

Abbildung 113: DESYIII 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 stände.

#### **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 unkompensierten 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 Polarisation 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 Polarisation" zu untersuchen. Dieses Phänomen ist für die Polarisationsmessung in HERA wichtig. Die Files werden verwendet, um die erwartete kinetische Polarisation 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 Maxwellschen 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), TRAFIC<sup>4</sup> (selbstkonsistente Berechnung von Bunchen auf gekrümmten Bahnen, kohärente Synchrotronstrahlung), ASTRA (Teilchentracking mit Raumladungseffekten im niederenergetischen Bereich), ELEGANT (hochenergetisches Teilchentracking), 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 TRAFIC<sup>4</sup> 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 Rahmen 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<sup>10</sup> 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 Halbleiterpulser ersetzt. So wurden im Berichtszeitraum vier Ignitronpulser 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 Kickermagneten 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-

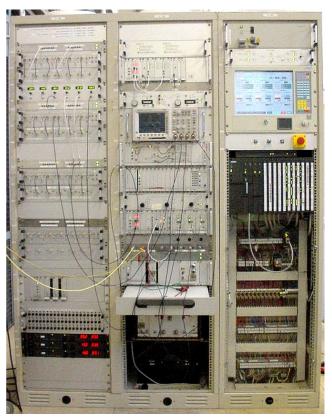


Abbildung 115: SPS-Anlagensteuerung mit "Siemens S7".

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,



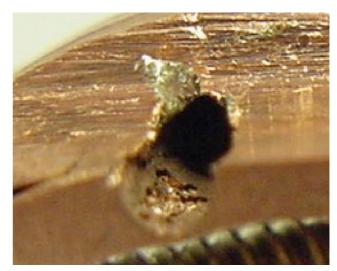


Abbildung 116: Links: Koppelschleife des ausgebauten HOM-Kopplers. Im Bereich der grauen Verfärbung, links oberhalb der Bildmitte, war das Wasser ausgetreten. Rechts: Ein Schnitt durch den Kühlwasserkanal offenbarte tiefe Erosionsspuren. Die ursprüngliche Materialdicke zwischen Wasserkanal und Vakuum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

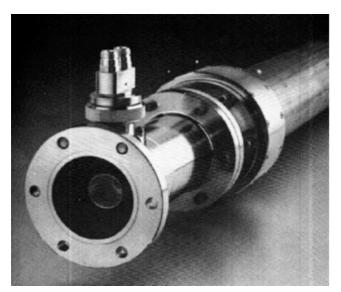




Abbildung 117: Links: 100 kW-3 1/8"-Koaxial-Absorber für Betrieb mit 30-prozentigem Glykol-Wassergemisch. Rechts: Wasserperlen durchdringen das poröse Kupfermaterial des koaxialen Außenleiters im Bereich des keramischen Fensters.

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 Multibunch 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 letzen zwei Kryostate für den TTF-FEL LINAC.
- Fertigstellung der Infrastruktur zum Test von einbis 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 kryogenischer 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 9zellige 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

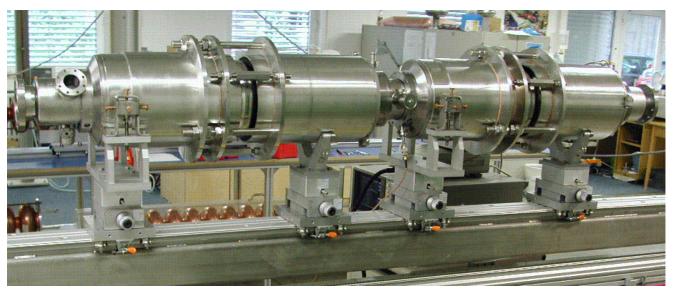


Abbildung 118: 2×7-zellige Niob-Struktur ("Superstruktur") auf der Montageschiene. Die Resonatoren sind in die Titan-Zylinder eingeschweißt, die später das Reservoir für das flüssige Helium bilden. In der Mitte dieser Behälter befindet sich die mechanische Einheit zum Abstimmen der Resonanzfrequenz.

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

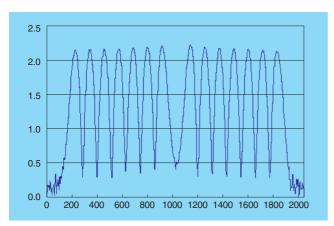


Abbildung 119: Anregung der Beschleunigungsfelder in der 2×7-zelligen "Superstruktur". Die gleichmäßige Feldstärke in den einzelnen Zellen konnte nach nur zwei Schritten einer Abstimmungsprozedur erreicht werