf im Januar wurde die Maschine bis Anfang Juli im Wesentlichen als Synchrotronstrahlungsquelle genutzt. Den Rest des Jahres lief die Maschine als Vorbeschleuniger für HERA. Änderungen an der Maschine betrafen das Kontrollsystem, das auf ein neues Betriebssystem umgestellt wurde, und die Elektronen-Hochfrequenz, die umgebaut wurde, um

eine höhere Betriebssicherheit zu erzielen. Die Verteilung der Zeit auf die einzelnen Betriebsmodi entnimmt man Abbildung 112. Der Betrieb im Einzelnen sah wie folgt aus:

Betrieb als Vorbeschleuniger

Elektronen/Positronen

Die Maschine lief etwa 17% der Zeit als Positronen-Vorbeschleuniger für HERA. Der Betrieb war wie in den vorangegangenen Jahren unproblematisch.

Protonen

Während der Anlaufphase zu Beginn des Jahres gab es noch einige Probleme mit dem umgestellten Kontrollsystem, die allerdings zum überwiegenden Teil in der ersten Jahreshälfte gelöst wurden, so dass im Wesentlichen das positive Betriebsergebnis des letzten Jahres wiederholt werden konnte.

Die im letzten Jahresbericht erwähnten Schwierigkeiten mit der Ejektion von Protonen traten in diesem Jahr nicht auf, da diesmal der Betrieb als Synchrotronstrahlungsquelle bzw. Vorbeschleuniger zeitlich klar getrennt war. Allerdings konnte der Verdacht bestätigt werden, dass durch den Synchrotronstrahlungsbetrieb die Ferrite der Kicker aufgewärmt werden, was zu einer erheblichen Minderung der magnetischen Ablenkfelder führen kann. Ob die geschaffenen Gegenmaßnahmen, wie zusätzliche Abschirmung der Kicker gegen elektromagnetische Felder der Positronenbunche und der Einbau eines dritten Ejektionskickers, das Ejektions-Problem lösen, konnte in diesem Jahr leider nicht geklärt werden.

Einen weiteren Einfluss des Positronenbetriebs auf den Protonenbetrieb gibt es vermutlich auch über die Protonen-Hochfrequenz. Elektromagnetische Felder, die von den Positronenbunchen in den Proton-Hohlraumresonatoren induziert werden und deren Größe proportional zum Positronenstrom ist, können sowohl die Abstimmereinheiten, so genannte Tuner, wie auch die so genannten „Higher Order Mode“ (HOM)

Koppler zerstören. Dies hat zur Folge, dass entweder die Strahlverluste während des Beschleunigens erheblich zunehmen, oder aber zumindest die Protonenbunche erheblich länger werden, so dass die Strahlqualität deutlich verschlechtert wird und damit in der Regel nicht mehr akzeptabel für HERA ist. Inwieweit diese beiden Problematiken, einerseits die Protonejektion und andererseits der Einfluss auf die Protonenhochfrequenz, den Positronenstrom im Synchrotronstrahlungsmodus begrenzen, muss im nächsten Jahr geklärt werden.

Betrieb als Synchrotronstrahlungsquelle

In den Monaten Februar bis einschließlich Juni lief PETRA ausschließlich mit Positronen zu etwa 77% der Zeit als Synchrotronstrahlungsquelle. Dass die Verfügbarkeit nicht höher war, hat mehrere Gründe. Zum einen dauerten die Tests an dem umgestellten Kontrollsystem länger als erwartet. Anfangsschwierigkeiten mit der umgebauten Elektronen-Hochfrequenz führten zu Ausfällen und Betriebsunterbrechungen. Auch nach deren Beseitigung gab es noch zahlreiche Strahlverluste durch Ausfall des Hochfrequenzsystems. Zwar wurden im Laufe des Jahres viele dieser Mängel beseitigt, aber letztlich war der Zustand noch nicht befriedigend.

Neben diesen technischen trat auch noch ein prinzipielles Problem auf. Wie sich im Laufe der ersten Monate herausstellte, ist die Maschine durch den Umbau der Elektronen-Hochfrequenz empfindlicher gegenüber longitudinalen Instabilitäten, die durch den Grundmodus der Hochfrequenz verursacht werden. In der Vergangenheit konnte man die Maschine durch Erhöhung der Hochfrequenzumgangsspannung stabilisieren. Durch den Umbau der Hochfrequenz ist die Leistung der Anlage und damit die Spannung begrenzt, so dass diese Art der Stabilisierung nicht mehr praktiziert werden kann. Diese Begrenzung der Leistung ist von der ökonomischen und Betriebssicherheitsseite sinnvoll und wünschenswert. Nachdem der Instabilitätsmechanismus verstanden war, konnte aber durch ein geeignetes Rückkopplungssystem der Strahl wieder stabilisiert werden, so dass der Umbau der Hochfrequenz die Strahlintensität der Positronen nicht limitiert.

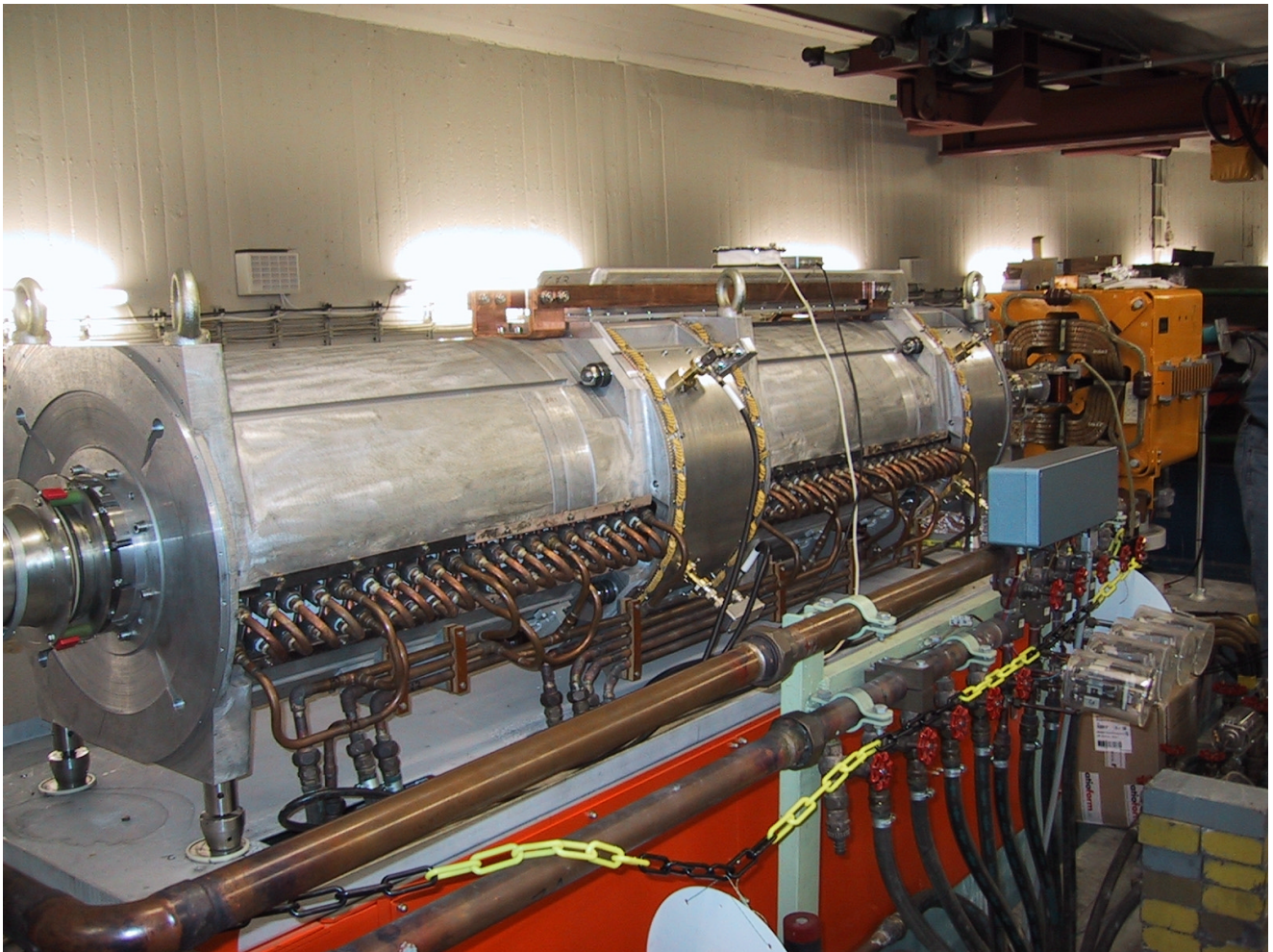


Abbildung 113: *DESY III Resonator.*

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, ist eine Option für die längerfristige Zukunft von HERA die Kollision von Hadronen mit Elektronen bzw. Positronen. Um eine möglichst hohe Luminosität bei derartigen Kollisionen zu erreichen, ist die Kühlung der Hadronenstrahlen zur Reduktion der Emittanz von Interesse. Daher wird die Elektronenkühlung von Hadronen in PETRA seit einiger Zeit untersucht.

Ein wesentlicher Bestandteil eines solchen Elektronenkühlers ist ein Elektronen-Linac. Die Anforderungen an die Strahlqualität der Elektronen sind sehr hoch, um eine adäquate Kühlrate zu erzielen. Durch Simulationen konnte gezeigt werden, dass ein Elektronenstrahl ausreichender Qualität generiert und auf bis zu 10 MeV beschleunigt werden kann. Darüber hinaus konnte die dafür notwendige Linac-Struktur einschließlich der Strahlführung durch Solenoide stark vereinfacht werden, so dass eine technische Realisierung, die zwar immer noch aufwendig ist, jetzt möglich scheint.

Da auch die anderen Bestandteile wie der so genannte Debuncher und der Rezirkulator schon weitgehend untersucht worden sind, besteht die Hoffnung, dass die

Studien zur Elektronenkühlung in PETRA im folgenden Jahr erfolgreich abgeschlossen werden können.

Nutzung von PETRA als dedizierte Synchrotronstrahlungsquelle

Im Berichtsjahr wurde die Möglichkeit untersucht und ein Vorschlag ausgearbeitet, PETRA ausschließlich als Synchrotronstrahlungsquelle zu betreiben. Der Vorschlag sieht vor, im Wesentlichen sieben Achtel und die dazugehörigen Komponenten zu modernisieren und ein Achtel komplett umzubauen, so dass hier bis zu zehn Undulatoren ähnlich wie in einer Synchrotronstrahlungsquelle der dritten Generation eingebaut werden können. Es konnte gezeigt werden, dass man bei einer Strahlenergie von 6 GeV eine Strahlungsquelle erhält, die konkurrenzfähig zur ESRF (Grenoble) ist. Darüber hinaus zeigen vorläufige Untersuchungen, dass es möglich ist, durch den Einbau so genannter Dämpfungswiggler die Emittanz noch weiter zu verkleinern, wodurch eine Quelle im Röntgenbereich von einzigartiger Qualität zur Verfügung stünde.

Spin-Polarisation

Polarisierte Positronen und Elektronen

In einer Dissertation über die Beeinflussung der Strahlpolarisation durch die mit der Erhöhung der Luminosität verbundenen Änderungen in der Maschine wurde berechnet, dass die neue Optik mit drei Spinrotatorpaaren und mit unkompenzierten Solenoidspulen in den Detektoren eine Polarisation von etwa 50% ermöglichen sollte, unter der Voraussetzung einer sehr guten Korrektur der Strahllage. Effekte der nichtlinearen Spinbewegung wurden mit dem Computerprogramm SITROS berechnet, das einzige zur Verfügung stehende Pro-

gramm, welches die Strahllage und Synchrotronstrahlung berücksichtigen kann. SITROS wurde etwas verbessert, insbesondere in Bezug auf die Behandlung von Solenoidfeldern. Es stellte sich allerdings heraus, dass der Einfluss der Strahl-Strahl-Wechselwirkung auf die Polarisierung für die neue Optik mit SITROS nicht zuverlässig berechnet werden kann. Es ist daher geplant, die Entwicklung eines hierfür geeigneten Programms voranzutreiben. Es soll auf dem Programm SPRINT basieren, das zur Analyse von polarisierten Protonen in HERA entwickelt wurde. In der Dissertation wird auch gezeigt, wie Elektronendepolarisation für ein einfaches Modell der Synchrotron-Seitenbänder berechnet werden kann.

Optik-Files für den MIT-Bates Elektronenring stehen nun zur Verfügung. Wegen des speziellen Layouts bietet dieser Ring eine einzigartige Möglichkeit, die so genannte „kinetische Polarisierung“ zu untersuchen. Dieses Phänomen ist für die Polarisationsmessung in HERA wichtig. Die Files werden verwendet, um die erwartete kinetische Polarisierung im MIT-Bates Ring zu beurteilen. Es sollen Methoden gefunden werden, die den Effekt so vergrößern, dass er als Ersatz für den Sokolov-Ternov Effekt verwendet werden kann.

Polarisierte Protonen

Die numerischen Untersuchungen der Möglichkeit, bei hoher Energie in HERA polarisierte Protonenstrahlen zur Verfügung zu stellen, wurden nicht weitergeführt. Ein gutes Verständnis der Spindynamik von hochenergetischen Protonen bedarf eines guten Verständnisses des Spin Tunes. Aus der Arbeit bei DESY hat sich bereits ein gutes Verständnis dieses Konzepts ergeben, eine genauere mathematische Analyse ist nun zusammen mit der University of New Mexico erarbeitet worden und wird bald veröffentlicht werden.

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 resonante Felder), TRAFIC⁴ (selbstkonsistente Berechnung von Bunchen auf gekrümmten Bahnen, kohärente Synchrotronstrahlung), ASTRA (Teilchenttracking mit Raumladungseffekten im niederenergetischen Bereich), ELEGANT (hochenergetisches Teilchenttracking), GENESIS (FEL Berechnung) und V (Ensemble Tracking) zum Einsatz.

Neu- und Weiterentwicklung von Programmen

An der TU Darmstadt wird das Programm V laufend erweitert, so dass eine detailliertere Berücksichtigung von TTF-Komponenten möglich ist und mehrere Ensembles gleichzeitig berechnet werden können.

Die Programmstruktur von TRAFIC⁴ wurde bei SLAC an die Erfordernisse von Parallelrechnern angepasst und kommt bei DESY auf einem UNIX PC Cluster zum Einsatz. Die große Rechenleistung, die somit zur Verfügung steht, erlaubt eine wesentlich bessere Beschreibung der Wechselwirkungsvorgänge, zum Beispiel durch kohärente Synchrotronstrahlung, in Bunchkompressoren. So kann beispielsweise ein neuartiger Instabilitätsmechanismus, der mit einfachen eindimensionalen Programmen nur grob beschrieben wird, genauer berechnet werden. Dies ist die Grundlage für ein verbessertes eindimensionales Modell, an dem ebenfalls gearbeitet wird.

An der Universität Rostock wird die CSC („Coupled Scattering Parameters“) Methode untersucht, die es erlaubt, resonante Felder in sehr ausgedehnten Strukturen zu berechnen. Der Vorteil dieser Methode besteht darin, dass einzelne Unterabschnitte getrennt simuliert werden können und nicht das vollständige Modenspektrum der gesamten Struktur bestimmt werden muss. So können Eigenmoden in einem vorgegebenen Frequenzbereich gezielt ermittelt werden, und eine Änderung an einem Unterabschnitt erfordert nicht notwendig die erneute Berechnung der vollständigen Geometrie.

Projekte

Zahlreiche Berechnungen wurden für die existierenden und geplanten Beschleuniger durchgeführt, wie

zum Beispiel Koppler (TESLA, TTF), Wakefield-Berechnungen und Resonatoren (TESLA, TTF2, HERA, H1, ZEUS) und Magnete (HERMES, TTF2). Sehr umfangreiche Berechnungen waren erforderlich, um das Dämpfungsverhalten von Resonanzen in der TTF-Struktur oberhalb der Cutoff-Frequenz zu untersuchen. Dabei wurde die CSC Methode erfolgreich eingesetzt.

Untersuchung nichtlinearer Prozesse

Ein Schwerpunkt der Arbeiten auf dem Gebiet nichtlinearer Prozesse im Berichtsjahr war die Untersuchung stochastischer Einflüsse auf die Teilchenbewegung in Beschleunigern, zum Beispiel Diffusion aus stabilen HF-Paketen („Coasting Beam“) oder Einfluss von Rauschen auf das transversale Strahl-Echo in Proton-Speicherringen.

Die zur Beschreibung notwendigen Hamilton-Gleichungen mit schwachen, im allgemeinen farbigen, Rauschtermen und die entsprechenden Fokker-Planck-Gleichungen lassen sich nicht mehr analytisch lösen und erfordern, wegen der Symplektizität der Hamilton-Dynamik, spezielle numerische Verfahren. Verschiedene Codes wurden entwickelt, an einfachen Beispielen getestet und miteinander verglichen. Ziel ist die spätere Anwendung auf realistische Modelle. Diese Untersuchungen werden in Zusammenarbeit mit der Universität Bologna durchgeführt.

Eine andere wichtige Frage ist, wie Quanteneffekte die Strahldynamik in Beschleunigern beeinflussen können. Strahlungseffekte und Spin-Polarisation in Elektron-Speicherringen sind Beispiele für das explizite Auftreten des Planck'schen Wirkungsquantums h . Eine in diesem Zusammenhang interessierende Frage ist, wie Quantenaspekte die SASE-FEL Photon-Statistik beeinflussen oder modifizieren können.

Arbeiten der technischen Gruppen

Über viele Arbeiten der technischen Gruppen wurde bereits im Abschnitt über die Maschinen (Seite 189 ff, 191 ff und 193 ff) berichtet. Weitere Arbeiten der Gruppen werden hier beschrieben. Die Aktivitäten im Rah-

men der Linear-Collider Studien finden an entsprechender Stelle Erwähnung (Seite 225 ff).

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

Injektion/Ejektion – MIN –

Die Gruppe MIN 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 so genannten „Beam-Dumps“ in allen Speicherringen und Synchrotrons. Hinzugekommen sind weiterhin Aufgaben in Zusammenhang mit dem Betrieb des TESLA Test Facility LINAC. Der Schwerpunkt liegt hier im Bereich des Injektionssystems und in der Koordination des TTF-LINAC Betriebes.

Elektronen/Positronen LINAC II

Mit dem Ziel, den Wechsel der Kanoneneinheit zu vereinfachen, 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 in neuer CF Vakuum-Dichttechnik realisiert. 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 zu Beginn des Jahres gemeinsam mit drei erneuerten Beschleunigerabschnitten in Betrieb genommen werden konnte. Mit diesen neu eingebauten Abschnitten sind nun sukzessive acht von zwölf ersetzt worden. Aufgrund eines Vakuumlecks an einer Keramikdurchführung wurde der erste Abschnitt im Frühjahr noch einmal ausgetauscht. Mit der Inbetriebnahme zum Jahresbeginn konnte die an PIA gelieferte Teilchenzahl der Positronen auf 3.9×10^{10} Teilchen gesteigert werden. Dies ist eine Verdoppelung der über lange Jahre hinweg üblichen Teilchenzahl.



Abbildung 114: Modernisierte DESY II-Senderanlage.

Kicker

In zunehmendem Maße werden Röhren durch Halbleiterpulsers ersetzt. So wurden im Berichtszeitraum vier Ignitronpulsers der HERA Positronen-Injektion durch Halbleiterschalter ersetzt. Diese ermöglichten einen wesentlich stabileren Betrieb mit stark reduziertem Jitter.

Für die Protonen-Ejektion von PETRA nach HERA wurden bereits 1999 die vorhandenen so genannten Fahrkicker durch eine neue Generation von Kicker-magneten ersetzt. Sie haben sich seitdem im Betrieb sehr gut bewährt. Zu Diagnosezwecken wurde inzwischen eine Temperaturmessung nachgerüstet. Ergänzend wurde während der Betriebsunterbrechung im Herbst ein so genannter Mittelkicker eingebaut.

Die Entwicklungsarbeiten für den HERA Elektronen-Dump wurden rechtzeitig vor der Betriebsunterbrechung Ende 2000 abgeschlossen, so dass der Einbau in HERA möglich war. Nach abgeschlossenen Tests steht die Dump-Kicker-Anlage für den Betrieb zur Verfügung.

Für den Speicherring DORIS wurde der Einbau eines vertikalen Anregungskickers mit integrierten Temperaturfühlern abgeschlossen.

Für den Ausbau der TESLA Test Facility wurden vier weitere Feedback-Kicker entwickelt, die sich zur Zeit inklusive des zugehörigen Vakuumsystems in der Ferti-

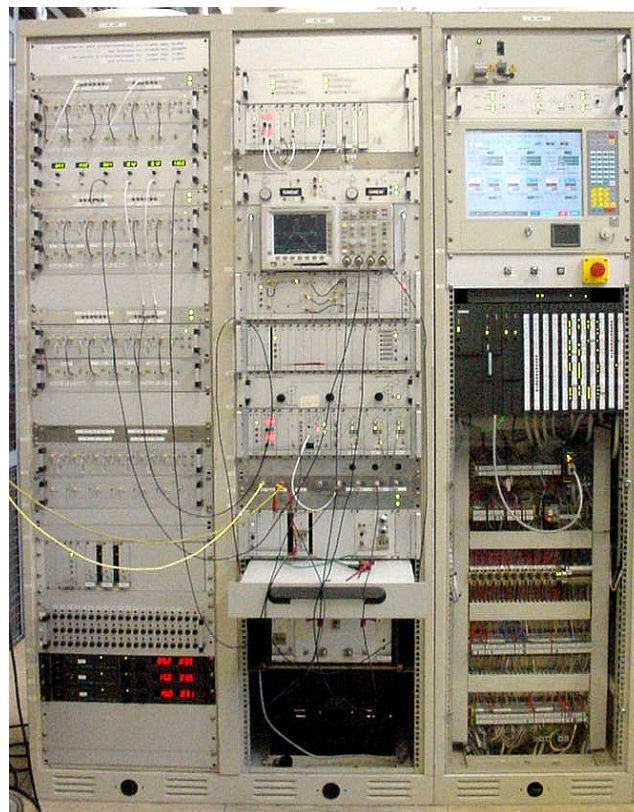


Abbildung 115: SPS-Anlagensteuerung mit „Siemens S7“.

gung befinden. Im Rahmen von Studien für den TESLA Linear-Collider wird an verschiedenen Konzepten für so genannte Dämpfungsringkicker gearbeitet. Erste Ergebnisse sind für das kommende Jahr zu erwarten.

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. Die zweite, MHF-sl, ist verantwortlich 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,

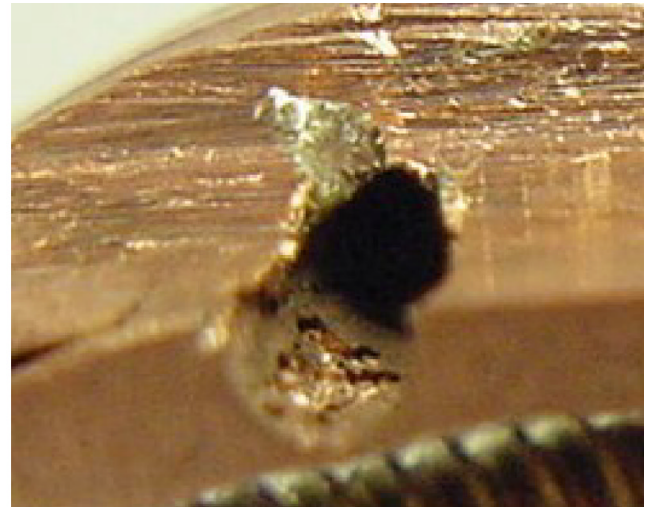


Abbildung 116: Links: Koppelschleife des ausgebauten HOM-Kopplers. Im Bereich der grauen Verfärbung, links oberhalb der Bildmitte, war das Wasser ausgetreten. Rechts: Ein Schnitt durch den Kühlwasserkanal offenbarte tiefe Erosionsspuren. Die ursprüngliche Materialdicke zwischen Wasserkanal und Vakuum betrug 1 mm.

PETRA II und HERA sowie die 1.3 GHz Klystrons der TTF werden von der dritten Untergruppe, MHF-p, betreut.

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 21 800 kW-Klystrons, drei 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.

Die im Vorjahr begonnenen Modernisierungsarbeiten an der DESY II-Senderanlage konnten im Berichtsjahr fristgerecht und erfolgreich abgeschlossen werden. Die Anlage ist seit Jahresbeginn 2001 in Betrieb und ist seitdem 4400 Stunden ohne nennenswerte Probleme und Störungen gelaufen. Die Anlage wurde für drei Klystrons konzipiert, von denen aber nur jeweils zwei betrieben werden. Das dritte Klystron steht als Reserve bereit und kann in kürzester Zeit über ein Hohlleiterschalter-System aktiviert werden.

Bei den beiden PETRA-HF-Systemen wurde die Möglichkeit geschaffen, die beiden Resonator-Gruppen wahlweise mit nur einer der beiden Senderanlagen oder mit beiden Senderanlagen zu betreiben (Abb. 114 und 115).

Seit Beginn 2001 wird PETRA in dieser Form erfolgreich betrieben. Die ersten Monate des Jahres war die Senderanlage „Süd-Links“ für den PETRA-Betrieb aktiv. Im November wurde auf den Betrieb mit der Senderanlage „Süd-Rechts“ umgeschaltet.

Im April trat ein Vakuum-Wasserleck an einem Koppler zur Bedämpfung höherer Schwingungsmoden (HOM-Koppler) in einem DORIS-Resonator auf. Die nähere Untersuchung der Leckstelle zeigte, dass das Kühlwasser in 15 Betriebsjahren tiefe Krater in die Kühlkanäle der Koppelschleife gewaschen hatte (Abb. 116).

Da zu befürchten ist, dass die restlichen sieben HOM-Koppler dieses Typs ähnlich stark erodiert sind, wird derzeit untersucht, ob DORIS auch ohne diese HOM-Koppler hinreichend stabil zu betreiben ist. Für den Fall, dass dies auf Probleme stößt, wurden Hohlleiter-HOM-Koppler entwickelt, die in der Lage sind, zumindest einige der höheren Moden über die Einkoppelschleifen der Resonatoren zu bedämpfen. Ergebnisse werden für Anfang 2002 erwartet.

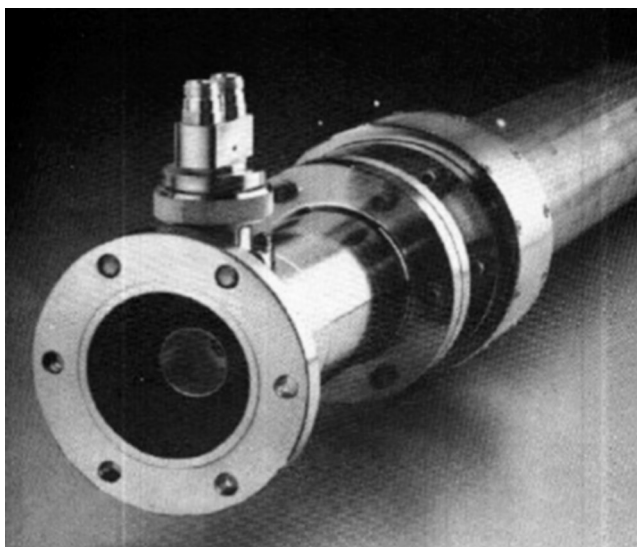


Abbildung 117: Links: 100 kW-3 1/8"-Koaxial-Absorber für Betrieb mit 30-prozentigem Glykol-Wassergemisch. Rechts: Wasserperlen durchdringen das poröse Kupfermaterial des koaxialen Außenleiters im Bereich des keramischen Fensters.

Seit Ende August 2001 wurde zeitweise eine longitudinale Instabilität bei DORIS beobachtet. Es zeigte sich eine starke Abhängigkeit der Instabilitätsschwelle von der Kühlwassertemperatur des Resonator-Kühlkreises. Bei normalen Kühlwassertemperaturen (27.5 °C) trat die Instabilität verlässlich bei Strahlströmen zwischen 27 und 33 mA auf. Ab Kühlwassertemperaturen von 32 °C verschob sich die Instabilitätsschwelle temperaturproportional zu höheren Strahlströmen. Bei 37 °C Kühlwassertemperatur konnte DORIS stabil mit 150 mA betrieben werden. Dieser Effekt, der weiter untersucht wird, ist noch nicht verstanden.

Der 1 GHz-Klystronsender des longitudinalen Multi-bunch Feedback für HERA-e wurde 1990 aus Restbeständen der alten PETRA-HF-Systeme aufgebaut. Während der Wartungsperiode wurde die Anlage komplett überarbeitet und auf moderne SPS-Steuerung umgestellt

Um mittelfristig das problematische Glykol aus den HF-Absorberkühlkreisen zu verbannen, wurden die mit 30-prozentigem Glykol-Wassergemisch funktionierenden alten koaxialen Absorber der Senderanlagen HERA-WR und -WL gegen neue und leistungsfähigere Ferrit-Hohlleiter-Absorber während der Wartungsperiode ausgetauscht. Bei diesen neuen Ab-

sorbern wird die HF-Leistung von wassergekühlten Ferrit-Kacheln und nicht, wie bisher, direkt von dem Glykol-Wassergemisch absorbiert. Aufgrund der Entkopplung von Absorbermedium und Kühlmittel besteht bei Absorbern dieser Bauart nicht mehr die Gefahr, dass Glykol-Wasser durch einen Fensterbruch in das Hohlleitersystem läuft. An den beiden genannten Senderanlagen wurden insgesamt fünf 400 kW- und ein 100 kW-Absorber installiert

Eine erneute Bestandsaufnahme bei den koaxialen 100 kW Balance-Absorbern der Hohlleiter-Systeme HERA und PETRA zeigte, dass bereits etwa ein Drittel der rund 120 Absorber mehr oder weniger starke Wasserlecks aufwies. Das Glykol-Wasser hatte offenbar im Laufe von 10–15 Jahren den etwa 1 mm starken Kupferaußenmantel der keramischen Fenster mit feinen Poren durchsetzt, so dass sich bei einigen hPa Wasserdruck auf der Außenseite Wasserperlen bildeten (Abb. 117). Deshalb wurden über 40% dieser Koaxial-Absorber ausgetauscht. Auch die Reservebestände sind mittlerweile durch Lieferung einiger der bestellten Ersatz-Absorber wieder aufgefüllt.

Die ersten beiden 800 kW Marconi-Klystrons vom Typ K-3480-YA (kompatibel zu Philips YK-1304) wurden 1999 geliefert. Eine der Röhren konnte nach erhebli-

chen anfänglichen Schwierigkeiten für ungefähr 1300 Stunden betrieben werden, musste dann aber wegen überhöhter Temperatur des HF-Auskoppelfensters und wegen schlechten Vakuums an den Hersteller zurückgesandt werden. Das zweite Klystron dieses Typs läuft seit Anbeginn problemlos und hatte im November 5000 Hochspannungs-Betriebsstunden erreicht.

Supraleitende Beschleunigungsstrecken – MHF-sl –

Neben den normalleitenden Beschleunigungsstrecken aus Kupfer werden auch supraleitende Resonatoren im HERA-Elektronenring betrieben. Hierbei handelt es sich um 16 500 MHz-Resonatoren, die aus jeweils vier Zellen bestehen. Sie sind aus dem Metall Niob gefertigt, welches bei 9.2 K supraleitend wird. Die Betriebstemperatur des supraleitenden Resonators ist 4.2 K, die Temperatur flüssigen Heliums bei normalem atmosphärischem Druck. Eine detaillierte Beschreibung der supraleitenden Beschleunigungsstrecke ist in den früheren Jahresberichten gegeben worden.

Im Berichtsjahr sind während der längeren Wartungsperiode Verbesserungen an der Versorgung der Kryostate mit flüssigem Helium vorgenommen worden. Zum einen wurden an allen „kalten“ Verbindungsleitungen zu den Kryostaten Absperrventile eingebaut, so dass ein eventuell notwendiger Austausch dieser Leitungen ohne Aufwärmen der Kryostate erfolgen kann. Weiterhin wurden alle elektrischen Isolierungen an den Einkopplern durch solche mit höherer Durchschlagsfestigkeit ersetzt. Die Einkoppler werden mit einer Gleichspannung von 3 kV des Innenleiters gegen den Außenleiter betrieben. Es hat sich erwiesen, dass hierdurch Hochfrequenz-Überschläge, die durch „Multipacting“ initiiert werden, verhindert werden können. Dieser Mechanismus ist in den Jahresberichten 1996 und 1999 ausführlich beschrieben.

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

- Messungen an supraleitenden Resonatoren:
„Vertikale Tests“ im Badkryostaten als Eingangskontrolle der extern gefertigten 9-zelligen Resonatoren. Hier konnte die Prüfung aller 24 Resonatoren

aus der letzten Produktion mit mittleren Feldstärken von über 25 MV/m abgeschlossen werden.

- Tests der Einkoppler für supraleitende Resonatoren:
20 Einkoppler der dritten Serie wurden fertig gestellt und im Leistungstest überprüft. Diese Koppler werden benötigt zur Ausrüstung der letzten zwei Kryostate für den TTF-FEL LINAC.

- Fertigstellung der Infrastruktur zum Test von ein- bis dreizelligen Resonatoren:

Die Ende 1998 beschlossene Errichtung einer weiteren Präparations- und Testinfrastruktur für ein- bis dreizellige Resonatoren in der PETRA Halle NO wurde im Laufe des Jahres 2001 weitgehend abgeschlossen. Zum Ende des Jahres konnte erstmalig flüssiges Helium in den vertikalen Badkryostaten gefüllt, der Testeinsatz vorläufig fertig gestellt und ein kryogener Testbetrieb aufgenommen werden. Im Reinraum mit der Reinraumklasse 100 wurden routinemäßig zahlreiche einzellige Resonatoren erfolgreich mit der neu entstandenen Hochdruckspülvorrichtung gereinigt und für den Hochfrequenztest vorbereitet. Ziel dieser Einrichtung ist es, grundlegende Untersuchungen an supraleitenden Resonatoren durchzuführen, die aus Zeitmangel nicht in der Installation zur Behandlung und zum Test der 9-zelligen Resonatoren erbracht werden können.

- 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. Der wesentliche Vorteil besteht in der Reduzierung der (teuren) Einkoppler und der Verkürzung der Gesamtlänge. Nach Abschluss erfolgreicher Simulationen und Messungen an Kupfer-Prototypen (siehe Jahresbericht 2000, Seite 215) wurden sechs 7-zellige Niob-Resonatoren hergestellt und im supraleitenden Zustand gemessen. Aus Vereinfachungsgründen wurden bei diesen Prototypen zunächst Flansche an den Verbindungsstellen vorgesehen. Die entsprechenden Dichtungen zeigten allerdings hohe Verluste und bedingten ein längeres Versuchsprogramm, bis befriedigende Feldstärken von rund 19 MV/m gemessen werden konnten. Jeweils zwei dieser Resonatoren wurden danach zu einer Einheit verschweißt und befinden sich derzeit in der Vorbereitung eines Strahltestes

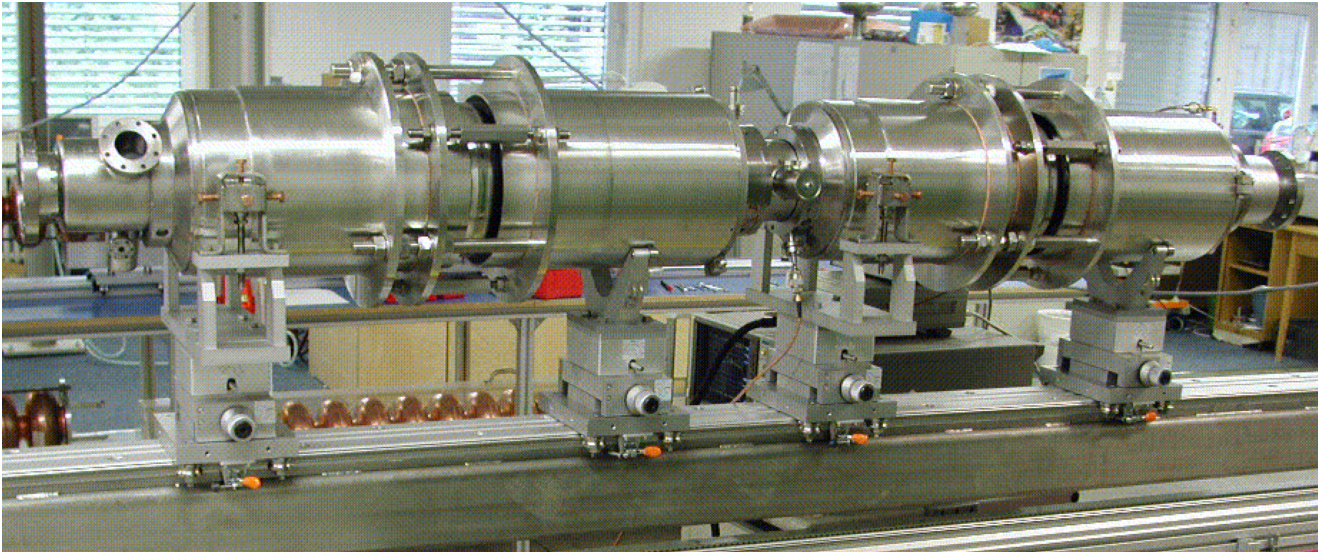


Abbildung 118: 2×7 -zellige Niob-Struktur („Superstruktur“) auf der Montageschiene. Die Resonatoren sind in die Titan-Zylinder eingeschweißt, die später das Reservoir für das flüssige Helium bilden. In der Mitte dieser Behälter befindet sich die mechanische Einheit zum Abstimmen der Resonanzfrequenz.

im TTF-LINAC im Sommer 2002 (Abb. 118 und 119).

- Mechanische Reinigung von Niob-Resonatoren:
Derzeit werden die Resonatoren durch chemisches oder elektro-chemisches Beizen von etwa $150\text{ }\mu\text{m}$ gereinigt. Frühere Versuche an 500 MHz-Resonatoren mit der Anwendung von lokalem

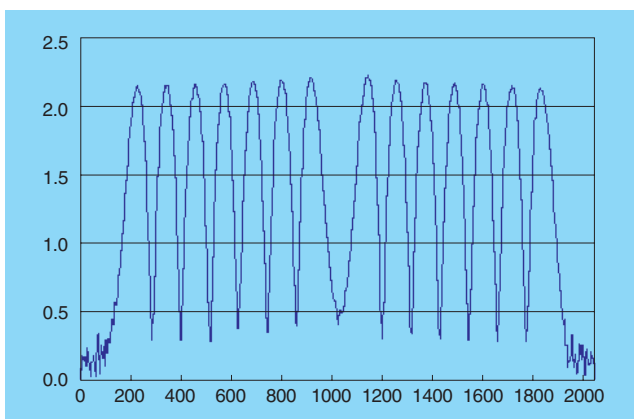


Abbildung 119: Anregung der Beschleunigungsfelder in der 2×7 -zelligen „Superstruktur“. Die gleichmäßige Feldstärke in den einzelnen Zellen konnte nach nur zwei Schritten einer Abstimmungsprozedur erreicht werden.

mechanischem Schleifen und nachfolgender chemischer Beizung zeigten ermutigende Resultate in Bezug auf die Supraleitung. Entsprechende Versuche wurden aufgenommen, dieses Verfahren global bei den 9-zelligen Niob-Resonatoren in TTF anzuwenden. Es wurde eine Apparatur entwickelt, die unter Anwendung von Fliehkraft einen hinreichenden Druck der Schleifkörper auf die Niob-Oberfläche erzeugt, so dass ein Abtrag von etwa $100\text{ }\mu\text{m}$ in wenigen Stunden erreicht wird. Als positive Nebenwirkung werden hierbei die Schweißnähte auf der Innenseite der Resonatoren geglättet. Die ersten zwei Test-Einzeller zeigten bereits Feldstärken von 28 MV/m , obwohl nur $40\text{ }\mu\text{m}$ chemische Abtragung nach der Schleifbehandlung erfolgt waren. Weitere Tests mit mehrzelligen Resonatoren sind für das Jahr 2002 geplant.

- Software- und Hardware-Entwicklung zur Messwerterfassung und -Auswertung:
Zur Messung supraleitender Resonatoren ist in den letzten Jahren eine Vielzahl von Messprogrammen und Hardware Konfigurationen erstellt worden. Viele dieser Programme wurden unter Labview erstellt. Im Rahmen einer Modernisierung wurde begonnen, diese Installationen auf das Linux-

Betriebssystem umzustellen. Für Messaufbauten nach dem SCXI System wurde entsprechende Treibersoftware für die neue Systemumgebung entwickelt. Durch diese Umstellung ist das TTF-Cavity Testsystem vereinheitlicht worden, und es ist sichergestellt, dass eine Nutzung des von der Gruppe MVP erprobten DOOCS Systems gewährleistet ist.

Anlagen zur Beschleunigung von Protonen – MHF-p –

Die Gruppe MHF-p ist verantwortlich für die Hochfrequenzsysteme zur Protonenbeschleunigung in den Ringbeschleunigern DESY III, PETRA und HERA, für die Entwicklungsarbeiten der HF-Systeme für den vorgeschlagenen Linear-Collider TESLA und die HF-Systeme der TESLA Test Facility (TTF).

Während der HERA-Wartungsperiode wurden an den HF-Systemen der Protonenringbeschleuniger verschiedene Modifikationen vorgenommen. Bei HERA wurden vier HF-Schalter und vier Phasensteller-Einheiten eingebaut, die es ermöglichen, die Ansteuerungsleistung der vier 208 MHz Resonatoren unabhängig voneinander ein- oder auszuschalten bzw. gegenphasig zu betreiben. Die 208 MHz Hochfrequenz-Regelungseinheiten wurden mit SMA Festmantelkabeln anstelle einfacher BNC Kabel vollständig neu verkabelt, und die Front End Computer wurden von DOS auf Linux umgestellt. Die 52 MHz-Systeme erhielten HF-Detektoren zur Messung der HF-Spannung in den Resonatoren. Sowohl bei den 208 MHz- als auch bei den 52 MHz-Systemen wurden Frequenzzähler installiert, um in Zukunft die Frequenzen während des Betriebes besser überwachen zu können. Aufbau und Inbetriebnahme der Transientenrekorder konnten erfolgreich abgeschlossen werden.

Die Arbeiten an PETRA waren weniger umfangreich. Durch eine Modifikation der HOM-Dämpfer der 52 MHz-Resonatoren ist es nun möglich, die dort induzierten Spannungen zu messen und die Temperaturen der Dämpfer rechnergestützt zu überwachen.

Bei DESY III wurde ein neuer Resonator eingebaut und in Betrieb genommen (Abb. 113). Nach der Inbetriebnahme- und Konditionierungsphase, in der noch einmal Keramikstützen im Resonator entfernt werden mussten, arbeitete der Resonator der Spezifikation

entsprechend und ermöglicht nun die Beschleunigung von Protonenströmen von mehr als 215 mA bei einer HF-Spannung von 20 kV. Der ausgetauschte Resonator steht weiterhin als Ersatz zur Verfügung.

Der Anlauf aller Systeme zur Protonenbeschleunigung nach der Wartungsperiode gestaltete sich weitgehend problemlos. Zu berichten sind lediglich der Austausch einiger ausgefallener kleinerer Komponenten, wie beispielsweise Netzteile und Vorverstärker, sowie als größte Maßnahme der Austausch jeweils einer 52 MHz und einer 208 MHz Hochleistungstetrode bei HERA.

Das andere Hauptarbeitsgebiet umfasst die Hochfrequenzsysteme für TESLA bzw. für TTF. Dazu gehören Hochspannungspulsgeneratoren, so genannte Modulatoren, Klystrons, Hohlleiterverteilungen und die Hochfrequenzregelung.

Für den „Technical Design Report“ des TESLA Linear-Colliders, der im März 2001 vorgelegt wurde, wurden umfangreiche Arbeiten zur technischen Auslegung und zur Kostenermittlung geleistet. Viele Entwicklungsarbeiten wurden weitergeführt. Zusätzlich wurde der Betrieb der TTF-Hochfrequenzsysteme betreut und mit Arbeiten zur Erweiterung von TTF begonnen.

Wie bereits im Vorjahr berichtet, konnte der Prototyp eines 10 MW Multibeam Klystrons bei TTF erfolgreich getestet werden. Er erreichte eine Ausgangsleistung von 10 MW bei einer Pulslänge von 1.5 ms. Die dafür benötigte Hochspannung betrug 117 kV bei einem Strom von 131 A. Somit lag die Effizienz bei 65%. Bis zum Mai 2001 wurde dieser Prototyp für den TTF-Betrieb eingesetzt.

Im Dezember 2000 konnte das erste Serienexemplar des Multibeam Klystrons beim Hersteller Thales Electron Devices fertig gestellt und getestet werden. Im Mai 2001 wurde es bei DESY einem Akzeptanztest unterzogen und anstelle des Prototyps bei TTF installiert. Im Laufe des Jahres wurde ein zweites Serien-Multibeam Klystron fertig gestellt und im Herstellerwerk der Werksabnahme unterzogen. Es soll zu Beginn des nächsten Jahres bei DESY betrieben werden.

Die Installation und Inbetriebnahme eines ersten Hochspannungspulsgenerators für die geplante Erweiterung von TTF wurde fortgesetzt. Seine unterschiedlichen Untereinheiten wurden nach DESY-Vorgaben

von Industriefirmen gefertigt und zum Teil von diesen auch weiterentwickelt. Hervorzuheben sind der neue Hochspannungs-Halbleiterschalter 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 ansonsten mit der Betriebsfolgefrequenz des Modulators von 10 Hz auf das Hauptnetz einwirken würden. Nach dem erfolgreichen Abschluss der Inbetriebnahme mit einem 5 MW Singlebeam Klystron ist nun die Installation eines 10 MW Multibeam Klystrons vorgesehen. Mit der Installation der ersten Komponenten eines weiteren Hochspannungspulsgenerators gleichen Typs, ebenfalls zur Erweiterung von TTF, wurde bereits begonnen.

Die Hochfrequenzregelung der TTF, die für die Regelung der Vektorsumme von 24 supraleitenden Resonatoren ausgelegt ist und zur Zeit die installierten 16 Resonatoren ansteuert, wurde mehrere Monate lang mit Strahlbetrieb betrieben 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 acht Resonatoren stabilisiert wird.

Eine wesentliche Verbesserung der Bedienungsfriendlichkeit der HF-Regelungen wurde durch Erweiterung der Zustandssteuerung erreicht, die auch inzwischen für die HF-Kanone zur Verfügung steht. Wesentliche Elemente dieser Steuerung sind die Automatisierung der Inbetriebnahme der HF, des Wiedereinschaltens nach Abschaltung durch Fehler, Einstellung der Schleifenphase und einer adaptiven Voraussteuerung. Diese wurde durch die Implementierung zusätzlicher Ausnahmeprozeduren („Exception Handling“) wesentlich robuster und kann inzwischen routinemäßig während des Strahlbetriebs eingesetzt werden. Die Arbeitsbelastung der Bedienungsmannschaft konnte durch diese Automatisierung erheblich verringert werden.

Eine 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,

welcher in den Motor-gesteuerten mechanischen Frequenzsteller integriert ist und eine Reaktionszeit von weniger als 100 μ s besitzt. In Verbindung mit einer adaptiven Vorraussteuerung konnten Frequenzänderungen von etwa 300 Hz auf weniger als 30 Hz unterdrückt werden.

In der Entwicklungsphase befindet sich eine „state-of-the-art“ digitale Regelung, basierend auf dem C67 DSP von Texas Instruments, der aufgrund seiner etwa zehnfach höheren Leistungsfähigkeit die Hardware vereinfacht und die Implementierung wesentlich komplexerer Algorithmen erlaubt. Erfolgreich getestet wurde ein „Gigalink“ Interface zu dem neuen 10 MHz ADC Board, welches den Datentransfer von 32 ADC Kanälen in weniger als 600 ns gewährleistet.

Eine neue Version von Frequenzumsetzern, basierend auf Analog Multiplizierern (RF2411), wurde im TTF-Beschleuniger installiert. Die Haupteigenschaften sind geringer Offset, geringe LO-Leistung und geringere Konversionsverluste.

Weitere Entwicklungen im Bereich der HF-Regelung betreffen die Motorisierung der Waveguide Tuner, Einzelbunch-Transientenmessung und eine Verbesserung der Regelung der HF-Kanone durch individuelle Kreise für Amplitude und Phase sowie eine präzise Verstimmungsmessung, die für die Regelung der Wassertemperatur eingesetzt werden kann.

Ein Großteil der verschiedenen zum Ausbau von TTF benötigten HF-Komponenten, wie Hohlleiterkomponenten, Zirkulatoren oder Verstärker, wurden von Industriefirmen geliefert und konnten getestet werden. Hervorzuheben ist hierbei ein 1.3 GHz 5 MW Hochleistungsisolator. Zusätzlich wurden die DESY Entwicklungsarbeiten auf dem Gebiet der Hohlleiterkomponenten vorangetrieben, so wurden beispielsweise neue 1.3 GHz 5 MW Hochleistungs-HF-Fenster und Phasenschieber entwickelt.

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 sie Software

und betreibt ein umfangreiches Rechnernetzwerk, das überwiegend aus PCs besteht. Darüber hinaus unterhält sie ein Entwicklungs- und Servicelabor für prozessorgesteuerte Elektronik sowie für Personenschutzeinrichtungen im Rahmen des Beschleunigerstrahlenschutzes.

Neben der ständigen Pflege und weiteren Verbesserung der Rechner- und Peripherieinfrastruktur sowie der existierenden Kontrollprogramme hatte im Berichtsjahr die Arbeit der Software-Teilgruppe mehrere Schwerpunkte:

Die im vergangenen Jahr begonnene Umstellung des Kontrollsystems von PETRA auf Windows NT wurde abgeschlossen. Das Kontrollsystem wurde im Frühjahr wieder erfolgreich in Betrieb genommen und in den Routinebetrieb überführt. Diese Systemumstellung folgte einem Konzept, das einerseits bewährte Elemente beibehielt, aber auch andererseits neue Techniken zum Einsatz kommen ließ, die bereits für das HERA-Kontrollsystem entwickelt worden waren.

Der Umbau der HERA-Wechselwirkungszonen mit dem Ziel, die Luminosität von HERA zu vervielfachen, hatte auch starke Auswirkungen auf das HERA-Kontrollsystem. Neue Steuerungs- und Bedienungsprogramme mussten geschrieben oder eingebunden werden. Diese erlauben es, die Lage des Strahls in Bezug auf die Magnete im Bereich der Wechselwirkungszonen bei H1 und ZEUS zu messen, zu analysieren und zu korrigieren. Ferner mussten neue Komponenten, zum Beispiel zur Strahlkontrolle und Strahldiagnose, in das Kontrollsystem integriert werden. Darüber hinaus wurde die mehrmonatige Betriebsunterbrechung zum Anlass genommen, das HERA-Kontrollsystem in Hinblick auf die Kommunikation zwischen den Kontrollrechnern durch die ausschließliche Benutzung des TINE-Protokolls („Threefold Integrated Network Environment“) zu vereinheitlichen, an einigen Stellen Betriebssystem-Upgrades (Windows NT, Linux) vorzunehmen sowie die Administration der verteilten Kontrollrechner den neuen Gegebenheiten anzupassen. Nach der Wiederinbetriebnahme von HERA wurde das Hauptaugenmerk darauf gelegt, die Physiker und Operateure im Kontrollraum mit Programmen oder Programmpaketen zu unterstützen, die verbesserte Optimierungs- und Messmöglichkeiten bieten.

Zum Jahresende hin wurde mit der Umstellung der Kontrollsysteme der Vorbeschleuniger und von DORIS

auf Windows NT begonnen. Die Umstellung des Kontrollsystems von DESY III konnte im Rahmen der Erneuerung der DESY III Magnet- und Hochfrequenzkontrollen bereits im Berichtsjahr fertig gestellt werden.

Die rasante Entwicklung der Netzwerktechnologie machte es notwendig, das teilweise stark veraltete und unübersichtliche Ethernet-Netzwerk durch eine strukturierte Verkabelung mit modernen Netzwerkkomponenten zu ersetzen. Diese Maßnahmen erlauben es, in Zukunft eng mit der zentralen IT-Netzwerkgruppe zusammenzuarbeiten und zentrale Infrastrukturkomponenten mitbenutzen zu können.

Neben den Arbeiten an den existierenden Beschleunigerkontrollsystemen wurde im Berichtsjahr mit Projektstudien begonnen, deren Ziel es ist, Erfahrungen auf dem Gebiet plattformunabhängiger bzw. Web-fähiger Kontrollsysteme sowie sprachenneutraler Software zu sammeln. In Zusammenarbeit mit dem Jozef Stefan Institut (Slowenien) wurde das HERA-Kontrollsystemprotokoll TINE als so genannte JAVA Bean implementiert und in einigen JAVA-Beispielanwendungen verwendet. Zusammen mit dem IHEP Protvino (Russland) wurden Wizards und Softwaregeneratoren für Server- und Clientanwendungen geschrieben, die sich mittels XML und davon abgeleiteter Standards definieren lassen.

Darüber hinaus wurde die seit mehreren Jahren existierende Zusammenarbeit mit KEK (Japan) fortgesetzt und Software für die Photoinjektor Test Facility (PITZ) bei DESY Zeuthen zur Verfügung gestellt.

Prozessorgesteuerte Elektronik kommt im Bereich der Beschleunigerkontrollen in großer Stückzahl zum Einsatz. So mussten im Berichtsjahr über dreitausend Controller gewartet und gegebenenfalls repariert werden. Aufgrund von Alterungserscheinungen erwies es sich als notwendig, elektronische Bauteile in mehreren hundert Netzteilen vorsorglich zu tauschen.

Für das Projekt zur Erhöhung der Luminosität bei HERA wurden fast 200 neue Netzgerätecontroller gebaut und in Betrieb genommen. Alle Netzgerätecontroller, die bei HERA zum Einsatz kommen, wurden mit einer neuen Software versehen. Bei DORIS wurden Netzgerätecontroller für die neue vertikale Strahllageregelung bereitgestellt. Darüber hinaus entstand eine Reihe von Spezialcontrollern, zum Beispiel

für die Frequenzsteuerung bei PETRA, bzw. Steuerkomponenten wie eine 18 Bit Istwerterfassung.

In Zusammenarbeit mit der Gruppe MKK begann die Entwicklung eines neuartigen Netzgerätekontrollers, der die Steuerfunktionen und eine vollständig digitale Regelung vereint. Es ist vorgesehen, diesen Kontrollertyp bei TTF2 einzusetzen und auf seine Tauglichkeit für einen etwaigen Einsatz im TESLA-Tunnel zu prüfen.

Im Bereich der gesetzlich vorgeschriebenen Personenschutzanlagen an allen DESY-Beschleunigeranlagen wurden die in den vergangenen Jahren begonnenen Entwicklungsarbeiten für ein neues Interlocksystem fortgesetzt. Die Schwerpunkte lagen im Berichtsjahr im Bereich des Hochfrequenzinterlocks von TTF, beim neuen Türeninterlock sowie bei der Einbindung neuer Sprachspeicher in das Interlocksystem aller Beschleuniger.

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 Strahllage, Strahlströmen, Strahlprofilen und Strahlpolarisation auch die Messung der Strahlverluste und das Kollimieren der Strahlen, was für den Schutz der Experimente und der supraleitenden Magnete bei HERA von außerordentlicher Wichtigkeit ist.

Für die Luminositätssteigerung von HERA wurde eine Reihe von Instrumenten zur Strahldiagnose und Strahlführung entwickelt und erfolgreich in Betrieb genommen. So können die Magnetbrücken und der GO Quadrupol in ZEUS nun präzise fernsteuerbar justiert werden. Die permanente Messung der Position der Magnete auf den Magnetbrücken mittels eines Drahtmesssystems ist dabei ein sehr hilfreiches Instrument zur Beobachtung der Positionsänderung der Magnete, insbesondere der durch Bodenbewegung beim Fahren der Experimente verursachten Änderungen.

Neuartige „Finger“- und Schirm-Monitore für die Beobachtung der Synchrotronstrahlung aus den Wechsel-

wirkungspunkten wurden zu Beginn der HERA-Strahlzeit in Betrieb genommen. Die Systeme liefern sehr nützliche Informationen zur Optimierung der Luminosität in den Experimenten. Die Auslese der Schirme wird über das von IHEP entwickelte Softwarepaket zur schnellen Übertragung von digitalen Videosignalen über das Computer-Netzwerk realisiert. Das Paket wird inzwischen bei einigen Videoapplikationen bei DESY standardmäßig angewendet.

Die Inbetriebnahme der für das Projekt zur Luminositätssteigerung entwickelten neuen Kollimatoren und Verlustmonitore verlief erfolgreich. Die neuen Positionsmonitore in den Wechselwirkungszonen wurden eingehend untersucht, wobei einige Verbesserungen in der Auslese vorgenommen wurden. Damit ist nun eine zuverlässige Analyse der Strahllage in den Experimenten möglich. Für die Luminositätssteigerung wurden umfangreiche Erweiterungen in dem Datenübertragungssystem SEDAC, in dem Pilotthermsystem und in der Verkabelung vorgenommen.

Bei den Draht-Scannern in den Elektronenbeschleunigern mussten die leitenden Kohlefäden von 7 µm Durchmesser durch nichtleitende Quarzfäden von 15 µm Durchmesser ersetzt werden, um die Zerstörung der Fäden durch die elektromagnetischen Wechselfelder der Strahlpakete zu vermeiden. Erste Messungen von Elektronenstrahlprofilen mit den neuen Drähten verliefen erfolgreich.

Die Strahl-Instrumentierung in den Vorbeschleunigern wurde weiter ergänzt. Für PETRA wurde zusammen mit Mitarbeitern vom HASYLAB eine präzise und schnelle Nebenbunchmessung mit einer Auflösung von etwa 0.3 ns aufgebaut, um die Besetzung der HF-Buckets in weniger als einer Minute auf $< 10^{-6}$ zu bestimmen. Ein weiterer Aufbau ist für DORIS geplant. Am LINAC III wurde ein neuer Strahlstrommonitor zur Analyse des Stroms aus der neuen HF-Quelle eingebaut und in Betrieb genommen. Ein weiterer Strommonitor für die Magnetron-Quelle ist einbaufertig.

Bei TTF wurden zahlreiche Experimente zur Verbesserung der Strahlstrom-Messung durchgeführt. Ein von der Gruppe MDI entwickelter schneller (Bunch-) Strommonitor für TTF2 wurde erfolgreich in TTF getestet. Der Monitor erlaubt wegen seiner schnellen Signale einen Messbetrieb bis zu 10 MHz. Er ist durch

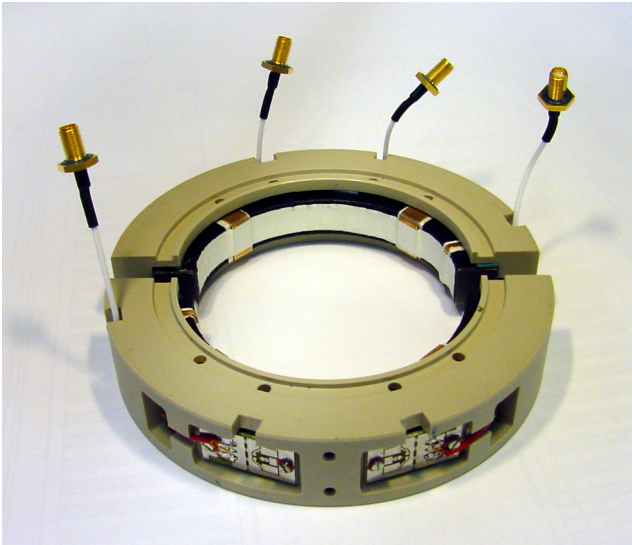


Abbildung 120: Schneller und teilbarer Bunchstrommonitor für TTF/TTF2.

seine Teilbarkeit ohne Öffnen des Vakuumsystems ein- und ausbaubar (Abb. 120).

Die Online-Dosimetrie mit Hilfe von Lichtwellenleitern (LWL) wurde in Zusammenarbeit mit dem Hahn-Meitner-Institut in Berlin und dem Fraunhofer-Institut in Euskirchen weiter verbessert. Die Messung mit LWL entlang TTF wurde in das Kontrollsystem integriert. Eine neue Messmethode mit gewickelten LWLs erlaubt eine schnelle und empfindliche Online-Messung der Ortsdosis an definierten Positionen. Es wurden einige Messspulen im FEL Undulator installiert und erste Daten aufgenommen (Abb. 121).

Für TTF2 wurden wichtige Projekte zur Instrumentierung des Beschleunigers in Angriff genommen. Dazu zählen die Messungen der Strahlage (Abb. 122), des Strahlstromes, der Strahlphase, der Strahlemittanz und der Strahlverluste sowie ein schnelles Strahlinterlock-System. Einige der Projekte werden in Kollaborationen mit anderen DESY-Gruppen sowie mit in- und ausländischen Instituten bearbeitet.

Der ständige Ausbau, die Wartung und die Dokumentation der Lichtleiter-, Koaxial- und Steuerkabelnetze in allen Beschleunigeranlagen wurde von der Gruppe MDI in Zusammenarbeit mit externen Firmen zuver-

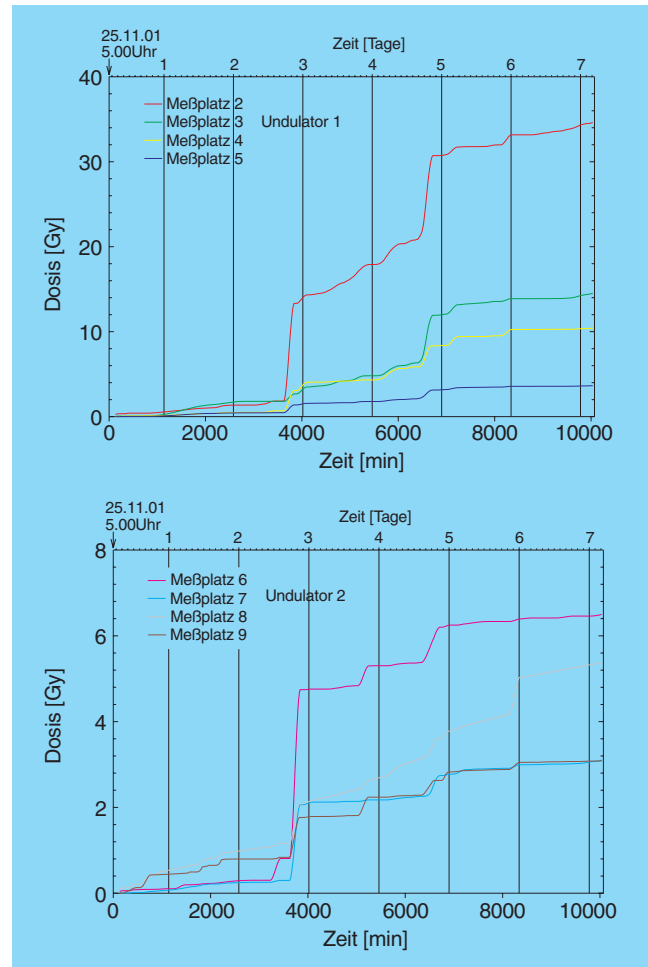


Abbildung 121: Ortsdosis an unterschiedlichen Messpositionen im Undulator 1 (oben) und Undulator 2 (unten), online gemessen mit gewickelten LWL-Sensoren. Die Kurven wurden in der 48. Kalenderwoche während TTF-Strahlbetrieb aufgenommen.

lässig weitergeführt. Für TTF2 sind die erforderlichen Arbeiten an den Kabelnetzen, dem Pilotthermsystem und den Elektronikschränken angelaufen.

Die Entwicklung und der Service von Spezialmonitoren wurden von der Gruppe MDI weitergeführt. So wird zur Zeit ein hochempfindlicher kryogener Strommonitor entwickelt. Dieser soll eine präzise und absolute Messung der Dunkelströme aus den supraleitenden Resonatoren und Modulen in den Testständen gewährleisten. Diese Entwicklung findet in Kollabo-

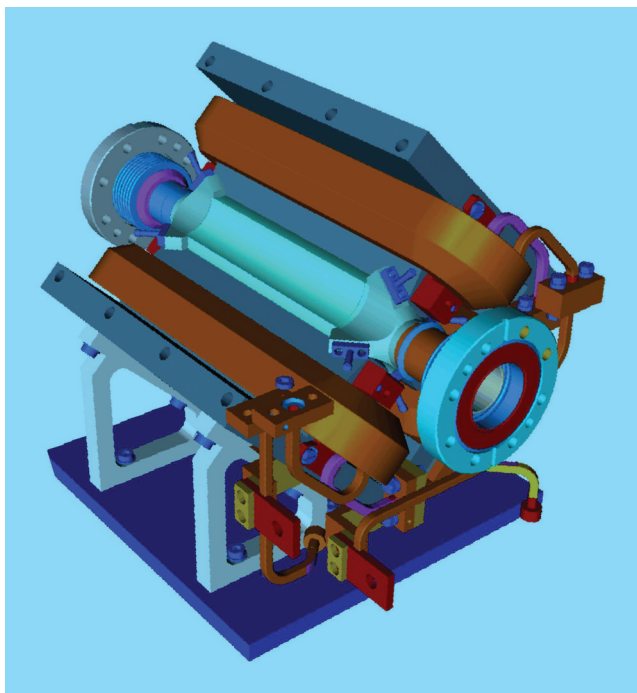


Abbildung 122: Stripline-Strahlpositionsmonitor für TTF2, fest verbunden mit einem Quadrupol. Diese Konstruktion erleichtert wesentlich das Positionieren des Strahls im Zentrum des Magneten.

rationen mit der Universität Jena und der GSI Darmstadt statt. Weiterhin wurde die Fertigung spezieller Leuchtschirme nach Anwenderspezifikation betrieben. So wurden unter anderem besondere Anfertigungen für IHEP (Titanfolien), HASYLAB und PITZ realisiert. Für den geplanten Aufbau eines Laser-Wire-Scanners bei PETRA wurden eingehende Studien für einen Detektor aus PbWO_4 -Kristallen betrieben und erste Installationskonzepte für den Laser erarbeitet. In Zusammenarbeit mit IHEP entsteht ein neuartiger Monitor zur Beobachtung von Strahlprofil-Injektionsschwingungen in HERA-p, basierend auf einem OTR-Schirm und einer umlaufsynchronen Signalauslese. Die Entwicklungsarbeiten und erste Untersuchungen wurden in Protvino vorgenommen. Bei der Messung von strahlangeregten Dipolschwingungen („Higher Order Modes“ HOM) an den TTF-Resonatoren wurde der Messaufbau an den HOM-Kopplern aufgebaut und betreut. Als Messgeräte dienten fernsteuerbare Mikrowellen-Koaxialrelais und ein Spektrumanalysator, welche halbautomatisch per Rechnerprogramm gefahren wurden.

Strahlkontrollen – MSK –

Die Gruppe MSK ist zuständig für spezielle Kontroll- und Instrumentierungsaufgaben im Zusammenhang mit der Strahldynamik in HERA und den Vorbeschleunigern sowie für die TESLA Test Facility TTF; dazu gehören die folgenden Aufgabenschwerpunkte:

- Transfersteuerung und Synchronisation bei der 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:

- Umstellung der Übertragungsstrecken für das HERA-Timingsystem auf Glasfaser (LWL). Dadurch wird der Einfluss von Störungen und Potentialschwankungen im Netz auf die Elektronik vermindert.
- Test und Weiterentwicklung des Layout eines neuen Triggergenerators für den LINAC II als VME-Modul.
- Weiterentwicklung der Temperaturkompensation für die 500 MHz HF-Übertragung zu den HERA-Senderhallen. Hierzu waren umfangreiche Abgleicharbeiten nötig.
- Untersuchungen zur Verbesserung der zeitlichen Reproduzierbarkeit der Protonenbunche relativ zum Markersystem bei HERA.
- Implementierung und Beginn der Inbetriebnahme der Hardware für die neue HERA-p Transfersteuerung. Die Software entsteht in enger Anlehnung an die HERA-e Transfersteuerung, die ihre Bewährungsphase abgeschlossen hat.
- Untersuchung der spektralen Reinheit der HF für die Protonenbeschleunigung im Rahmen der „Coasting

Beam“ Problematik in HERA in Zusammenarbeit mit dem IHP (Moskau).

- Erweiterung und Verbesserung der Feedbacksysteme durch Softwareerweiterung und Entwicklung von digitalen Filtern zur Trennung von longitudinalen und transversalen Signalanteilen.
- Weitere Optimierung der Schwingungsdetektoren der Feedbacksysteme hinsichtlich ihrer Auflösung, und Vervollständigung des Bestands an Ersatzgeräten.
- Entwicklung des Prototyps einer neuen Arbeitspunktmessung für DORIS. Dazu werden die Signale des Multibunch-Feedback spektral analysiert und die Q-Werte im BKR dargestellt.
- Weiterentwicklung der Strahllageregelung (schnelles Feedback) für TTF.
- Entwicklung eines Phasendetektors zur Messung der Flugzeit der Bunche in TTF unter dem Einfluss des Bunchkompressors. Die Bunchphase kann relativ zur HF-Referenz von Puls zu Puls mit einer Auflösung von weniger als 1 ps gemessen werden.
- Anpassung der Magnetstrom- und Frequenzkontrolle für DESY III an die Standards der HERA-Kontrollen. Dazu wurde ein Interface zwischen der Bedienkonsole und den I/O CPUs auf der Basis von TINE-Protokollen erstellt. Außerdem wurden die CPUs für Dipol, Quadrupol und HF auf das Betriebssystem VxWorks umgestellt.
- Inbetriebnahme einer Fernsteuerung der DESY III-Dipol- und Quadrupol-Netzgeräte aus dem BKR, außerdem Einrichtung einer neuen Übertragung der analogen Soll- und Istwerte der Magnetströme für die Darstellung im BKR.
- Erstellung einer DESY-Webseite für die Gruppe MSK.

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 weiterzuentwickeln 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.

Durch den Einbau neuer supraleitender Magnete mit einer eigenen Quenchüberwachungselektronik in den Wechselwirkungszone von H1 und ZEUS im Rahmen des HERA-Projektes zur Erhöhung der Luminosität hat sich das Aufgabengebiet der Projektgruppe im Berichtsjahr erweitert. Die im Vorjahr begonnene Entwicklung der benötigten Elektronik wurde abgeschlossen und die bei Messungen auf dem Magnetteststand gewonnenen Erfahrungen in den Entwurf der Elektronik eingearbeitet. Trotzdem erwies sich, wie erwartet, die Inbetriebnahme der neuen Quenchüberwachungselektronik im Bereich H1 und ZEUS als schwierig, da aus magnetbaulichen Gründen das störungsunempfindliche Messbrückenprinzip der HERA-p Hauptmagnete nicht angewendet werden konnte. Durch intensive Zusammenarbeit mit anderen M-Bereichsgruppen wurde das komplexe System, bestehend aus Magnetspule, Kältesystem, Netzgerät, Quenchüberwachung und Kontrollsystem, so weit optimiert, dass ein reibungsloser Routinebetrieb möglich wurde.

Die Quenchüberwachungselektronik der HERA-p Hauptmagnete war vom Umbau der Wechselwirkungszone nicht betroffen. Ihre Wiederinbetriebnahme nach der mehrmonatigen Betriebsunterbrechung von HERA war problemlos. Die durch den Einbau zusätzlicher Strahlverlustdetektoren notwendig gewordenen Modifikationen am ringweiten Alarmsystem des Quenchüberwachungssystems hatten jedoch unerwartete Störungen des Alarmsystems zur Folge. Diese konnten nach einer umfangreichen Fehlersuche beseitigt werden.

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.

HERA-Umbau und Betreuung laufender Beschleuniger

Im Jahre 2001 wurden die Arbeiten am Vorhaben HERA Luminositätsupgrade, welches für die Gruppe MVA in den letzten drei Jahren ein Hauptprojekt war, beendet. Etwa 400 m neu konstruierte Strahlröhren wurden bis zum Sommer in den neu konfigurierten Wechselwirkungszonen installiert. Kritische Elemente waren dabei dünnwandige Edelstahlkammern mit Außenverkupferung zur Verbesserung der Wärmeleitung sowie Hochleistungsabsorber für Synchrotronstrahlung. Erstmals kamen bei HERA integrierte NEG-Pumpen zum Einsatz, die auf einem speziellen NEG-Material basieren, das bereits bei 400°C aktivierbar ist. Der Einsatz des bei HERA verwendeten Standardmaterials mit einer Aktivierungstemperatur von 800°C war wegen zu großer thermischer Belastung der relativ komplex aufgebauten Edelstahlkammern nicht möglich.

Weiterhin wurden Vakuumabschnitte für die neu eingebauten Spinrotatoren in den Wechselwirkungszonen Nord und Süd installiert. Die Gesamtlänge dieser Abschnitte der Elektronenmaschine beträgt ungefähr 240 m.

Bei DORIS wurden neue Triplettkammern eingebaut, die eine mechanische Entkoppelung von Quadrupolen und Kammern ermöglichen. Bei der alten Installation war es zu Orbitalabweichungen gekommen, da die thermische Verformung von Vakuumkammern zu kleinen Verschiebungen der Quadrupole führte. Im LINAC II wurden zwei bei MVA gefertigte S-Band Strukturen installiert. Die Umkonstruktion bzw. Fertigung einer neuen Elektronenkanone für den Injektorteststand PITZ in Zeuthen ist bei MVA in Arbeit.

Beiträge zu TTF2

Zwei größere Vakuumabschnitte für den TTF2 Beschleuniger werden bei MVA konstruiert und gefertigt. Es handelt sich dabei um den so genannten Bunchkompressor III mit einer flachen, etwa 25 m langen Edelstahlkammer sowie den Spektrometerarm am Ende des Beschleunigers. Weiterhin werden ein Meter lange Keramikammern als Teil von Feedbackkicks gefertigt. In einer speziell für diesen Zweck aufgebauten Magnetron-Sputtereinrichtung wird die Innenoberfläche dieser Kammern mit einer dünnen Edelstahlschicht

versehen. Diese Schicht ist dick genug, um durch den Strahl erzeugte Spiegelströme weiterzuleiten, aber gleichzeitig dünn genug, um die Durchdringung der Kickermagnetfelder mit der nötigen Bandbreite zu gewährleisten.

Ein weiteres Teilprojekt für TTF2 ist der Aufbau einer so genannten Probenbeschussanlage, die es erlauben wird, thermisch-mechanische Eigenschaften von Materialproben beim Beschuss mit einem konzentrierten Elektronenstrahl zu untersuchen. Alle Konstruktionsarbeiten im Zusammenhang mit TTF2 wurden erstmalig komplett mit dreidimensionaler CAD Software durchgeführt.

Elektronenstrahlschweißanlage

Im Herbst des Jahres wurde im Gebäude 14, der Fertigungshalle von MVA, eine neue Elektronenstrahlschweißanlage für die Fertigung von TESLA-Kavitäten in Betrieb genommen. Die neue Anlage wird von den Gruppen MVA, MKS und ZM gemeinschaftlich betrieben, wobei die Bereitstellung der Infrastruktur und die ingenieurmäßige Betreuung durch die Gruppe MVA erfolgt. Die Besonderheit der Anlage liegt in der Realisierung eines besonders niedrigen Restgasdruckes während des Schweißvorganges, was durch den Einsatz zweier Kryopumpen mit extrem hoher Saugleistung erreicht wird. Von dem im Vergleich mit herkömmlichen Schweißanlagen um etwa zwei Größenordnungen niedrigeren Arbeitsdruck verspricht man sich eine Reduktion der Verunreinigungen in den Schweißnähten und damit einen verbesserten RRR Wert des Niobs. Die ersten Arbeiten an der Schweißanlage beinhalten die Ermittlung optimaler Parameter für das Schweißen der Niob-Kavitäten sowie die systematische Untersuchung der Verunreinigungen in den Schweißnähten unter verschiedensten Bedingungen.

Entwicklungsarbeiten für TESLA

Für den Transport extrem kurzer Teilchenpakete sind glatte, gut leitende Strahlrohre essenziell, um die selbst-induzierten Felder des Strahls zu minimieren. Im Zusammenhang mit diesen Anforderungen, insbesondere des TESLA FEL, wurden bei MVA verschiedene Methoden zur Beschichtung von Edelstahlröhren mit

Kupfer untersucht. Diese Verfahren umfassen galvanische Methoden mit anschließender Wärmebehandlung, Sputtern sowie thermisches Bedampfen. Insbesondere mit den ersten beiden Verfahren wurden sehr gute Ergebnisse im Hinblick auf die Haftung der Kupferschicht und eine exzellente Leitfähigkeit, die mittels Hochfrequenzmessungen verifiziert wurde, erzielt. Es ist geplant, diese Aktivitäten auch im Hinblick auf geringe Oberflächenrauigkeit und kostengünstige Massenproduktion fortzuführen.

Untersuchungen zur Herstellung von dünnwandigen Undulatorkammern mit Innendurchmessern von wenigen Millimetern wurden begonnen. Ein weiteres Thema in diesem Zusammenhang ist die Entwicklung von effizienten induktiven Lötverfahren zur Erstellung von UHV-tauglichen Kupfer-Kupfer bzw. Kupfer-Edelstahl Verbindungen. Sehr gute Ergebnisse wurden beim direkten Anlöten von Edelstahlflanschen an Kupferkammern erzielt.

Ein weiteres wichtiges Arbeitsfeld ist die Entwicklung von Kollimatormaterialien sowohl für den Linear-Collider als auch für die FEL Facility von TESLA. In Kollaboration mit SLAC wurden im Oktober Wakefield Messungen an bei MVA gefertigten Graphit-Kollimatoren mit dem SLC-Strahl durchgeführt. Im Weiteren sind die Fertigung von Kollimatoren aus pyrolytischem Graphit, Versuche zur Beschichtung von Graphit sowie Untersuchungen von Lötverbindungen geplant.

Protonenvakuum – MVP –

Die Gruppe MVP ist für die Vakuumsysteme des Protonenrings von HERA, einschließlich der Isoliervakuumsysteme für die Heliumtransferleitung und die supraleitenden Magnete, des Protonenrings von DESY III, sowie die der TESLA Test Facility im Rahmen des Linear-Collider Projekts TESLA verantwortlich. Die Vakuumsysteme werden von der Gruppe entworfen, gebaut, betrieben und weiterentwickelt. Weiterhin ist die Gruppe maßgeblich an der Entwicklung und dem Betrieb des TTF-Kontrollsystems beteiligt.

Im Berichtsjahr bereitete der Betrieb dieser Systeme keinerlei Probleme. Die Aufgaben der Gruppe konzentrierten sich vor allem auf die im Rahmen der Luminositätssteigerung bei HERA notwendigen Umbauten

der HERA-p-Vakuumsysteme, diverse Wartungs- und Reparaturarbeiten sowie auf die Weiterentwicklung und den Ausbau der Vakuum- und Kontrollsysteme für die TESLA Test Facility (TTF) und den supraleitenden TTF-Linearbeschleuniger. Weiter wurden der Aufbau und die Inbetriebnahme von 60 weiteren, fernbedienbaren Vakuumpumpständen nahezu abgeschlossen.

HERA

Bei dem in der Wartungsperiode 2000/2001 durchgeführten Umbau der Wechselwirkungszonen Nord und Süd zur Luminositätssteigerung von HERA wurden rund 320 m des Protonenvakuumsystems modifiziert. Hierfür wurden im Berichtszeitraum die aus Kostengründen überwiegend gruppenintern durchgeführte Fertigung der neuen Vakuumkammern mit zum Teil elliptischen Strahlquerschnitten sowie die Modifikationen der weiter zu verwendenden Kammern abgeschlossen. Nach dem Aufbau der neuen Abschnitte im HERA-Tunnel wurden diese erfolgreich in Betrieb genommen.

Die beiden Synchrotronstrahlungsabsorber zum Schutz der Strahlventile nahe der Wechselwirkungszonen wurden ebenfalls fertig gestellt und eingebaut. Aufgrund der deutlich höheren Wärmelast an diesen Positionen war eine Neukonstruktion von wassergekühlten Absorbern erforderlich, wobei die zur Verfügung stehende Einbaulänge äußerst knapp bemessen ist.

Für die neuen supraleitenden Magnete GG und GO, die sich innerhalb der beiden Detektoren von H1 und ZEUS befinden, wurden die Isoliervakuumsysteme aufgebaut und in Betrieb genommen.

In der Wartungsperiode wurden umfangreiche Wartungs- und Reparaturarbeiten am Isoliervakuumsystem zur Beseitigung von Lecks sowie an den Pumpen, Vakuumschiebern, Messröhren und elektronischen Komponenten durchgeführt. Ebenso wurden einige Modifikationen zum Einbau weiterer Diagnoseelemente sowie der Spinrotoren im Norden und Süden ausgeführt.

Die komplette Umstellung des elf Jahre alten Vakuumkontrollsystems des HERA-p-Ringes auf das bei TTF verwendete DOOCS (Data Object Oriented Control System) wurde Anfang 2001 erfolgreich und nahezu reibungslos durchgeführt. Das bisherige System

lief zwar überaus zuverlässig, war aber an vielen Stellen am Rande seiner Leistungsfähigkeit angekommen, und Erweiterungen waren daher nur begrenzt möglich. Durch die Umstellung konnten zum einen die im Rahmen der Luminositätserhöhung neu hinzugekommenen Vakuumkomponenten problemlos integriert werden, zum anderen ergaben sich für die Bedienung der Kontrollprogramme eine Reihe von neuen und nützlichen Hilfsmitteln, die sich beim Betrieb des TTF-Linearbeschleunigers bereits bewährt haben. Ein weiterer Vorteil ist, dass in Zukunft von der Gruppe nur noch ein Kontrollsystem betreut werden muss.

DESY III

Die Wiederinbetriebnahme des Vakuumsystems bei DESY III nach dem Einbau des neuen Protonenresonators in der Wartungsperiode 2000 verlief reibungslos und bereitete für den Protonenbetrieb im Berichtszeitraum keinerlei Probleme.

Vakuumsysteme für neue Linearbeschleuniger (TTF und TESLA)

Im Rahmen der Entwicklungsarbeiten für den neuen Linear-Collider TESLA wurden an den Vakuumsystemen für den Testbetrieb der supraleitenden Resonatoren diverse Verbesserungen und Erweiterungen vorgenommen, um die Abläufe weiter zu optimieren.

Beim Betrieb des supraleitenden Linearbeschleunigers der TESLA Test Facility bereitete das Vakuumsystem keinerlei Probleme. Es wurden mehrere Modifikationen am Vakuumsystem durchgeführt. Hierzu gehörten einige Umbauten im Bereich der Elektronenkanone und der Einbau von Elementen für diverse Experimente wie Vakuumkammern für das RAFEL-Experiment, den „Beam-Trajectory-Monitor“ sowie einen Kollimator zur Abschattung des Dunkelstroms von der Elektronenquelle. Weiterhin wurde im Bunchkompressor II die Dipolkammer vor dem Modul ACC2 gegen eine Kammer mit deutlich geringerer vertikaler Apertur (8 mm innere Kammerhöhe) ausgetauscht. Für die Fertigung dieser Edelstahlkammer wurden spezielle Techniken, wie Wasserstrahlschneiden für die Profile und Elektronenstrahlschweißen für die Verbindungsnahte, angewandt. Vor dem Einbau in den Beschleuniger wurden, wie bisher, alle neuen Vakuumkomponenten im

Reinraum mit ähnlichen Prozeduren wie die supraleitenden Resonatoren gereinigt, um Staub und andere Partikel zu entfernen. Die Installation der Vakuumkammern in den Beschleuniger erfolgte mit kleinen mobilen Reinräumen.

Im Rahmen des Tests des Superstrukturmoduls im TTF-Linearbeschleuniger soll als Vorstufe für TESLA auch ein Absorber für höhere Moden (HOM) aus einer auf wenige Kelvin gekühlten Keramik untersucht werden. Hierfür wurde bei der Gruppe MVP eine technische Lösung entwickelt und für den Einbau vorbereitet. Ebenso wurden hierfür wie auch für andere Teilprojekte umfangreiche Untersuchungen hinsichtlich der Vakuumauglichkeit verschiedenster Materialien durchgeführt.

Einen weiteren Schwerpunkt der Arbeiten der Gruppe MVP bilden die Vorbereitungen für den Ausbau des TTF-Linearbeschleunigers auf 1 GeV (TTF2). Hierfür wurde im Berichtszeitraum das Konzept für das Vakuumsystem einschließlich der Anordnung von Pumpen und Ventilen festgelegt und mit der detaillierten Auslegung der Strecken begonnen. Im Bereich Injektor, Bunchkompressor II sowie anschließender Diagnosestrecke ist die Erarbeitung des Layouts weit fortgeschritten. Der Aufbau der temporären Strahlführungen im Bereich der erst später zu installierenden Seeding-Undulatoren sowie des TESLA-Moduls wurde festgelegt und mit der Detailkonstruktion der Komponenten begonnen. Die Bearbeitung der Abschnitte Bunchkompressor III, Kollimatorstrecke und Bypass durch andere Gruppen wurde vakuumtechnisch durch MVP koordiniert. Im Gegensatz zum Aufbau von TTF1 sind für TTF2 aufgrund der hohen Anforderung an die Strahlqualität HF-Abschirmungen in den Bälgen notwendig. Daher wurde ein Schiebestück mit einem Kupfereinsatz als HF-Abschirmung entwickelt, das keine aufeinander reibenden Flächen enthält, um die Erzeugung von Partikeln während der Montage bzw. des Betriebs zu vermeiden. Ferner wurde mit Detailstudien für die Konstruktion der Vakuumkammern für die „Optical Transition Radiation“ (OTR) Monitore begonnen.

Für die Vakuumkomponenten der TESLA Test Facility und zunehmend auch für Komponenten in den Strahlführungen des Synchrotronstrahlungslabors von HASYLAB bestehen gegenüber den anderen Beschleunigern erhöhte Anforderungen hinsichtlich Staub- und Partikelfreiheit. Bisher werden daher alle Vakuumkomponenten nach der UHV-Standardreinigung zusätz-

lich in denselben Anlagen wie die TTF-Resonatoren gereinigt, um Staub und andere Partikel zu entfernen. Um längerfristig die Arbeiten an den supraleitenden Resonatoren und die Reinigung von Vakuumkomponenten im Reinraum zu entkoppeln, wurde in Zusammenarbeit der Vakuumgruppe vom HASYLAB mit MVP eine neue Ultraschallreinigungsanlage für Ultrahochvakuum-Komponenten konzipiert und die Beschaffung der Komponenten vorbereitet.

Am Injektorteststand PITS in Zeuthen wurde der Aufbau des Vakuumsystems weiterhin unterstützt, vor allem im Bereich der elektronischen Komponenten.

Der Aufbau von 60 weiteren, fernbedienbaren Pumpständen wurde nahezu abgeschlossen. Die fertig gestellten Pumpstände sind inzwischen an den vorgesehenen Stellen in Betrieb genommen worden.

Kontrollsystem für neue Linearbeschleuniger (TTF und TESLA)

Auch in diesem Berichtszeitraum wurden die Arbeiten zur Automatisierung des Beschleunigerbetriebes weitergeführt. Ein „Finite State Machine Server“ steuert die gesamte Hochfrequenz und startet automatisch die Subsysteme, stellt die Parameter ein und überwacht den laufenden Betrieb. Ausgefallene Komponenten werden von diesem Server selbständig wieder eingeschaltet. Ein weiterer „State Machine Server“ für den Start des Lasers konnte ebenfalls in Betrieb genommen werden.

Für die Geräte-Server wurde die Abarbeitung der Programme auf mehrere so genannte „Threads“ umgestellt. Dadurch werden die Teilaufgaben in einem Server in verschiedene, unabhängige Einheiten geteilt. Die Abarbeitung von Anfragen von anderen Programmen können jetzt unabhängig von den Interrupts und der Datenarchivierung geschehen. Diese Erweiterung kann durch einfaches Neuübersetzen in alle vorhandenen Server übernommen werden.

Der TTF Linearbeschleuniger wird seit diesem Jahr auch vom Hauptbeschleunigerkontrollraum (BKR) aus gesteuert (siehe auch Seite 230). Die erforderlichen Konsolen wurden installiert. 2001 wurde der gesamte LINAC erstmalig auch aus Italien gesteuert. Teilsysteme wurden schon in früheren Jahren von den Partnerinstituten, zum Beispiel aus Paris, gesteuert. Für einen

derartigen Fernsteuerungsbetrieb waren einige Voraussetzungen zu schaffen. Dazu gehören ein zuverlässiges und von der Netzwerkverbindung unabhängiges Überwachungssystem, das den Beschleuniger bei allen Fehlern sicher ausschaltet, und das Lesen und Steuern aller Parameter der Anlage von entfernten Orten.

Darüber hinaus wurde eine ganze Reihe von Verbesserungen im Detail an der Hardware und in den Applikationen für den TTF-Betrieb vorgenommen und an Konzepten für TTF2 gearbeitet.

Kryogenik und Supraleitung – MKS –

HERA-Kryogenik

Das HERA-Kältesystem zur Helium-Versorgung der supraleitenden Protonenringmagnete, der Experimente und der supraleitenden Kavitäten wurde in der geplanten HERA-Betriebsunterbrechung ab Anfang September 2000 aufgewärmt und ab Mitte April 2001 wieder kaltgefahren. Während der Betriebsunterbrechung wurden an den Anlagenkomponenten routinemäßige Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten durchgeführt. Außerdem wurde in dieser Zeit eine der drei Kälteanlagen für jeweils zweimal vier bzw. einmal drei Wochen betrieben, um die vier neuen supraleitenden Luminositäts-Upgrade Magnete GO und GG für die Wechselwirkungszonen bei H1 und ZEUS in der Magnettesthalle kalt zu testen. Dazu wurde ein vorhandener HERA-Magnetteststand entsprechend umgerüstet.

Die Kalttests der bis Dezember 2001 vom BNL (USA) gelieferten zwei Ersatzmagnete mit ihren in Teilen gelieferten Stromzuführungen wurden entsprechend vorbereitet.

An den Kompressoren der Kälteanlagen wurden die vorhandenen alten SPS-Steuerungen, die zu Ausfällen neigten und für die es keinen Ersatz mehr gab, durch neue ersetzt.

Die zur Steigerung der Kompressorleistung zunächst für den Betrieb des HERA-Südhalbring bestellten Frequenzumrichter wurden Ende 2001 geliefert und werden im Laufe des Jahres 2002 in Betrieb genommen.

Die Hauptaktivitäten der HERA-Kryogruppe lagen im Berichtszeitraum in Installation, Inbetriebsetzung und Tests der Kryoversorgung für die supraleitenden Magnete GO und GG bei H1 und ZEUS. Das Abkühlen der neuen Vorkühlerboxen und der Magnete vom HERA Heliumverteilungssystem her erfolgte wie geplant und problemlos. Unmittelbar danach konnte der routinemäßige Kühlbetrieb aufgenommen werden. Auch ein zwischenzeitliches Wiederaufwärmen der Magnete und des zugehörigen Strahlrohres zum Zwecke der NEG-Pumpen Regeneration konnte reibungslos durchgeführt werden.

Für HASYLAB und die Labors wurden im Jahr 2001 in der HERA-Kryoanlage insgesamt 4600 kg Helium verflüssigt und in Kannen bereitgestellt. Eingetretene Versorgungsengpässe von Seiten der Helium-Lieferfirmen führten zwar nicht zu Betriebseinschränkungen, zeigten jedoch erneut einen Klärungsbedarf bezüglich der externen Heliumversorgung auf.

HERA-Kryokontrollen

Für das in der HERA-Kryoanlage verwendete D/3 Kontrollsystem wurde ein Upgrade auf Version 10.2 beschafft. Die Implementierung soll in der nächsten größeren HERA-Wartungsperiode erfolgen.

Bedingt durch die Konstruktion der Stromzuführungstürme („Leadtower“) der supraleitenden GO- bzw. GG-Magnete wurde ein komplexes System aus Stromzuführungskühlung und äußerer Erwärmung des oberen Teils der Stromanschlüsse notwendig. Dieses System erlaubt einen problemlosen Betrieb bei unterschiedlichsten Umgebungsbedingungen und Strömen der einzelnen Magnetkreise. Durch dieses während mehrerer Testphasen optimierte System wurde die Gefahr ausgeschaltet, dass Dichtungen durch zu niedrige Temperaturen (zum Beispiel $T < -50^\circ\text{C}$) beschädigt oder die Stromzuführungen überhitzt werden. Wärme, die von außen über die Stromzuführungen in den Magneten gelangt und dort zu einem Quench führen kann, wird kontinuierlich auf ein Minimum reduziert werden.

In Zusammenarbeit mit der Gruppe MKK wurde ein EPICS-Interface für speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS) auf Basis des TCP/IP Protokolls entwickelt. Ausgangspunkt für diese Entwicklung war eine

Software, welche von der Kontrollgruppe der Swiss Light Source (PSI/SLS) entwickelt wurde. So konnte der Entwicklungsaufwand bei DESY erheblich reduziert werden.

Das Kontroll- und Datenerfassungssystem der supraleitenden Referenzmagnete von HERA-p wurde modernisiert. Zur Auslese werden jetzt PCs benutzt. Die Client-Server Software wurde in Visual Basic realisiert.

Für den Umbau der Wechselwirkungszonen von HERA im Rahmen der Luminositätssteigerung wurden etwa 50 normalleitende Quadrupol-Magnete und sechs supraleitende Magnete benötigt. Die normalleitenden Magnete und die supraleitenden Magnete sind vor dem Einbau auf einem Teststand in Halle 55 getestet und magnetisch und optisch vermessen worden.

Beschleunigerentwicklung (TTF und TESLA)

Anfang 2001 gab es nach einem Membranbruch in der Hochdruckspülanlage einen Einbruch in der Resonator-Qualität. In einer mehrwöchigen Aktion wurden alle Bauteile des Hochdruckspülen-Systems von dem beim Membranbruch eingedrungenen Öl gereinigt und neu qualifiziert. Neben dieser Betriebsstörung traten erste Verschleißmerkmale in der Infrastruktur wie Partikelkontamination in Pumpensystemen, Filterausfälle und Verschleiß in Bauteilen der Chemieanlage auf.

Durch eine komplette Generalüberholung des Reinraumes sowie der Pumpen und der Klimaanlage und durch eine intensive Überwachung der Arbeitsschritte konnten die Resonator-Ergebnisse wieder auf den im Vorjahr erreichten Standard zurückgeführt werden, so dass die noch fehlenden Resonatoren für Modul 5 erfolgreich getestet werden konnten. Nach der Überholung der Anlage erreichte ein Resonator im horizontalen Test 32 MV/m und zeigte dabei bis 28 MV/m keine Feldemission.

Zur Vermeidung von Betriebsstörungen, zur Qualitätssicherung und zur frühen Erkennung von Fehlerquellen wurde das Überwachungssystem für Wasserqualität und Luftpartikel-Kontamination erweitert und auf rechnergestützte Datennahme umgerüstet. Die Auswertung der Partikelfilter, durch die das beim Hochdruckspülen aus den Resonatoren ablaufende Wasser geführt wird,

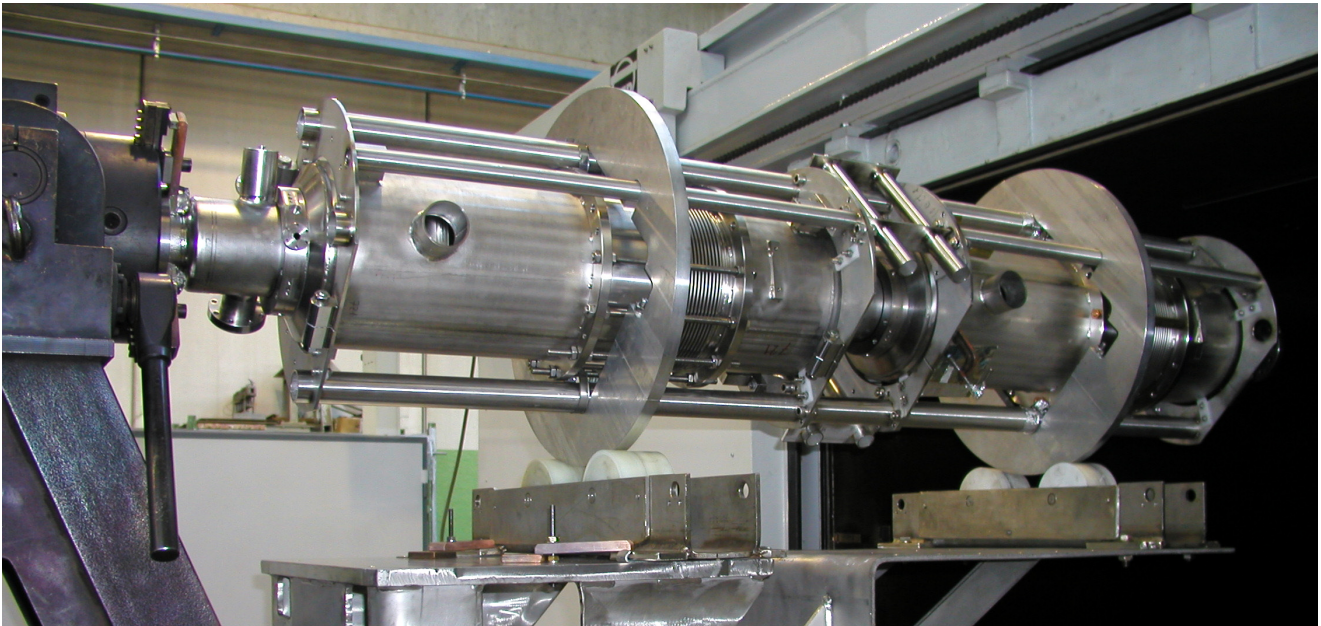


Abbildung 123: Superstruktur beim Einfahren in die EB Anlage.

wurde intensiviert, so dass diese Analyse nun zeitnah zur Behandlung erfolgt.

Die für den ersten Test einer Superstruktur notwendigen 7-zelligen Resonatoren wurden bei DESY angeliefert und getestet.

Für die Verbindung der Resonatoren dieser Superstrukturen wurde eine supraleitende UHV Vakuumdichtung entwickelt. Mit dieser Dichtungstechnik konnte ein zweizelliger Resonator reproduzierbar bis an seine Leistungsgrenze betrieben werden. Diese Werte konnten jedoch nicht auf die 7-zelligen Strukturen übertragen werden. Die Ursache hierfür scheint in den Materialparametern der Niob-Titan-Legierung der Flansche und des zur Herstellung der Dichtungen eingesetzten Niobs zu liegen. Zur Realisierung des Superstruktur-Projekts wurde daraufhin eine Schweißversion der Superstruktur entwickelt. Hierfür sind Vorrichtungen und Handlingsysteme gefertigt (Abb. 123) sowie ein neuer Behandlungsablauf erstellt worden. In den vor dem Verschweißen zweier Resonatoren zur Superstruktur durchgeführten vertikalen Messungen mit angeschweißten Strahlrohrverlängerungen erreichten die Substrukturen jeweils 18 MV/m Beschleunigungsfeldstärke. Beide Superstrukturen sind zum Ende des Be-

richtszeitraums komplett geschweißt worden und sollen im Frühjahr 2002 in ein Modul eingebaut werden.

Bei mehreren Experimenten an supraleitenden Resonatoren konnten Verbesserungen der Güte als Funktion der Beschleunigungsfeldstärke durch eine Wärmebehandlung bei 100 bis 150 °C erreicht werden. Die hierfür im Jahr 2000 gebaute Heizapparatur ist erfolgreich in Betrieb genommen worden und seitdem fester Bestandteil der Resonator-Präparation.

Zur vollständigen Dokumentation und Steuerung von Arbeitsabläufen und um einen schnellen Datenzugriff für verschiedene Personen gleichzeitig zu ermöglichen, wurde für den Bereich Resonator-Präparation und Reinraummontage ein elektronisches Daten-Management-System (EDMS) eingeführt und Ende des Jahres in Betrieb genommen. Die hierfür erstellten Arbeitspakete und Arbeitsabläufe enthalten alle für die Arbeitsschritte notwendigen Informationen sowie Sicherheits- und Arbeitsablaufunterlagen.

Zur Realisierung der Elektropolitur (EP) bei DESY ist eine neue Infrastruktur in Kooperation mit der Gruppe MVA im Aufbau. Diese Anlage ist modular aufgebaut, so dass sie sowohl die Politur von einzelligen Test-

Resonatoren als auch die der geplanten Doppel-9-Zeller Superstrukturen ermöglicht. Die zum Aufbau dieser Infrastruktur notwendigen Umbaumaßnahmen am Gebäude 28 wurden beendet. Mit der Installation der bereits gelieferten Hardware wurde begonnen, so dass diese Anlage ab Frühjahr 2002 in Betrieb genommen werden kann.

In Vorbereitung der Elektropolitur wurden Messungen an Proben zur Parameterfestlegung durchgeführt. Hierbei wurden neben Alterungserscheinungen und standardisierten Betriebsparametern auch die für die Betriebsgenehmigung notwendigen Sicherheitsparameter untersucht.

Die Überwachung und Steuerung der Elektropolituranlage wird auf einer SPS realisiert. Zu diesem System wurde eine Visualisierungssoftware entwickelt. Das System wurde an einem Simulationsaufbau getestet.

Im Frühjahr 2001 wurde das Kryomodul Nr. 4 fertig gestellt, dessen mittlerer Feldgradient, bezogen auf die Messungen der einzelnen Resonatoren im Vertikalkryostat, bei 27 MV/m liegen wird. Zum Ende des Berichtszeitraumes wurden die Resonatoren für das Kryomodul Nr. 5 fertig gestellt und in ihre Heliumbehälter eingeschweißt. Der zu erwartende mittlere Gradient dieses Moduls liegt bei 28 MV/m.

Einzelkomponenten, die für den Bau der weiteren TTF-Kryomodule benötigt werden, wurden getestet. Unter anderem wurden Prototypen neuer Hochfrequenzuner untersucht.

Zur Optimierung der Arbeiten an den supraleitenden Kavitäten 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 Resonatoren, die Prozedur und Ergebnisse ihrer chemischen Behandlungen und Messungen bei Zimmertemperatur und 2 K in dieser Datenbank gespeichert.

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.

Dieses Benutzer-Interface wurde auf die neuesten Versionen der ORACLE-Produkte umgestellt und den Benutzerwünschen entsprechend stetig erweitert.

Im Berichtszeitraum wurde die Heliumkälteversorgung des TTF-Kältelabors und des TTF-Linearbeschleunigers mit zwei TTF-Kryomodulen gewährleistet. Dabei wurde der Kältebetrieb des TTF Linearbeschleunigers im gesamten Jahr durchgehend aufrechterhalten.

Der Aufbau des TTF-Linearbeschleunigers in der Phase 2 ist mit einem Umbau des Injektors verbunden. Dieser Umbau erfordert unter anderem auch wesentliche Änderungen der Heliumkälteverteilung für die Anschlüsse der ersten beiden Kryomodule (ACC1 und ACC2). Es wurde ein Konzept für die geänderte Heliumkälteverteilung entworfen, die benötigten Komponenten (Modulanschlusstransferleitungen mit Ventilboxen und eine Modul-Feedbox) wurden spezifiziert und zur Beschaffung ausgeschrieben.

Die Konstruktion und Fertigung einer Bypass-Transferleitung für den Bunchkompressor III bei einer Fremdfirma wurde betreut. Für die Ersatzbeschaffung von zwei Heliumschraubenkompressoren der TTF-Kälteanlage wurde die Spezifikation erstellt und die Ausschreibung veranlasst. Die Planung und Spezifikation für einen TTF-Modulteststand wurde aufgenommen.

Im November 2001 wurden zum ersten Mal probeweise die Kompressoren der HERA Kälteanlage benutzt, um die 900 W Coldbox der TTF-Anlage zu versorgen. Damit ist eine Redundanz zu den TTF Heliumkompressoren hergestellt, die im Laufe des Jahres 2002 ersetzt werden sollen. Die Cavity-Test-Anlage (CTA) für den Test von ein- bis dreizelligen supraleitenden Resonatoren wurde, zusammen mit dem Stickstoff-Verteilungssystem für die Schildkühlung, fertig gestellt. Die 300 W Kälteanlage und der Testkryostat wurden in Betrieb genommen und die Kalttests mit einem Testeinsatz wurden begonnen.

Für den kryogenischen Teil von TESLA wurden die Planungen und Vorarbeiten fortgesetzt und die Kapitel „Accelerator Modules“ und „Cryogenics“ für den TESLA TDR erarbeitet. In einer Arbeitsgruppe „TESLA-Kryohallen“ wurden ein Teil der Vorbereitungen zum Planfeststellungsverfahren und die Detailplanung der TESLA-Kryohallen vorangetrieben.

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 Druckluftherzeugung sowie die Beheizung und Belüftung der Gebäude, Experimente und Tunnel gehören ebenfalls zu den Aufgaben der Gruppe.

Die wesentlichen Aktivitäten werden im Folgenden dargestellt.

Stromversorgung

Die betriebsunsicheren 10 kV-Kabel wurden im Laufe des Jahres 2001 ersetzt. Betroffen waren die Verbraucher Senderstrom PETRA West, PETRA Nord und PETRA Süd-links sowie der LINAC II und die Querverbindung der 10 kV-Hauptstationen A und B. Kabelfehler traten in diesem Jahr nicht mehr auf.

Die neue unterbrechungsfreie Stromversorgungsanlage und die zweite Einspeisung vom Rechenzentrum haben sich bewährt. Trotz zweier Netzzusammenbrüche traten keine Netzstörungen bei den Rechnern auf. Gegen Ende des Jahres wurde die Niederspannungsschaltanlage für die Versorgung von Gebäude 2 erneuert und für die automatische Umschaltung bei Netzausfall ausgerüstet. Die neue Niederspannungsversorgung für den Anbau der Halle 3 wurde installiert und in Betrieb genommen. Für die Luminositätssteigerung von HERA mussten zwei 10 kV-Stromrichtertransformatoren im Bereich HERA-Nord und HERA-Süd aufgestellt werden.

Magnetstromversorgung

Im Rahmen des Projekts zur Erhöhung der Luminosität wurden über hundert neue Netzgeräte, davon 83 Chopper, 17 Thyristor- und 3 Diodennetzgeräte beschafft, aufgebaut und in Betrieb genommen.

Die neuen Magnetbrücken in HERA-Nord und -Süd wurden in der Magnettesthalle komplett aufgebaut und unter Betriebsbedingungen getestet. Für die neuen supraleitenden GO- und GG-Magnete wurden Dump-schalter mit Steuerungen beschafft, aufgebaut und in Betrieb genommen. Bei DORIS wurden zehn neue Korrekturnetzgeräte nachgerüstet und in Betrieb genommen.

Für die TTF-Klystronmodulatoren wurden vier neue Ladenetzgeräte mit einer Ladespannung von 10 kV beschafft. Es wurde mit den Planungen und Vorarbeiten zur TTF-Phase 2 begonnen. Eine Dreierkombination der Elektronikschaltschränke, wie sie in TESLA eingebaut werden sollen, wurde beschafft und zunächst in einem Holzgestell montiert. Das Andocksystem für die endgültigen Container wurde projektiert und die Kosten ermittelt. Die Stromversorgungen, die ebenfalls in den Containern installiert werden sollen, wurden entwickelt und Prototypen gebaut.

Die Steuerungen für die DESY III-Magnetstromversorgungen wurden überarbeitet und verbessert. Die 10 kV-Schaltanlage für die statische Blindleistungskompensation von DESY III wurde erneuert und in die Fernkontrolle mit aufgenommen. Die Regelung und Steuerung für die Blindleistungskompensation wurden ebenfalls ersetzt.

Die DESY II-Magnetstromversorgungen liefen ohne Störungen. Im Öl der Summendrossel entwickelten sich erneut Gase, die auf eine Zersetzung von Isoliermaterial hindeuten. Die Untersuchungen dauern noch an. Eine Gefährdung des Betriebes ist aber nicht zu erwarten. Voruntersuchungen für die Erneuerung der DESY II 12.5 Hz-Wechselstromquelle wurden begonnen.

Senderstromversorgung

Für DESY II wurde ein neues Konzept für den Klystron-schutz erarbeitet. Es funktioniert auf der Basis von hochsperrenden lichtgetriggerten Thyristoren (LTT) und soll die Funkenstrecken aus den 60er Jahren ersetzen. Es müssen 14 LTTs, bestehend aus zwei Thyristor-säulen, in Reihe geschaltet werden. Die LTTs müssen sehr hohen di/dt -Werten von über 10 kA/ μ s widerstehen. Dabei ist eine symmetrische Spannungsaufteilung

während der Schaltvorgänge wichtig. Ein neu entwickelter Prototyp wurde von der Firma Eupec geliefert. Er wird zur Zeit bei MKK komplettiert.

Für das HERA-Feedbacksystem in Halle West wurde eine neue Senderstromversorgung in Betrieb genommen. Sie ist baugleich mit der Feedbacksenderstromversorgung von DORIS. Eine komplette Trafo-Hochspannungsgleichrichter-Einheit wurde als Reserve beschafft.

Die Betriebserfahrungen mit den digitalen Schutzgeräten für die beiden 10 kV-Schaltanlagen, die in den Containern PETRA-Ost und -West installiert sind, sind gut. Die integrierten Störwertschreiber ermöglichen eine laufende Fernüberwachung. Nach einer Störung können die Spannungs- und Stromverläufe sowie die Schaltaktionen ausgelesen werden. Dadurch wird die Fehleranalyse wesentlich verbessert. Die digitalen Schutzgeräte bieten deutlich mehr Funktionalität und sollen bei neuen 10 kV-Schaltanlagen eingebaut werden. Die 10 kV-Schaltanlage bei PETRA-Süd-rechts soll erneuert werden. Die technische Spezifikation wurde erarbeitet.

Überwachung und Kontrollen

Für das PITZ-Projekt in Zeuthen wurde die Steuerung und Regelung der Wasserkühlanlage in Betrieb genommen. Die Betriebsdaten lassen sich auch von Hamburg aus lesen und die Regelparameter optimieren.

Bei den digitalen Schutzgeräten der Container PETRA-West und -Ost, bei verschiedenen Klima- und Wasserkühlanlagen und bei der Steuerung für das Pumpenhaus im Anbau der Halle 3 (TTF-Phase 2) wurden zahlreiche Verbesserungen und Modernisierungen der Steuerungs- und Überwachungssysteme vorgenommen. Für die Verwaltung der Datenpunkte aus dem Leitsystem wurde eine Datenbankanwendung entwickelt. Sie dient zur Generierung von diversen Konfigurationsfiles wie Alarmhandler und Archivierung. Eine ORACLE-Datenbank ist die Basis für alle Applikationen. Das elektronische Logbuch für die MKK-Schicht wurde erweitert und den Erfordernissen der MKK-Schicht und der Labors angepasst.

Eine Testinstallation neuer Transientenrekorder für die Senderstromversorgungen wurde in Zusammenarbeit mit den Gruppen FEB und MKS2 entwickelt.

Wasserkühlung, Kaltwasser und Druckluft

Im Rahmen der Arbeiten zur Erhöhung der Luminosität musste die Wasserversorgung in den geraden Stücken von HERA-Nord und -Süd neu aufgebaut und in Betrieb genommen werden. Von 22 Kühltürmen, die früher beim PETRA HF-System eingesetzt waren, mussten 12 erneuert werden. Die erdverlegten Sammelrohre hatten sich um einige Zentimeter abgesenkt, was auf eine mangelnde Erdverdichtung während der HERA-Bauzeit zurückzuführen ist.

Die Kältetrockner für die Druckluftversorgung der Kryoanlagen wurden durch FCKW-freie Trockner ausgetauscht. In PETRA-Nord und -Süd wurden die Kolbenverdichter durch Schraubenkompressoren für die Druckluftherzeugung ersetzt. Bei DORIS wurde ein Kompressor erneuert. In PETRA-Nord wurde die VE-Wasseraufbereitung überholt und teilweise erneuert.

In HERA-Nord wurde ein zusätzlicher Entgaser für das Kühlwasser installiert. Trotz Stickstoffpolster im Ausdehnungsgefäß und Stickstoffeinperlung in Halle Ost ist der Sauerstoffgehalt im HERA-Kühlwasser recht hoch. Die Ursachen werden weiter untersucht.

Das Mittel zur Härtestabilisierung des Kühlturmwassers wird weiter in Absprache mit der Umweltbehörde testweise eingesetzt. Die Kalkablagerungen halten sich in Grenzen und Rostfraß wurde in den Stahlrohren nicht mehr beobachtet. Die Gebäude 3 und 11 wurden an das zentrale Kaltwassernetz angeschlossen.

Klima-, Lüftungs- und Heizungsanlagen

Die Klimaanlage des Hörsaals wurde komplett erneuert und umgebaut. Die Kälteversorgung erfolgt jetzt aus dem zentralen Kaltwassernetz. Die Wärmeübergabestation für den Hörsaal und das Verwaltungsgebäude wurde ebenfalls ausgetauscht und leistungsmäßig vergrößert. Zahlreiche defekte bzw. altersschwache Leitungen, Wärmeübergabestationen und Klimaanlagen wurden ausgetauscht oder erneuert.

Die Klimatisierung der geplanten Undulatorstrecke im FEL-Tunnel wurde untersucht und Lösungsvorschläge wurden erarbeitet. Die Temperaturverteilung über eine Länge von 75 m soll mit einem mathematischen 3D-Modell berechnet werden.

Mit Hilfe der Visualisierung und Archivierung von Messdaten konnten die Isolationsprobleme in den neuen 10 kV-Schaltanlagen der PETRA-Senderstromversorgung schnell aufgeklärt werden. Ursache war die Belüftung der so genannten Container mit gekühlter Außenluft. Die Kühlung führte im Sommer zu einer hohen Luftfeuchtigkeit in der Zuluft, was dann Kriechströme auf den Isolatoren und Wandlern nach sich zog. Die Betriebsweise der Lüftungsanlagen wurde daraufhin geändert und die Luftfeuchtigkeit beobachtet. Auch bei den Lüftungsanlagen für die HERA-Sender wurde die Betriebsweise überprüft.

Kollaboration mit der TU Darmstadt

Beim Institut für Hochspannungstechnik der TU Darmstadt wurden am Prototyp eines mehrfach coaxialen Rohrgasleiters elektrische, thermische und magnetische Messungen durchgeführt. Die Dichtigkeitsmessungen ergaben Spaltundichtigkeiten im Bereich der Gießharzstücke. Die absolute Streufeldfreiheit konnte aufgrund der kurzen Länge von 6 m wegen der Streufelder der Zuleitungen nicht gemessen werden. Der Abschlussbericht soll 2002 erfolgen. Für den coaxialen Rohrgasleiter erfolgte Ende 2001 die Patentierung. Der Prototyp soll auf der Hannover Messe 2002 von der TU Darmstadt und DESY präsentiert werden.

Beschleunigerplanung – MPL –

Die Gruppe MPL ist zuständig für die Planung und Aufstellung von Beschleunigerstrukturen in Tunneln und Experimentierhallen und die Koordination von Beschleunigeraufstellungen. Eine andere wichtige Aufgabe der Gruppe ist die Entwicklung von Komponenten für die supraleitenden Beschleuniger und Materialuntersuchungen, vor allem an Niob und Niob-Legierungen.

Beschleunigeraufstellungen

Konstruktive Restarbeiten für das Projekt zur Erhöhung der HERA-Luminosität wurden abgeschlossen. Mit den Konstruktionen der Unterbauten und Gestelle für TTF2 wurde begonnen. Für die Sektionen Kollimatorstrecke

und temporäre Strahlführungen sind die Betonunterbauten Ende November geliefert worden. Für die Kollimatorstrecke sind die Entwürfe für die Aufstellungen der Quadrupole, Sextupole, Dipole, und Korrekturmagnete abgeschlossen, einschließlich der verfahrbaren Quadrupole, die senkrecht und quer zum Strahl über Schrittmotoren nachgeführt werden.

Für die Sektionen der temporären Strahlführungen sind Pumpunterstützungen, Kammer- und Ventilhalterungen in Arbeit, ebenso die konstruktive Lösung der Anbindung der „Optical Transition Radiation“ (OTR) Linsensysteme auf den Unterbauten.

Entwicklung von nahtlosen Resonatoren

Für die Fertigung von mehrzelligen Resonatoren war die Entwicklung der Einschnürung im Irisbereich erforderlich. Diese Entwicklung wurde zusammen mit der Firma HTI erfolgreich durchgeführt. Es wurden mehrere dreizellige Cu-Resonatoren und der erste zweizellige Niob-Resonator durch Innenhochdruckumformung (IHU) hergestellt (Abb. 124).

Die bei DESY durch IHU gefertigten vier einzelligen sprengplattierten NbCu-Resonatoren der TESLA-Form wurden auf die HF-Eigenschaften getestet. Die Behandlungen und Prüfungen sind in Kollaboration mit Jefferson Lab (USA) und KEK (Japan) durchgeführt worden.

Das beste Ergebnis ist an dem Cavity 1NC2 beim Jefferson Lab erreicht worden. Die Beschleunigungsfeldstärke beträgt 40 MV/m, die Güte $Q = 10^{10}$ nach etwa 180 μm „Buffered Chemical Polishing“ (BCP), zwei Stunden Glühen bei 800 °C und 30 Stunden Ausbacken bei 140 °C. Dieses Ergebnis ist mit Abstand das beste Resultat in der Geschichte von supraleitenden NbCu-Resonatoren. Die anderen drei NbCu-Resonatoren haben im Dezember 2001 die Beschleunigungsfeldstärke von 33 MV/m, 24 MV/m und 17 MV/m erreicht.

Vier neue einzellige mit Niob innen ausgekleidete Cu-Resonatoren der TESLA-Form sind durch IHU gefertigt worden. Das NbCu-Rohr ist nach einem neuen Verfahren hergestellt worden (Strangpressen, siehe Niobrohrentwicklung). Die für 2002 geplanten HF-Tests sollen zeigen, welches Verfahren (Sprengplattieren oder Strangpressen) vorteilhafter ist.

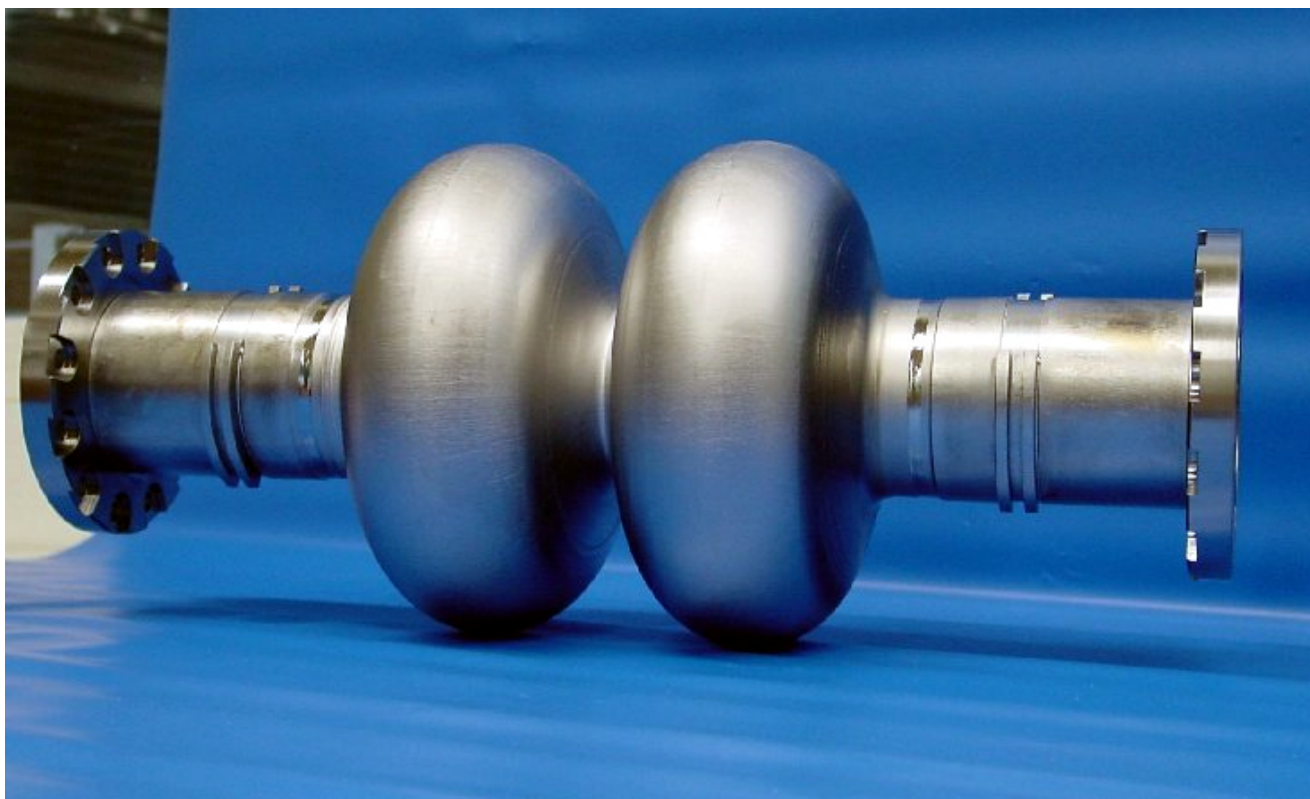


Abbildung 124: *Durch IHU hergestellter zweizelliger nahtloser Niob-Resonator.*

Es wurde eine neue Kalibrierungsvorrichtung für TESLA-Resonatoren in Zusammenarbeit mit INR Troitsk (Russland) gebaut. Dafür wurde beim DESY eine Vorrichtung konstruiert, die über ein Joch mit Spindel und Hubelement die Matrizen aus dem Kalibrierungsrohr herausziehen kann; außerdem sind neue Mittelzellen-Matrizen konstruiert worden. Durch Kalibrieren des fertigen Resonators mit dem hohen Druck von etwa 1000 bar werden kleine Abweichungen in der Form korrigiert. Die Rechnersteuerung und die Simulationsrechnungen des Umformvorganges wurden auf mehrzellige Resonatoren erweitert.

Niobrohrentwicklung

Es sind neue nahtlose Test-Rohre aus massivem Niob gebaut worden. Es hat sich herausgestellt, dass die Fertigung aus dicken Blechen durch Drücken und Drückwalzen eine akzeptable IHU-Tauglichkeit bereitstellt. Es

ist geplant, weitere zweizellige Resonatoren aus diesen Rohren zu bauen.

Es sind bimetallische NbCu-Rohre nach einem neuen Verfahren hergestellt worden. Das dickwandige Niob-Rohr wird in ein Sandwich aus Cu-Rohren eingepackt und unter Vakuum zugeschweißt. Danach wird es durch Strangpressen warm auf die notwendigen Abmessungen (etwa 4 mm Gesamtdicke, davon etwa 1 mm Niob und etwa 3 mm Cu) umgeformt. Die stranggepressten NbCu-Rohre zeigen im Vergleich mit sprengplattierten NbCu-Rohren bessere Bindungseigenschaften, die Wandstärkeschwankungen sind allerdings etwas höher. Ziel dieser Entwicklung ist es, den Rohrpreis zu senken.

Tuner für TESLA-Resonatoren

Eine weitere Aktivität der Gruppe MPL war die Überarbeitung der Konstruktion einer neuen Feinabstimmung

für TESLA, die in den Helium-Tank integriert wird und somit keine zusätzliche Beschleunigerlänge benötigt. Die Resonator-Feinabstimmung wurde in eine Halbschalenausführung umkonstruiert und ein Piezo-Element wurde integriert. Die neue Version des Tuners soll 2002 gebaut und getestet werden.

Resonator-Versteifung

Es wurde eine für flüssiges Helium durchlässige, eine Resonatorzelle umspannende und demontierbare Titanschale konstruiert und gebaut. Mit dieser Schale können TESLA-Resonatoren mit einer Äquatorwandstärke von nur etwa 1.5 mm für 40 MV/m tauglich gemacht werden. Die erwartete Verstimmung des Resonators durch die Feldkräfte liegt bei nur 200 Hz. Die Tests der Titanschale sind im Jefferson Lab durchgeführt worden. Die Abschätzungen der Verstimmung sind im Experiment bestätigt worden. Es hat sich aber herausgestellt, dass eine ähnliche Versteifung auch in NbCu-plattierten Resonatoren erreicht werden kann, allerdings deutlich kostengünstiger. Aus diesem Grund wird die Versteifung mit der Ti-Schale nicht weiter verfolgt.

Werkstoffuntersuchungen

Das Labor für Metalluntersuchungen ist weiter ausgebaut und funktionsfähig gemacht worden. Folgende Untersuchungen werden durchgeführt:

- Anfertigung von Mikroschliffen und Analyse der Mikrostruktur mit dem Lichtmikroskop und REM,
- Messungen des Restwiderstandsverhältnisses RRR an Niob-Proben und Niob-Resonatoren,
- Zug- und Tiefungsversuche bei verschiedenen Dehnraten,
- Härteprüfungen und Untersuchungen der Oberflächenrauigkeit,

- chemische und elektrochemische Behandlungen von Niob-Proben und kleinen Niob-Teilen,
- Messungen der Wärmeleitfähigkeit von Niob bei tiefen Temperaturen.

Diese Arbeiten ermöglichen eine von Niob-Produzenten unabhängige Qualitätskontrolle von Niob und sind wichtig für R&D.

Im Jahr 2001 wurden folgende Themen bearbeitet:

- Betreuung der Fertigung samt Glühbehandlung der für das TTF-Projekt erforderlichen Niob-Halbzeuge,
- Abtasten von Niob-Bleichen auf Defekte und SYRFA-Analyse (zusammen mit MHF-sl),
- Untersuchungen der Qualität des Niob von neuen potentiellen Niob-Lieferanten (ITEP, CBMM, Cabot, China),
- Entwicklung der Fertigung und Untersuchung der Eigenschaften von nahtlosen Rohren für Hydroforming und supraleitende Bälge,
- Analyse der Oberfläche von elektropolierten Niob-Proben (zusammen mit MKS3),
- Analyse der Schweißqualität von in der DESY-Anlage geschweißtem Niob (zusammen mit MVA),
- Metallkundliche Untersuchungen für die Superstruktur,
- Beschichtungsqualität von Bellows für Powercoupler (zusammen mit ORSAY/F),
- R&D an Niob (zusammen mit UNIPRESS, Warschau/PL und Surface Spectroscopy Lab, Krakau/PL),
- Konstruktion und Bau der Vorrichtung für die Wärmeleitfähigkeitsmessungen bei tiefen Temperaturen,
- Entwicklung einer Vorrichtung für Defektsuche in Niob-Halbzeugen auf SQUID-Basis (zusammen mit der Universität Gießen).



Voruntersuchungen zum TESLA Linear-Collider Projekt

Mit der Fertigstellung des TESLA Technical Design Report (TDR) wurde im Berichtszeitraum ein wichtiger Meilenstein auf dem Weg zur Realisierung des Zukunftsprojekts für einen 500–800 GeV supraleitenden Elektron-Positron Linear-Collider mit integriertem Röntgenlaser-Labor erreicht. Am Beschleuniger-Kapitel (Part II) des TDR haben über 400 Wissenschaftler und Ingenieure aus 13 Ländern mitgearbeitet. In diesem Teil des Reports werden die technische Auslegung und die Beschleunigerphysikalischen Aspekte des supraleitenden Linearbeschleunigers sowie aller für den Collider und den Free Electron Laser (FEL) erforderlichen Subsysteme beschrieben.

TESLA Projektvorschlag

Beim Linear-Collider werden Elektronen und Positronen in zwei 15 km langen gegenläufigen Beschleunigern auf eine Endenergie von 250 GeV beschleunigt und in der zentralen Wechselwirkungszone zur Kollision gebracht. Die Energiezufuhr geschieht in supraleitenden Hochfrequenzresonatoren mit einer Feldstärke von etwa 23 MV/m. Diese neue Technologie wurde von der internationalen TESLA Kollaboration entwickelt und an der Testanlage (TTF) bei DESY erfolgreich erprobt. Die Technologie mit supraleitenden Niob-Resonatoren ermöglicht aufgrund der hohen Effizienz des Beschleunigers und der exzellenten Strahlqualität eine bessere Kollisionsrate (Luminosität) als ein konventioneller Linearbeschleuniger. Die hervorragende Strahlqualität und -stabilität macht den TESLA-Beschleuniger ebenfalls zu einem idealen Treiber für eine Röntgen-FEL Anlage, die integraler Bestandteil des vorgeschlagenen Projekts ist. Eine Kostenschätzung für den Linear-Collider wurde anhand von Industriestudien für die Massenfertigung der Hauptkomponenten der Anlage erarbeitet. Die Gesamtkosten

für den 500 GeV Collider wurden zu 3.136 Milliarden € ermittelt. Als dominierende Anteile entfallen davon etwa ein Drittel auf die supraleitenden Beschleuniger-Module, jeweils etwa ein Sechstel auf das Hochfrequenzsystem sowie auf den Bau des 33 km langen Tunnels und der Hallen. Die zusätzlichen Kosten für das Röntgen-FEL Beschleunigersystem belaufen sich auf 0.241 Milliarden €.

Der TESLA TDR wurde im März 2001 im Rahmen eines internationalen Kolloquiums der Öffentlichkeit vorgestellt. Das große Interesse am TESLA-Projekt wurde durch die Teilnahme von annähernd 1000 Wissenschaftlern an dieser Veranstaltung eindrucksvoll unterstrichen. Das hohe Maß an Aufmerksamkeit, das der TESLA Projektvorschlag in der internationalen Gemeinschaft der Hochenergie-Physiker genießt, wurde ebenfalls beim Treffen der amerikanischen Teilchen- und Beschleuniger-Physiker in Snowmass (USA) im Sommer 2001 deutlich. Bei diesem nur alle fünf Jahre stattfindenden dreiwöchigen Treffen wurden die Zukunftsperspektiven der Teilchenphysik intensiv diskutiert, mit dem klaren Ergebnis, dass ein Linear-Collider bei den mit TESLA erreichbaren Energien das nächste international zu realisierende Projekt sein soll. Gleichzeitig begann in Snowmass ein Prozess des detaillierten Vergleichs der für so eine Anlage vorgeschlagenen technischen Lösungen: während die bei DESY koordinierte Kollaboration auf Supraleitung setzt, arbeiten die Beschleuniger-Experten in den USA (SLAC, Stanford) und Japan (KEK, Tsukuba) an der Optimierung der konventionellen Technologie mit Kupfer-Resonatoren.

Vorbereitung des Planfeststellungsverfahrens für TESLA

Die Freie und Hansestadt Hamburg und das Land Schleswig-Holstein haben im Jahr 1998 einen Staats-

vertrag 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 (PFV) mit einer integrierten Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) durchzuführen ist. Die Planfeststellungsbehörde und Anhörungsbehörde ist das Oberbergamt (OBA) in Clausthal-Zellerfeld.

Auf der Basis des TDR wurde die Vorbereitung des PFV weitergeführt. Mit einer Ingenieurgemeinschaft (IG) wurde ein Vertrag zur Erstellung der Planunterlage abgeschlossen. In einem Workshop Ende April 2001 wurde der Rahmen dafür festgelegt. Mitarbeiter von DESY und unabhängige Ingenieure für die Genehmigungsplanung, die Projektsteuerung, die Umweltplanung und die hydrogeologischen Untersuchungen erarbeiten in einem Team die Planunterlage. Die Verträge mit den unabhängigen Planern orientieren sich dabei an Partnerschaftsmodellen. Darüber hinaus haben sich bei DESY Arbeitsgruppen gebildet, die die technischen Rahmenbedingungen für die TESLA-Planungsgruppe ausarbeiten. Von allen TESLA-Planern werden die gleichen Werkzeuge benutzt. Von Anfang an wird dreidimensional konstruiert. Alle benötigten Karten liegen als Vektorgrafik vor. Es wird ein gemeinsames elektronisches Archivierungssystem („Engineering Data Management System“ EDMS) benutzt.

Dem Vorschlag einer elektronischen Abgabe, Verteilung und öffentlichen Auslegung der Planunterlage hat das OBA bereits jetzt zugestimmt.

Eine erste Demonstrationsversion der digitalen Planunterlage liegt bereits vor. Für diese Unterlage sind bereits die dreidimensionalen Konstruktionen und die Vektorkarten eingesetzt worden. Eine gedruckte Version wird ebenfalls zur Verfügung gestellt.

Zeichnungen, Vorträge, Bilder, Filme und weitere Informationen stellt die TESLA-Planungsgruppe TPL planungsbegleitend intern in einer speziellen Homepage zur Verfügung.

Da der TESLA-Tunnel direkt unter der Kirche von Relingen verläuft, sind im Berichtszeitraum Referenzmessungen an der Kirche begonnen worden, um die natürlichen Bewegungen des Bauwerks zu untersuchen. Dafür wurden sowohl im Kirchenschiff als auch im Außenmauerwerk Messmarken angebracht. Die Messungen werden über einen längeren Zeitraum durchge-

führt, um die tages- und jahreszeitlichen Bewegungen zu ermitteln.

Im Rahmen der Umweltverträglichkeitsstudie UVS wird auch das Schutzgut Wasser untersucht. DESY hat ein hydrogeologisches Fachgutachten in Auftrag gegeben. Die erste Stufe auf der Basis von vorhandenen Bohrungen ist bereits fertig gestellt. Für die erweiterte zweite Stufe wurden im Berichtszeitraum insgesamt 16 Probebohrungen an acht Hallenstandorten und entlang der Tunneltrasse abgeteuft. Diese Bohrungen werden auch bereits für Baugrunduntersuchungen verwendet. Die UVS ist mit dem Planungsstand April 2001 abgeschlossen worden. Eine Anpassung an den neuesten Stand und der Landschaftspflegerische Begleitplan (LBP) werden im Jahr 2002 bearbeitet.

Mit der Technischen Universität Hamburg-Harburg wurde ein Kooperationsvertrag zur Untersuchung des Schwingungsverhaltens des Baugrundes entlang der TESLA-Trasse abgeschlossen.

Im Rahmen der TDR-Begutachtung durch den Deutschen Wissenschaftsrat wurde eine alternative Lösung für den vom Collider-Betrieb weitgehend unabhängigen Betrieb der Röntgenlaseranlage eingereicht. Diese alternative Lösung, die als Übersicht in Abbildung 125 dargestellt ist, basiert auf dem TDR-Vorschlag. Zusätzlich wurde ein knapp drei Kilometer langer Beschleunigertunnel in die Planung mit aufgenommen, der an der Kältehalle Borstel beginnt. Dieser Tunnel nimmt alle Komponenten auf, die in der integrierten Lösung auf den ersten Kilometern angeordnet waren und weitgehend zusammen mit dem Beschleuniger für die Hochenergiephysik genutzt wurden. Die alternative Lösung ist teurer, bietet aber wesentlich mehr Flexibilität gegenüber der integrierten Lösung. Für die alternative Lösung hat sich bereits die modulare Planung der Bauwerke bewährt. Das gesamte Verzweigungsbauwerk müsste nur geringfügig nach Osten verschoben werden, um unnötige Ablenkungen zu vermeiden. Der zusätzliche Beschleunigertunnel könnte dann an ein bereits geplantes Verzweigungsbauwerk angeschlossen werden. Für die zusätzliche Versorgung des separaten X-FEL-Beschleunigers mit Helium und für die zusätzlichen Modulatoren müsste die Versorgungshalle Borstel erweitert werden. Die Abmessungen blieben jedoch innerhalb des für die Umweltplanungen vorgegeben Rahmens.

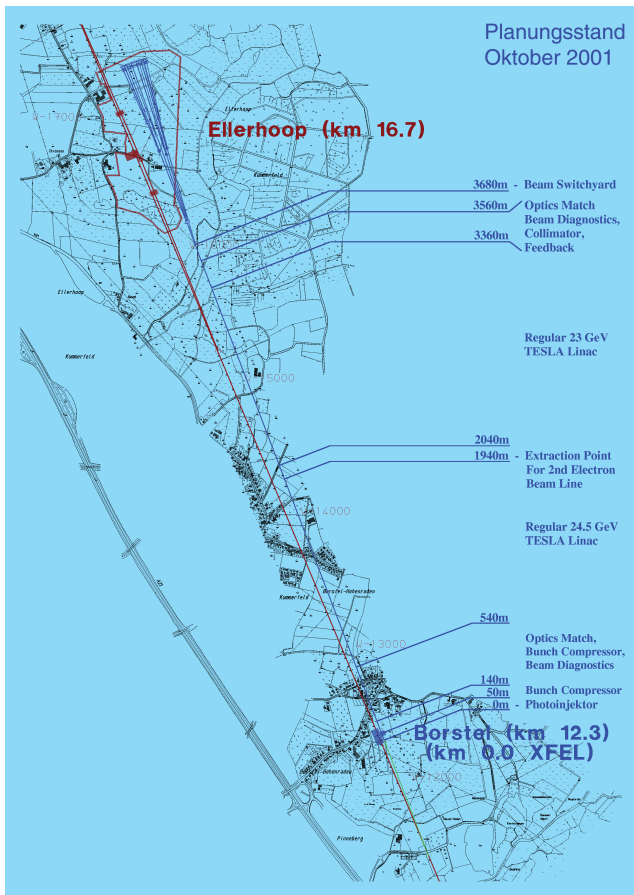


Abbildung 125: Ausschnitt aus dem TESLA-Lageplan mit einem getrennten XFEL Beschleunigertunnel.

TESLA Test Facility (TTF)

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.

Im Berichtszeitraum konnte der Beschleuniger in der Regel im 24-Stunden-Betrieb genutzt werden. Hierbei standen zunächst Studien zur Beschleunigerphysik im Vordergrund. Ab dem Sommer lag der Schwerpunkt dann im Bereich des FEL-Betriebs. Erste Experimente nutzten den erzeugten FEL-Strahl, um das

Verhalten von Probenmaterial im intensiven Photonenstrahl zu untersuchen. Zwei Betriebsunterbrechungen von jeweils vier Wochen erlaubten den Wechsel zwischen verschiedenen Experimenten. Am 22. September gelang es, bei der Wellenlänge von 100 nm Sättigung zu erreichen, also die maximal mögliche Verstärkung. Hiermit erreicht der TTF-FEL eine bislang unerreichte Leuchtstärke.

Das Jahr 2001 begann mit den letzten Vorbereitungen für den Betrieb mit 800 μ s langen Pulszügen. Nach einigen abschließenden Tests konnte ein System zur Überwachung von Strahlverlusten erfolgreich in Betrieb genommen werden. Ein Strahlverlust von deutlich unter einem Prozent führt innerhalb von wenigen Mikrosekunden zur Abschaltung der Elektronenquelle. Im Bereich der Undulatoren gelten noch schärfere Bedingungen.

Ende Januar wurde der TTF-LINAC erstmals mit voller Strahllast betrieben. Ein 800 μ s langer Pulszug mit einem Strahlstrom von 8 mA erreichte eine Energie von fast 240 MeV. Hierbei betrug die Ladung der einzelnen Elektronenpakete 3.5 nC und der zeitliche Abstand der Pakete 444 ns (Abb. 126). Dieses Ergebnis entspricht den TESLA-Parametern mit ausreichender Genauigkeit.

Im Anschluss an den Betrieb mit langen Pulszügen wurde die Beschleunigungsfeldstärke im ersten TTF-LINAC Abschnitt auf etwa 2 MV/m abgesenkt, um möglicherweise auftretende strahlinduzierte Schwingungen in den supraleitenden Resonatoren zu untersuchen. Die Folgefrequenz der Elektronenpakete wurde auf 54 MHz heraufgesetzt und die Intensität der einzelnen Pakete mit einer frei wählbaren Frequenz um bis zu 90% moduliert. Das so erzeugte Anregungsspektrum ist geeignet, eventuell vorhandene Schwingungsmodi in den Resonatoren anzuregen, die dann wiederum auf den Elektronenstrahl zurückwirken. Ein mit einer Ablage relativ zur Strahlachse eingeschossener Elektronenstrahl kann so genannte Dipolmoden anregen. Ein Strahlagemonitor weist diese Anregungen nach. Es wurde eine Vielzahl von Moden gemessen. Von Interesse war die Güte der Moden, aber auch der Unterschied im Verhalten der einzelnen supraleitenden Resonatoren. Die Auswertung ist noch immer nicht abgeschlossen. Unter anderem konnten aber aus der Messung Rückschlüsse auf einen Fehler in der Anordnung der Antennen erfolgen, die diese Schwingungsmoden bedämpfen sollen.

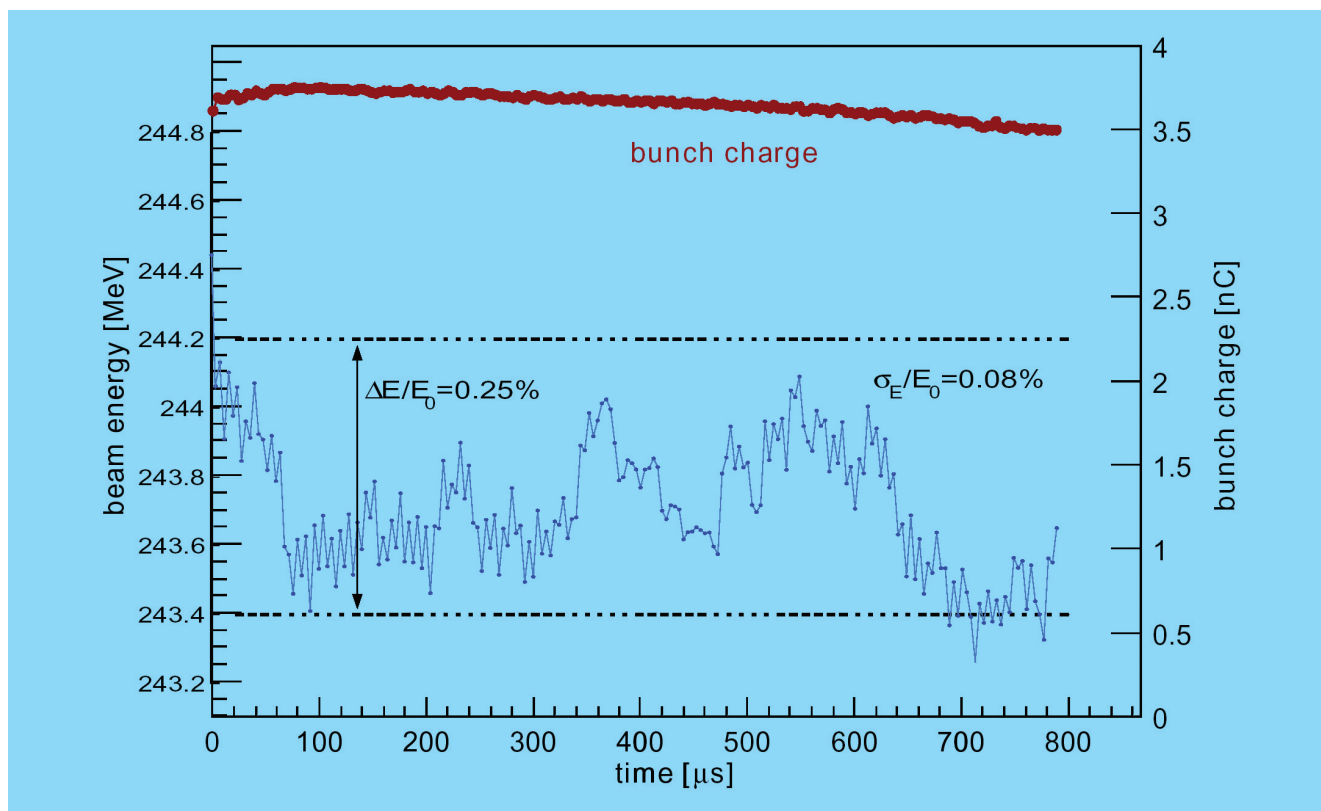


Abbildung 126: Bunchladung und Energieunschärfe während eines 800 μs langen Bunchzuges in der TESLA Test Facility.

Wakefields

Parallel zur Optimierung des FEL-Betriebes wurden im Frühjahr Experimente zu einem weiteren, den Elektronenstrahl möglicherweise stark beeinflussenden Effekt abgeschlossen. So genannte „Wakefields“, unmittelbar zu vergleichen mit der Bugwelle eines Schiffes in einem schmalen Kanal, entstehen, sobald ein Paket von sehr vielen Elektronen durch ein enges Strahlrohr geführt wird. Für den FEL-Betrieb wurde die Rauigkeit der Innenwände der Undulatorkammern diskutiert. Eine Reihe von theoretischen Modellen sagte unterschiedlich starke Effekte voraus. Aus diesem Grund wurde unmittelbar hinter dem Undulator eine Anordnung mit mehreren austauschbaren Rohren verschiedener Rauigkeit installiert. Die tatsächlich entstehenden Wakefields wurden über einen speziellen Schirm ausgekoppelt und in ihrem Frequenzspektrum analysiert. Im Bereich um 500 GHz, einer Frequenz, die unmittelbar durch die

Länge der Elektronenpakete bestimmt ist, konnte eine sehr gute Übereinstimmung zwischen der Vorhersage und den gemessenen Daten gefunden werden. Auf einem Schirm hinter einem Spektrometermagneten wird eine energieabhängige Intensitätsverteilung beobachtet, die als ein Zerreißen des Elektronenpaketes entlang seiner Flugrichtung zu verstehen ist (Abb. 127). Nimmt dieser Effekt überhand, so kann der FEL nicht mehr arbeiten.

Im Rahmen eines etwa vierwöchigen Umbaus wurde im Mai 2001 der Aufbau zur Untersuchung von Wakefields gegen einen so genannten „Beam Trajectory Monitor“, eine Art Lochkamera zur Bestimmung des Entstehungsortes der Undulator-Strahlung, getauscht. Weiterhin wurde das RAFEL-Experiment („Regenerative Amplifier FEL“) modifiziert und im Bereich der LINAC-Infrastruktur das erste Multibeam-Klystron eingebaut. Dieses 10 MW Klystron ist der Proto-

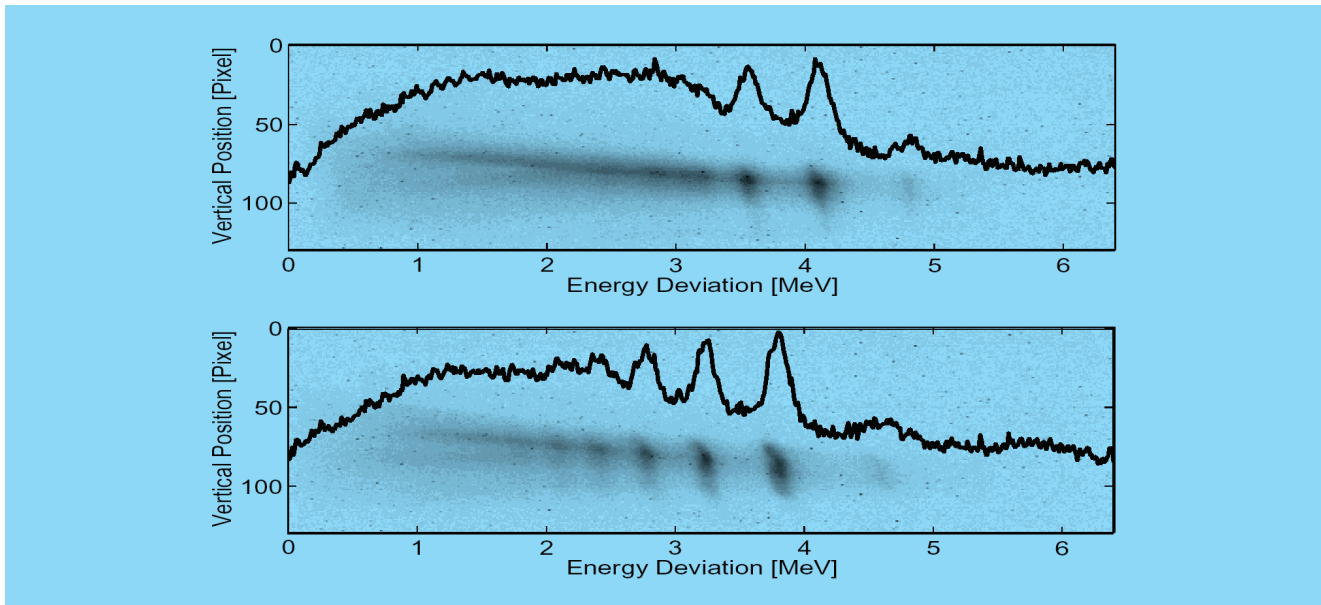


Abbildung 127: Wakefields, die durch den Strahlstrom an den Rauigkeiten der Strahlrohrwände induziert werden, bewirken Änderungen in der Intensitätsverteilung eines Bunches. Die untere Verteilung wurde an einem Strahlrohr gemessen, dessen Oberfläche durch Sandstrahlen aufgeraut worden war.

typ eines TESLA-Klystrons, das im Unterschied zu herkömmlichen Klystrons mehrere Elektronenstrahlen verwendet.

Dunkelstrom

Bereits während der Betriebsunterbrechung konnte der durch Feldemission entstehende Dunkelstrom der supraleitenden Resonatoren im zweiten Beschleunigerabschnitt untersucht werden. Für diese Messung wurde die Strahlführung unterbrochen, um den durch den Beschleunigerabschnitt erzeugten Dunkelstrom-Elektronenstrahl nach dem Austritt aus einem dünnen Edelstahlfenster direkt auf der Achse abzustoppen und seine Intensität zu bestimmen. Zum einen stellte sich hierbei heraus, dass der achte Resonator im zweiten Beschleunigerabschnitt sehr viel Dunkelstrom erzeugt, während die anderen Resonatoren akzeptable Ströme zeigen, zum anderen konnte die später im Jahr durchgeführte Messung am ersten Beschleunigerabschnitt vorbereitet werden. Diese im November durchgeführte Messung ergab bei einer maximal möglichen mittleren Beschleunigungsfeldstärke von 21.5 MV/m einen

Dunkelstrom von deutlich unter $1 \mu\text{A}$, ohne den dritten Resonator dieses ersten Beschleunigerabschnittes waren es nur etwa 100 nA. Dies ist mit den Annahmen für TESLA verträglich.

FEL-Betrieb

Seit dem Sommer stand der FEL-Betrieb im Vordergrund. Neben der Nutzung des FEL-Photonenstrahls für die Untersuchung des Ab- bzw. Verdampfens von Oberflächen unter Einwirkung des sehr intensiven Photonenstrahls sowie der Streuung von Photonen an so genannten Clustern stand die weitere Optimierung der FEL-Verstärkung im Vordergrund. Um Sättigung zu erreichen, wurde unter anderem mit Hilfe eines an der TU Darmstadt geschriebenen Programms der Bereich der Elektronenquelle mit sehr hoher Präzision ausgerichtet. Die Ablage des Elektronenstrahls wurde in Abhängigkeit von der Einstellung von Strahlführungsmagneten gemessen. Das Programm simulierte den Strahltransport und ermittelte die notwendigen Korrekturen in der Aufstellung.

Für das Verständnis des optimierten FEL-Betriebs ist weiterhin die gründliche Untersuchung der Intensitätserhöhung durch Verkürzung der Elektronenpakete im so genannten Bunch-Kompressor Voraussetzung. Die Verkürzung wird durch unterschiedliche Laufzeiten in einer magnetischen Schikane realisiert. Nach einer leichten Energiemodulation im ersten Beschleunigerabschnitt legt der niederenergetischere Kopf des Paketes in der Schikane eine längere Strecke zurück als der höherenergetische Schwanz. Dies bewirkt die Verkürzung des Paketes, birgt aber die Gefahr, dass die bei der Ablenkung in den Magneten der Schikane entstehende Synchrotronstrahlung die Strahlqualität verschlechtert. In der Tat kann bei relativ kurzen Elektronenpaketen das von den hinten fliegenden Elektronen abgestrahlte Licht die vorn fliegenden einholen und diese beeinflussen. Es kommt zu einer kohärenten Abstrahlung von Synchrotronstrahlung, und die Intensitätsverteilung entlang der Flugrichtung wird stark beeinflusst. Ein einzelnes Paket kann, ähnlich wie oben für Wakefields beschrieben, regelrecht zerreißen, so dass im Undulator für den FEL-Prozess kein wohldefinierter kurzer und intensiver Puls mehr zur Verfügung steht. Eine Reihe von Messungen führte zu einem tieferen Verständnis dieser kohärenten Abstrahlung von Synchrotronstrahlung. Die Messungen müssen jedoch mit einer im November in den Bunch-Kompressor eingebauten flacheren Vakuumkammer wiederholt werden. Sie kann das Ergebnis laut Theorie beeinflussen.

Verbesserte Instrumentierung

Eine Reihe weiterer Verbesserungen kann hier nur kurz aufgezählt werden. So wurde zum Beispiel die Präparation der Kathoden in der Elektronenquelle deutlich verbessert, was eine merkliche Verringerung des Dunkelstroms und damit auch eine sehr stark abgeschwächte Aktivierung der Strahlführung zur Folge hat. Wesentlich waren auch die Arbeiten an den Diagnoseelementen zur Strahlstrommessung. Hier galt es, die Messgenauigkeit und die Zuverlässigkeit zu erhöhen, so dass diese so genannten Torroide im Maschinen-Interlock zum Einsatz kommen können. Der Test eines neu entwickelten schnellen Strommonitors wird künftig die Strahlüberwachung für jedes einzelne Elektronenpaket erlauben. Dies gilt auch für den geplanten zeitlichen Abstand der Pa-

kete von 111 ns. Ein weiterer Drahtmonitor zum Ausmessen der Elektronenstrahlprofile konnte ebenso erfolgreich in Betrieb genommen werden wie auch alle Strahllagemonitore im Bereich der ersten beiden Undulatorabschnitte. Eine neu aufgebaute Elektronik wird zur Überwachung der Flugzeit der Elektronenpakete im Bereich des Bunch-Kompressors eingesetzt. Eine Online-Dosimetrie mit Hilfe von Lichtwellenleitern (LWL) wurde in Zusammenarbeit mit dem Hahn-Meitner-Institut in Berlin und dem Fraunhofer-Institut in Euskirchen weiter verbessert. Die Messung mit LWL entlang dem TTF-LINAC wurde in das Kontrollsystem integriert. Eine neue Messmethode mit gewickelten LWLs erlaubt eine schnelle und empfindliche Online-Messung der Ortsdosis an definierten Positionen.

Der auf Seite 233 im Detail beschriebene FEL-Betrieb profitierte sehr von der Tatsache, dass der TTF-LINAC seit dem Sommer auch vom Hauptbeschleunigerkontrollraum (BKR) aus gesteuert werden kann. Hierbei wurde insbesondere der FEL-Nutzerbetrieb vom BKR aus ermöglicht. Die erforderlichen Konsolen wurden installiert. Nachdem einige Teilsysteme bereits in der Vergangenheit von Partnerinstituten, zum Beispiel aus Paris, betreut und gesteuert wurden, konnte im Spätsommer erstmalig der gesamte LINAC auch aus Italien bedient werden. Ein weiterer wichtiger Schritt auf dem Weg zu einem gemeinsamen, partnerschaftlich betriebenen LINAC ist die Einführung eines elektronischen Logbuches, das von verschiedenen Arbeitsplätzen zuverlässig beschrieben und gelesen werden kann. Alle Grafiken von Messergebnissen sowie Statusbilder können von verschiedenen Rechnern direkt in das Logbuch geschrieben werden. Die Texteingabe und die Darstellung erfolgen über einen Standardbrowser wie Netscape. Neueste Internet-Technologien wie XML, XSL und JAVA Servlets werden verwendet, um das Logbuch zu verwalten und darzustellen. Nach einigen kleineren Korrekturen wurde das elektronische Logbuch von den Benutzern so gut angenommen, dass die Papierform aufgegeben wurde. Mit diesem neuen Logbuch können jetzt alle Mitglieder der TESLA Kollaboration sowie die Experten in ihren Büros sehr viel stärker an den Ergebnissen und Problemen des Beschleunigerbetriebs teilhaben. Die Wahl von offenen Internet-Standards ermöglicht einen zukünftigen Ausbau dieser Technologien zur weiteren Integration von verteilten Informationen.

Dies ist der Weg zu einem globalen Beschleuniger-Netzwerk, in dem Komponenten nicht nur in auswärtigen Instituten entwickelt und gebaut werden, sondern nach der Installation auch die dauerhafte Betreuung der Beschleunigersektionen möglich ist. Der Aufstellort des Beschleunigers wird unwichtiger. Ein partnerschaftlicher Betrieb ist möglich. Im August wurde begonnen, den TTF-LINAC Betrieb statistisch zu erfassen. So ist es möglich, neben der gesamten

Betriebsdauer von inzwischen über 11 000 Stunden Angaben über die Aufteilung der Strahlzeit zu machen. Erwähnenswert ist an dieser Stelle, dass die typische Effektivität in FEL-Betriebszeiten inzwischen oberhalb von 75% liegt. Die durch Ausfälle bedingten Betriebsunterbrechungen liegen über Wochen gemittelt unter 20%. Insgesamt waren im Berichtszeitraum etwa 2500 Stunden FEL-Betrieb für von HASYLAB durchgeführte Experimente möglich.

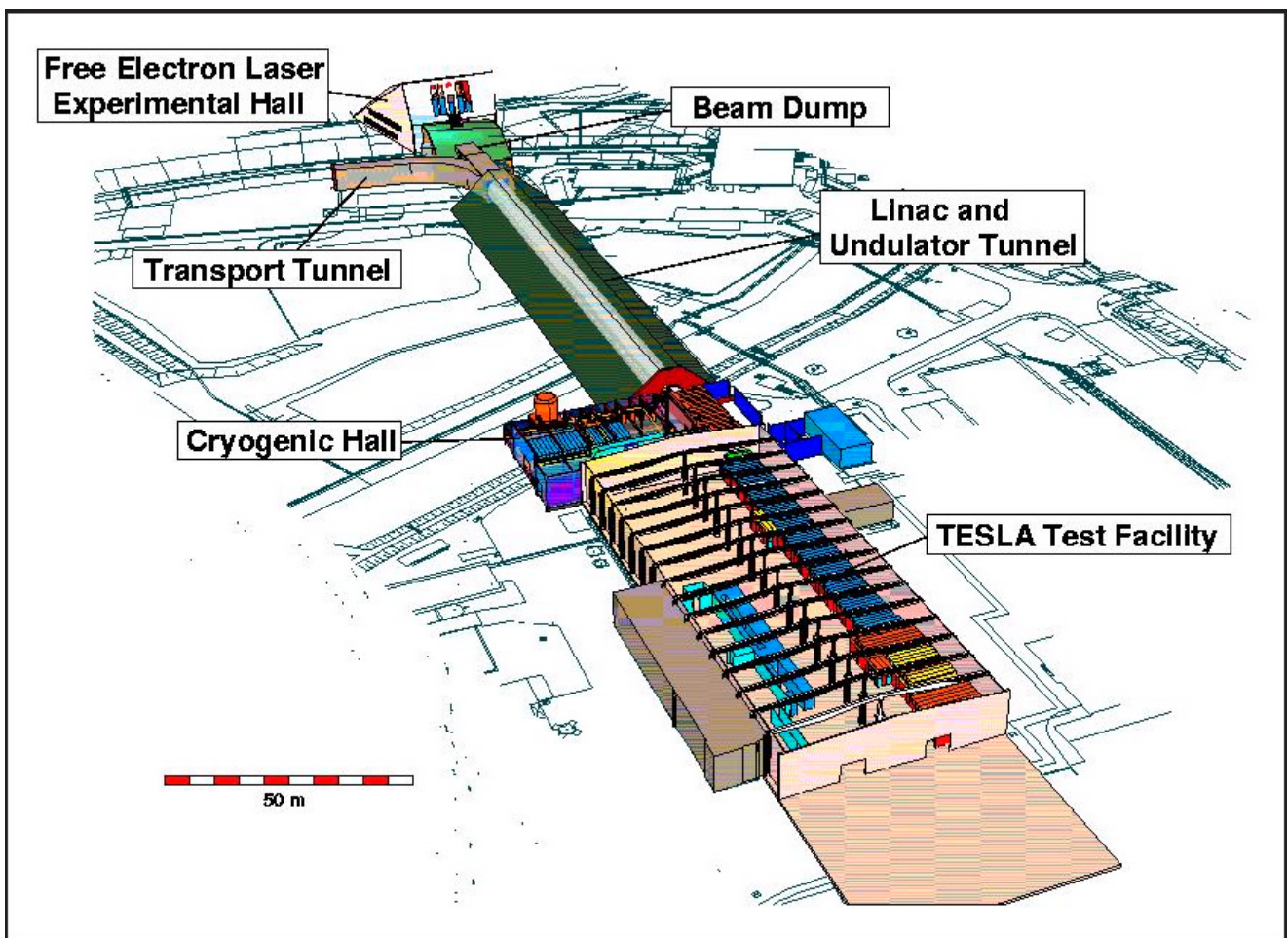


Abbildung 128: Der SASE FEL für sehr kurze Wellenlängen nach Erweiterung der TESLA Test Facility (TTF FEL Phase 2).

Entwicklung eines Freie-Elektronen Lasers für sehr kurze Wellenlängen

Das Prinzip des Freie-Elektronen Lasers (FEL) ermöglicht es, mit sehr großer Effizienz Bewegungsenergie eines Elektronenstrahls in elektromagnetische Strahlung umzuwandeln. Durch das Prinzip der selbst-verstärkten spontanen Emission („Self-Amplified Spontaneous Emission“ SASE) und durch den Einsatz eines Linearbeschleunigers mit exzellenter Strahlqualität sollte sich ein FEL auch im VUV- und Röntgenbereich betreiben lassen. Dies verspricht gegenüber derzeitigen Synchrotronstrahlungsquellen eine Verbesserung der Photonenstrahl-Qualität, die in einigen Aspekten 8–10 Größenordnungen beträgt.

Das Grundprinzip und die wichtigsten Komponenten wurden in früheren Jahresberichten beschrieben (u.a. 1995). Der SASE FEL bei DESY wird an der TESLA Test Facility (TTF) installiert, weil dieser Linearbeschleuniger als idealer Treiber für einen FEL angesehen wird. Die Realisierung erfolgt in zwei Stufen: Die erste Phase verfolgt das Ziel eines so genannten „Proof of Principle“, das heißt den Nachweis, dass das SASE Verfahren bei Wellenlängen im Bereich zwischen 70 und 140 nm so funktioniert wie erwartet, und dass die erforderliche Elektronenstrahl-Qualität technisch realisierbar ist.

In der zweiten Ausbaustufe soll der TTF-Linac durch Installation von vier weiteren Linac-Abschnitten auf 1 GeV Strahlenergie erweitert und der Undulator auf etwa 30 m verlängert werden. Diese Anlage wird weniger als 6 nm Wellenlänge erreichen und soll Nutzern zur Verfügung stehen. Die ganze Entwicklung erfolgt mit maßgeblicher Unterstützung von Wissenschaftlern aus 37 Instituten aus elf Nationen. Abbildung 128 gibt einen Überblick über beide Phasen der Anlage.

Die Arbeiten zum FEL im Berichtszeitraum 2001 konzentrierten sich auf die Demonstration der vol-

len FEL-Leistung an Phase 1 einschließlich erster Pilot-Experimente durch wissenschaftliche Nutzer, die technische Konstruktion und Auftragsvergabe für Phase 2 sowie auf den Technical Design Report (TDR) zu einem Höchstleistungs-FEL im Sub-Nanometer-Bereich, der als integraler Bestandteil des TESLA-Projekts geplant wird.

Der FEL an der TTF

Phase 1

Im Laufe des Jahres 2001 gelang es, die Verstärkungsleistung des FEL gegenüber dem im Vorjahr erreichten Wert von 10^3 – 10^4 schrittweise um mehrere Größenordnungen zu erhöhen. Der Erfolg beruhte auf der Optimierung nicht eines einzelnen, sondern mehrerer Betriebsparameter, wie der Einstellung des Bunch-Kompressors, des Photoinjektors und der Elektronenstrahllage im Undulator. Dem Wunsch der ersten wissenschaftlichen Nutzer folgend, konzentrierten sich die Bemühungen auf den Wellenlängenbereich zwischen 80 nm und 120 nm. Am 10. September wurde der maximal mögliche Verstärkungsfaktor von 10^7 erreicht.

Der Nachweis, dass Lasersättigung erreicht wurde, erfolgte durch genaue Vermessung der Eigenschaften des Laserstrahls. Die Strahlungsintensität als Funktion der longitudinalen Koordinate im Undulator ist in Abbildung 129 zu sehen. Da die Intensität nur am Ausgang des Undulators gemessen werden kann, wurde diese Information dadurch gewonnen, dass die aktive Länge des Undulators absichtlich schrittweise verkürzt wurde. Das ist möglich, indem die Korrekturmagnete für die Elektronenstrahllage einer nach dem anderen, und zwar von hinten beginnend, so stark erregt werden, dass der Überlapp zwischen Elektronen- und Photonenstrahl zerstört und dadurch der FEL-Prozess gestoppt

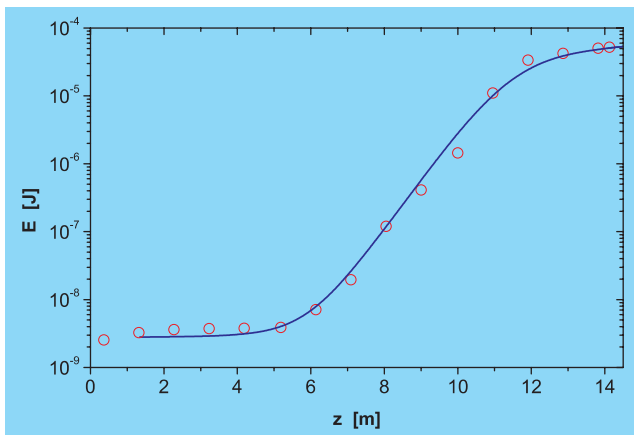


Abbildung 129: Mittlere Energie der FEL-Strahlungspulse (vertikale Achse in logarithmischem Maßstab) bei 98 nm Wellenlänge als Funktion der aktiven Länge des Undulators. Kreise: Messwerte. Kurve: Numerische Simulation.

wird. Auf den letzten zwei Metern knickt die Verstärkungskurve deutlich vom exponentiellen Anstieg ab, was ein Hinweis auf das Erreichen der Sättigungsleistung ist. Im ersten Teil des Undulators ist der exponentielle Anstieg in dieser Darstellung nicht sichtbar, weil er von der spontanen Strahlung des Undulators überdeckt wird. Die gemessene absolute Pulsenergie sowie der Öffnungswinkel der Strahlung stimmen mit den theoretisch erwarteten Werten für Lasersättigung überein.

Durch eine Verbesserung der Messtechnik wurde es möglich, die Spektren einzelner Laserpulse zu messen. Einige solcher Spektren sind in Abbildung 130 zu sehen, zusammen mit dem gemittelten Spektrum vieler FEL-Pulse. Aus diesen Spektren lässt sich der wichtige Schluss ziehen, dass die Strahlungspulse nur etwa 50 fs lang sind. Dass die Spektren innerhalb einer festen Bandbreite beträchtlich fluktuieren, ist mit dieser Feststellung konsistent.

Die Strahlungsleistung im Puls beträgt etwa 1 GW. Mit der erreichten Spitzenbrillanz ist der TTF FEL millionenfach besser als moderne Speicherringe für Synchrotronstrahlung und tausendfach besser als jede andere heute verfügbare Strahlungsquelle in diesem Wellenlängenbereich. Der TTF FEL hat damit die wesentlichen Entwurfparameter für Phase 1 erreicht.

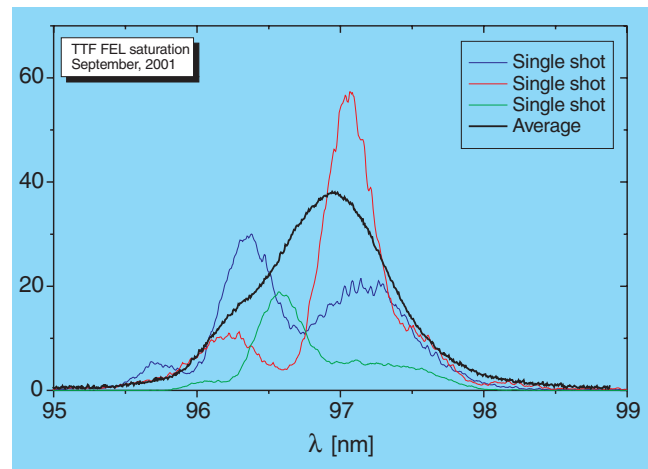


Abbildung 130: Spektren einzelner FEL-Strahlungspulse (dünne, farbige Linien) und des gemittelten Spektrums (dicke Linie) bei Sättigung der Leistung.

Wenige Tage nach dem Erreichen der Sättigungsleistung nahmen erste wissenschaftliche Nutzer den Experimentierbetrieb auf. Obwohl die TTF in der Phase 1 nicht für einen routinemäßigen Experimentierbetrieb vorgesehen und ausgerüstet wurde, konnte schon nach wenigen Wochen eine hohe Zuverlässigkeit des Nutzerbetriebs im 24-Stunden-Betrieb erreicht werden (Abb. 131).

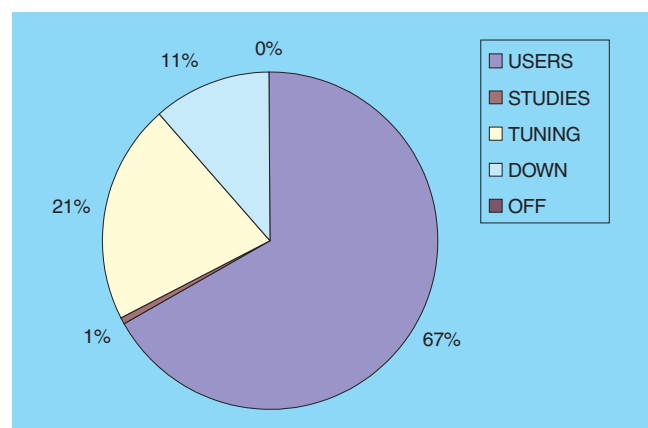


Abbildung 131: Betriebsstatistik der TTF während der Woche 8.10.01 – 14.10.01. Während zwei Drittel der gesamten Betriebszeit war der FEL in Sättigung und lieferte Strahl für wissenschaftliche Nutzer. 21% der Zeit wurde verwendet, um diesen Zustand zu erreichen bzw. zu erhalten.

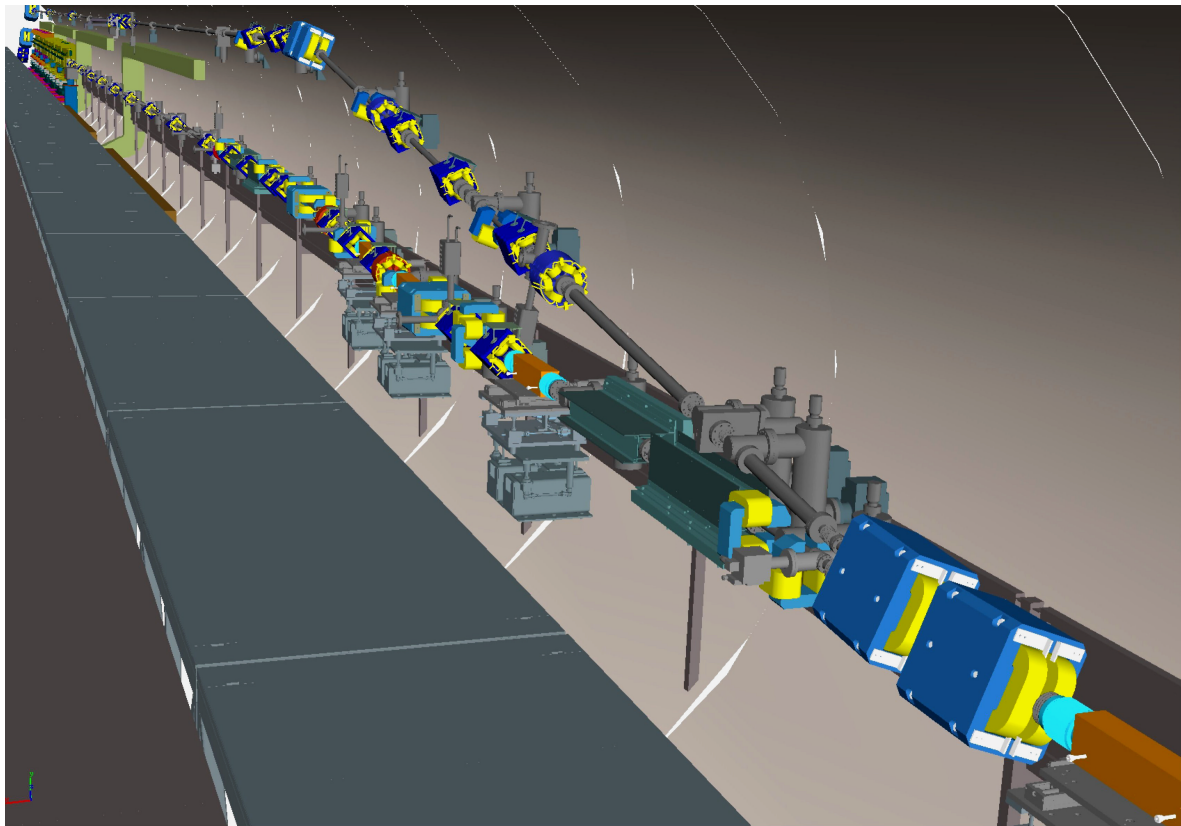


Abbildung 132: Dreidimensionale Konstruktionszeichnung für TTF2 im Bereich der Abzweigung des Undulator-Bypasses mit Blick in Strahlrichtung.

Phase 2

Das Ziel der zweiten Ausbaustufe ist es, noch kürzere Wellenlängen zu erreichen und den Strahl für Experimente zur Verfügung zu stellen. Die erforderliche Tunnelverlängerung wurde 1999 im Rohbau fertig gestellt. Der Einbau der Beschleunigerkomponenten und Undulatoren ist für die Jahre 2002–2003 geplant, so dass sich die Arbeiten im Jahr 2001 auf den Abschluss der Konstruktion nahezu sämtlicher Bauteile und auf die Bestellung der zu beschaffenden Komponenten konzentrierte.

Die Beiträge der Technischen Gruppen sind in deren Berichtsteil beschrieben und betreffen unter anderem:

MKK: Modulare Container zur Versorgung unterschiedlicher Bauteile im Tunnel mit Strom, Wasser und Elektronik wurden entwickelt, die voll bestückt unter die Lauffläche im Tunnel eingebaut und schnell an-

geschlossen werden können. Diese technische Lösung wird später bei der Realisierung des TESLA-Projektes von großem Nutzen sein.

MVA, MVP, Zeuthen, ZM1: Die einzelnen Vakuumabschnitte wurden von verschiedenen Gruppen übernommen, wobei MVP die vakuumtechnische Koordination und ZM1 die Erstellung einheitlicher Übersichtszeichnungen verantwortet. Besonderes Augenmerk erforderten

- die erforderliche Partikelfreiheit (zur Vermeidung von Kontamination des supraleitenden Beschleunigers),
- die gewünschte Glattheit der inneren Vakuumkammer-Oberfläche (kritisch wegen der extrem kurzen Elektronenpakete und der engen Toleranz des FELs gegen Energiebreite des Elektronenstrahls) erforderte spezielle Lösungen, zum Beispiel HF-Abschirmungen für Wellbälge,

- keramische Vakuumkammern mit einer dünnen Edelstahlbeschichtung für sehr schnell gepulste Korrekturmagnete, mit deren Hilfe die Elektronenstrahlage im Undulator auf besser als $10\text{ }\mu\text{m}$ stabilisiert werden soll,
- ein System verstellbarer Absorberblenden, mit deren Hilfe der Undulator gegen Strahlenschäden durch Elektronen mit zu großer Abweichung vom Sollwert geschützt wird,
- ein zweiter Strahlweg für die Elektronen am Undulator vorbei. Er wird unter die Tunneldecke gehängt und ermöglicht die Inbetriebnahme und Optimierung der Elektronenstrahlparameter, ohne den Strahl durch den Undulator führen zu müssen. Dieser Bypass wird auch verwendet, um ein Target aufzubauen, mit dem mechanische Eigenschaften verschiedener Materialien unter Beschuss mit konzentrierten Elektronenstrahlen untersucht werden sollen.

Ein Teil des Strahlweges für TTF2 ist in Abbildung 132 dargestellt.

MDI: Die Instrumentierung des TTF2-Beschleunigers erfordert wegen der extremen Strahlparameter und der engen Toleranzen einige anspruchsvolle Neuentwicklungen. Dabei sind die an TTF1 gewonnenen Erfahrungen eine unverzichtbare Grundlage. Einige der Projekte werden in Kollaborationen mit anderen DESY-Gruppen sowie mit in- und ausländischen Instituten

bearbeitet. Als Beispiel sei ein neuartiges, auf Glasfasern basierendes Dosimetersystem genannt, welches in Zusammenarbeit mit dem Hahn-Meitner-Institut (Berlin) und der Fraunhofer-Gesellschaft (INT Euskirchen) entwickelt wurde und auf eine vergleichsweise einfache und preiswerte Weise eine orts aufgelöste Online-Information über die Verteilung der Strahlungsdosis auch an schwer zugänglichen Bauteilen erlaubt.

MKS: Der Umbau des Injektors für TTF2 erfordert wesentliche Änderungen der Heliumkälteverteilung für die Anschlüsse der ersten beiden Kryomodule (ACC1 und ACC2). Die benötigten Komponenten wurden spezifiziert und zur Beschaffung ausgeschrieben. Im November 2001 wurden zum ersten Mal probeweise die Kompressoren der HERA-Kälteanlage benutzt, um die 900 W Coldbox der TTF-Anlage zu versorgen.

Vorstudien zu einem Röntgen-FEL als Teil des TESLA-Projektes

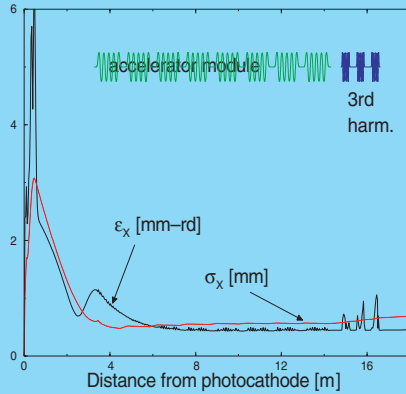
Die Studien zum Entwurf eines Höchstleistungs-FELs für Wellenlängen bis hinunter zu 0.1 nm (kurz: XFEL) wurden fortgesetzt. In der ersten Hälfte des Berichtszeitraums konzentrierten sich die Arbeiten darauf, technisch-wissenschaftliche Fragen zu klären, die für die Spezifikation und Kostenermittlung des XFEL-Labors wesentlich waren, sowie auf die Abfassung

Verwendetes Programm	Institut der Autoren	Zweck
ASTRA	DESY	Raumladungsdominierter Strahltransport
TraFiC4	DESY	Selbstkonsistente Berechnung der kohärenten Synchrotronstrahlung und ihrer Wirkung auf den Strahl
MAFIA	DESY/TUD/CST	Berechnung elektromagnetischer Felder, z.B. Wakefields
elegant	ANL Argonne	Schnelle Verfolgung von Elektronenbahnen einschließlich vereinfachter Behandlung von Wakefields und kohärenter Synchrotronstrahlung
GENESIS1.3	DESY	Dreidimensionale Berechnung des SASE FEL-Prozesses unter Berücksichtigung von Feldstörungen
FAST	DESY/JINR	Schnelle Berechnung des SASE FEL-Prozesses zur Optimierung von Parametern

Tabelle 2: *Computer-Programme, die zur Verfolgung der Elektronenstrahlqualität entlang des XFEL-Beschleunigers verwendet wurden.*

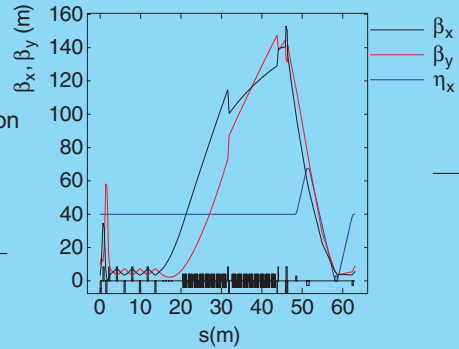
Complete Simulation of the TESLA X-FEL (25 GeV, 1A)

Injector calculated with ASTRA



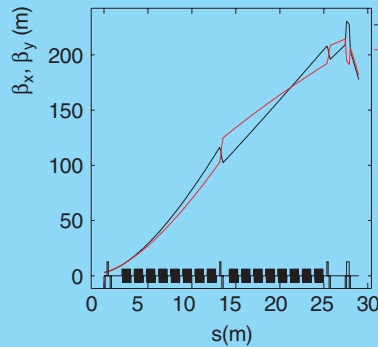
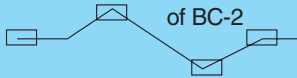
Transport between BC-1 and BC-2 with elegant

TraFiC4 calculation of BC-1



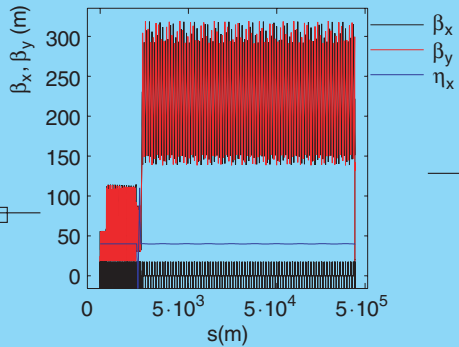
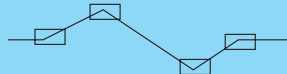
Twiss parameters—input: teslaxdelGold.ele lattice: teslaxdelGold.lite

TraFiC4 calculation of BC-2



Twiss parameters—input: teslaxdelGold.ele lattice: teslaxdelGold.lite

TraFiC4 calculation of BC-3



Twiss parameters—input: teslaxdelGold.ele lattice: teslaxdelGold.lite

Transport between BC-2 and BC-3 with elegant

Transport between BC-3 and undulator with elegant

GENESIS

Abbildung 133: Schema der Computersimulation für die vollständige Elektronenstrahldynamik im TESLA XFEL. Für die verschiedenen Abschnitte des Beschleunigers wurden unterschiedliche Programme verwendet, die auf die jeweiligen spezifischen Probleme spezialisiert sind.

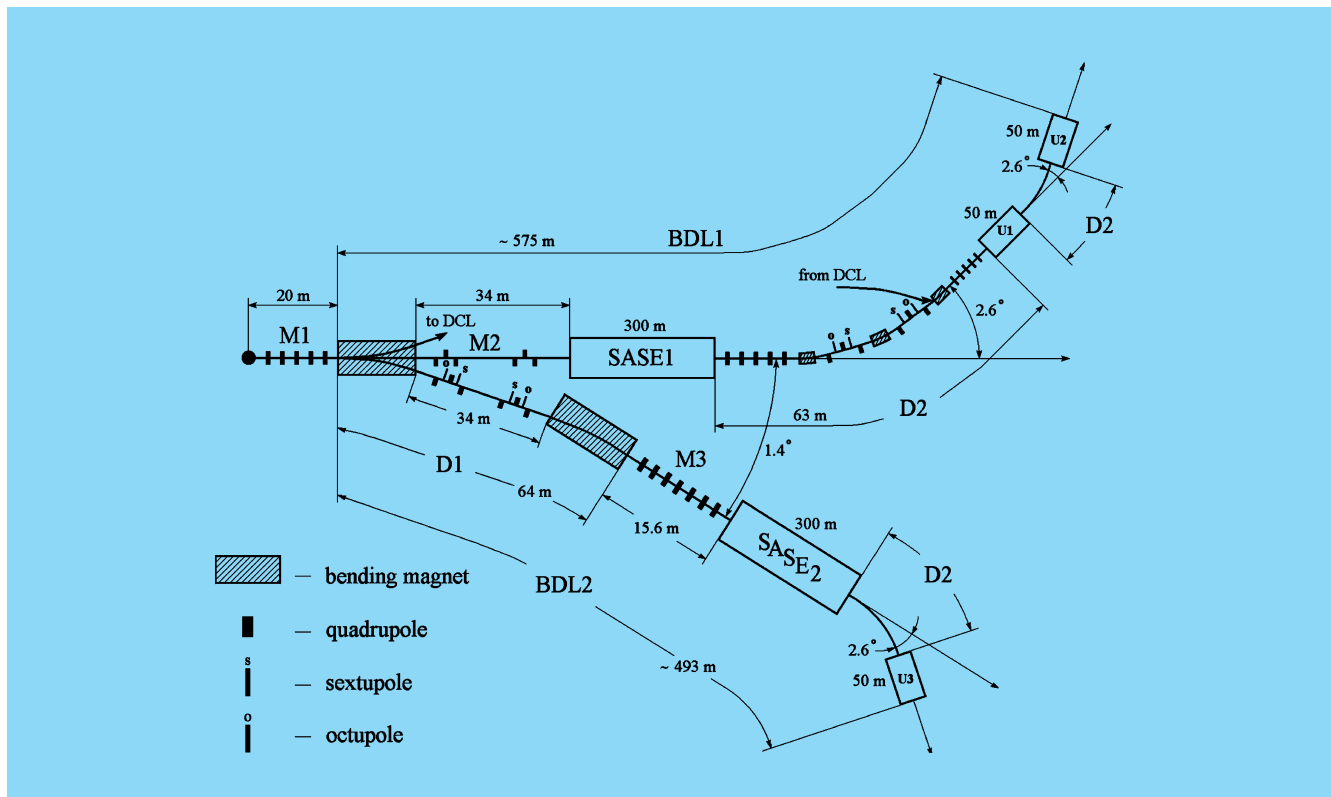


Abbildung 134: Detaillierte Auslegung der Elektronenstrahlverteilung auf verschiedene Undulatoren. Die Magnetoptik garantiert, dass der Elektronenstrahl innerhalb einer Energie-Bandbreite von $\pm 3\%$ ungestört an den Eingang der verschiedenen Undulatoren transportiert wird.

des Technical Design Reports selbst (TESLA TDR Part II, Kapitel 9). Dabei wurden die Beiträge einiger hundert Co-Autoren aus 54 Instituten aus aller Welt zusammengeführt. Als Beispiel seien genannt:

- Die Qualität des Elektronenstrahls kann von der Quelle bis zum Undulator durch zeitabhängige Hochfrequenzfelder, Raumladungskräfte, Wakefields sowie spontane und kohärente Synchrotronstrahlung in Mitleidenschaft gezogen werden. Nur eine vollständige Computersimulation kann ein hinreichend genaues Bild der akkumulierten Störungen liefern. Für die verschiedenen Abschnitte des Beschleunigers müssen unterschiedliche Programme verwendet werden, die auf die jeweiligen Probleme spezialisiert sind. Die meisten dieser Programme, die in Tabelle 2 aufgelistet sind, wurden im Laufe der vergangenen Jahre im Rahmen der

TESLA-Kollaboration entwickelt. Abbildung 133 illustriert schematisch die Reihenfolge der Simulationsschritte.

- Der Elektronenstrahl wird nach der Beschleunigung zu den verschiedenen Undulatoren geleitet, wobei schnell schaltende Ablenkmagnete dafür sorgen, dass die Undulator-Zweige im gewünschten Verhältnis mit Strahl versorgt werden. Dieses Strahlverteilungssystem muss dafür sorgen, dass der Elektronenstrahl innerhalb einer Energie-Bandbreite von $\pm 3\%$ ungestört an den Eingang der verschiedenen Undulatoren transportiert wird und dass die Undulatoren auf die gewünschte Position in der Experimentierhalle ausgerichtet sind. Ein Teil dieses Systems ist in Abbildung 134 zu sehen, wobei die Maßstäbe verzerrt wurden, damit die Ablenkwinkel besser zu erkennen sind.

Strahlenschutz

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

Neue Strahlenschutzverordnung

Mit Wirkung zum 1. August 2001 ist eine neue Strahlenschutzverordnung in Kraft getreten, die den Schutz von Mensch und Umwelt vor radioaktiver Strahlung auf eine neue Grundlage stellt. Damit werden die europäischen Vorgaben der Richtlinien 96/29 EURATOM („Grundnormen“) und 97/43 EURATOM („Patientenschutz“) in deutsches Recht umgesetzt. Für den praktischen Strahlenschutz hat dies zur Folge, dass die Dosisgrenzwerte für die Bevölkerung auf 1 mSv pro Jahr und für beruflich strahlenexponierte Personen auf 20 mSv pro Jahr abgesenkt wurden. Direkte Folge davon ist die entsprechende Absenkung der Grenzwerte für die Einrichtung von Strahlenschutzbereichen. Weiterhin ist die Freigabe für Stoffe aus genehmigungsbedürftigem Umgang mit radioaktiven Stoffen oder dem Betrieb von Anlagen nun bundesweit und umfassend geregelt.

Die von der Strahlenschutzgruppe daraufhin getroffenen Maßnahmen beinhalten die Vermittlung der oben erwähnten Neuerungen in den entsprechenden Unterweisungen der Mitarbeiter sowie die Revision und teilweise Änderung der Strahlenschutzbereiche bei DESY.

Ortsdosimetrie

Den Vorschriften der neuen 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 unterschiedliche Messprinzipien verwendet.

Das eine Messprinzip besteht aus einem System von 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 die gemessenen Dosiswerte entsprechend den gesetzlichen Bestimmungen archiviert. Dieses System ist gut zur Überwachung des Betriebsgeländes geeignet, Resultate erhält man aber erst nach Ablauf der einmonatigen 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 253 Stellen mit integrierenden Festkörperdosimetern und an 85 Positionen mit aktiven Geräten überwacht. Alle Messwerte werden für das jeweils zurückliegende Jahr in einem Internen Bericht veröffentlicht. Gegenüber den Werten von 2000

haben sich die gemessenen Ortsdosen im Berichtszeitraum in fast allen Fällen nur unwesentlich verändert. In einzelnen HERA-Hallen wurden aufgrund von Anlaufproblemen des HERA-Beschleunigers an einigen Stellen erhöhte Ortsdosen gemessen. Allerdings haben sich die Werte nach den ersten Monaten schnell wieder auf normalem Niveau eingependelt, so dass hier auf die Einrichtung von Kontrollbereichen verzichtet werden konnte. Wegen der oben angesprochenen Änderung der Gesetzeslage mussten allerdings an einigen anderen 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. Diese wurden bis Ende 2000 vom CERN bereitgestellt und ausgewertet, Anfang 2001 wurde die Bereitstellung und Auslese von der GSF (Neuherberg) übernommen. Festkörperdosimeter wie auch Kernspur-Filme werden bei DESY im Zwei-Monats-Rhythmus getauscht.

Derzeit werden regelmäßig 1087 Personen überwacht. Dazu kommen noch etwa 560 Gäste, die nur kurzzeitig bei DESY arbeiten. Insgesamt werden alle zwei Monate jeweils etwa 1000 Dosimeter für Photonen und 120 für Neutronen verteilt und deren Auswertergebnisse in einer Datenbank archiviert. Im Zeitraum November 2000 bis Oktober 2001 wurden auf 53 Dosimetern (von etwa 6900) Dosen registriert, die über der amtlichen Schwelle von 0.1 mSv lagen. Die höchste Personendosis betrug 13 mSv und die zweit höchste 1.8 mSv pro zwei Monate. Die sehr hohe Dosis von 13 mSv in einem Überwachungsintervall resultierte aus dem unsachgemäßen Umgang mit einer radioaktiven Quelle und kann nicht als Personendosis verstanden werden, zudem lag der gemessene Wert noch deutlich unter der maximal zugelassenen Dosis für beruflich strahlenexponierte Personen von seinerzeit 50 mSv pro Arbeitsjahr. Die etwas erhöhten restlichen Personendosen lassen sich mit der sehr langen Wartungsperiode während des Überwachungszeitraumes erklären und sind fast ausschließlich durch Arbeiten nahe dem ZEUS-Kalorimeter entstanden. Alle diese bei DESY gemessenen Personendosen liegen aber sehr weit unterhalb des zugelassenen Grenzwertes.

Allgemeine Projekte

Angeregt durch die für DESY zuständige Aufsichtsbehörde, das Amt für Arbeitsschutz, gibt es bei DESY zum 1. Januar 2002 eine grundlegende personelle Neuorganisation des Strahlenschutzes. Kern dieser Neuerung ist die Ablösung der, rechtlich nicht definierten, Aufsichtsführenden für den Strahlenschutz durch Strahlenschutzbeauftragte. Um die 44 künftigen Strahlenschutzbeauftragten zu schulen, wurde im März 2001 ein spezieller behördlich anerkannter Strahlenschutz-Fachkudkurs, der Voraussetzung ist für die Bestellung zum Strahlenschutzbeauftragten, von der Strahlenschutzgruppe organisiert und am DESY durchgeführt. Es konnten im Rahmen dieses Kurses 30 angehende Strahlenschutzbeauftragte im Sinne der Strahlenschutzverordnung erfolgreich ausgebildet werden.

Aufgrund der oben angesprochenen Änderung der Freigabe für Stoffe aus genehmigungsbedürftigem Umgang mit radioaktiven Stoffen oder dem Betrieb von Anlagen im Rahmen der neuen Strahlenschutzverordnung wurde mit der Planung und Errichtung einer neuen Halle zur Lagerung von radioaktiven Abfällen begonnen, deren Fertigstellung für Anfang 2002 geplant ist. Durch die neuen, teilweise deutlich reduzierten Freimessgrenzen werden sich die abzugebenden Mengen an nicht radioaktiven Stoffen reduzieren und die einzulagernden Mengen an radioaktiven Stoffen deutlich vergrößern. Ein praktikables Verfahren der Freigabe wird Anfang 2002 zusammen mit der Aufsichtsbehörde erarbeitet werden, ebenso wird ein Abfall-Management-Konzept vorbereitet, das der gesetzlich vorgeschriebenen Buchhaltungspflicht Rechnung trägt.

Im Bereich HERA gab es nach fast zehn Jahren Betrieb eine Revision der erforderlichen Erdabschirmung des Tunnels, bei der die früher gemachten Annahmen anhand der gemessenen Strahlverluste und Ortsdosen überprüft wurden. Die Ergebnisse wurden in einem zusammenfassenden Papier dargestellt, und ein neues, aktuelles Abschirmkonzept vorgestellt.

Arbeiten für TESLA

Die Strahlenschutzgruppe ist beteiligt am Bau und an der Installation einer Strahlenüberwachungsanlage

für den in DESY-Zeuthen aufgebauten Hochfrequenz-Photoinjektor, der als Testeinrichtung für den Linear-Collider TESLA dient. Hierzu wurden modifizierte Messkammern (neue Vorverstärker und Hochspannungsmodule), ein neues Auslesesystem (CAN-Bus) sowie Datenspeicherung (mysql auf Linux) und Visualisierung (Java auf Linux) von der Gruppe FE entwickelt. Das System wurde 2001 fertig gestellt, getestet, in Zeuthen installiert und in das Interlock-System eingebunden.

Für die Erweiterung der TESLA Test Facility (TTF2) wurde der Sicherheitsbericht überarbeitet und ergänzt, so dass er der neu auftretenden Problematik des gleichzeitigen und unabhängigen Betriebes der zwei Maschinen TTF und PETRA Rechnung trägt.

Für den TESLA TDR wurden Anfang 2001 einige ergänzende neue Studien durchgeführt. Eine davon beschäftigt sich mit der Aktivierung von Luft im Tunnel des TESLA-Beschleunigers. Hierzu wurden zwei verschiedene Lüftungskonzepte untersucht und deren Auswirkungen auf die am Lüftungsausstritt entstehenden Dosen studiert. Im Falle des geschlossenen Systems, bei welchem der Luftaustausch nur an den Wartungstagen geplant ist, wurde eine Dosis gefunden, die drei Größenordnungen unter dem gesetzlichen Grenzwert liegt, wohingegen im Falle des offenen Systems, bei welchem die Lüftung kontinuierlich läuft, eine Dosis gefunden wurde, die eine Größenordnung unter dem gesetzlichen Grenzwert liegt. Für den Bereich der Positronen-Quelle wurden in einem weiteren Bericht die Flüsse der Photonen und Neutronen untersucht sowie die Aktivierung der Positronen-Quelle berechnet. Es wurden sowohl Abschirmungsvorgaben für den Betrieb als auch für die Wartungsphasen gemacht. Eine weitere Studie beschäftigt sich mit der Aktivierung der Hauptstrahlabsorber und der daraus resultierenden Problematik im Bereich der Strahlabsorberhallen, sowie mit der Aktivierung des den Hauptstrahlabsorber umhüllenden Bodens und Grundwassers. Hier wurde ein neues, realis-

tischeres Modell entwickelt, welches die Ausbreitung der Aktivität räumlich beschreibt.

Im Sommer 2001 wurde der erste Entwurf der Umweltverträglichkeitsstudie (UVS) für das TESLA-Projekt mit Hilfe der Strahlenschutzgruppe angefertigt. Die UVS gibt einen zusammenfassenden Überblick über alle Umwelt-relevanten Aspekte bei der Errichtung und dem Betrieb der neuen Beschleunigeranlage TESLA. Im Bereich Strahlenschutz wurden keine prinzipiellen Probleme in Bezug auf die Umweltverträglichkeit gefunden.

Im Rahmen der „SLAC RP & ESH Seminar Series“ wurde im Juli 2001 ein umfassender Überblick über die bisher für das TESLA Projekt untersuchten strahlenschutzrelevanten Aspekte gegeben.

Kollaboration mit dem INP Krakau

Die Kollaboration mit dem Institute of Nuclear Physics in Krakau (Polen) besteht weiterhin und ist vorläufig bis zum Juni 2002 geplant. Sie soll hauptsächlich auf dem Gebiet strahlenschutzrelevanter Rechnungen für das Linear-Collider Projekt TESLA zusammenarbeiten.

Im Berichtszeitraum konnten weitere Teilprojekte abgeschlossen werden. Hierbei handelt es sich vorwiegend um Berechnungen im Bereich Strahlabsorber, die sich mit der Restenergie beschäftigen, die den eigentlichen Strahlabsorber aus Wasser verlässt und zu thermischen Problemen, Luftaktivierung und Abschirmungsproblemen führen kann. Es konnten gewisse Mindestanforderungen für die Abschirmung angegeben werden, um die Luftaktivierung in eine ähnliche Größenordnung zu bringen wie im Haupttunnel an typischen Verlustpunkten. Diese und weitere Rechnungen zur Aktivierung des Strahlabsorbers und der Abschirmungen wurden mit Hilfe des Simulationsprogramms FLUKA durchgeführt.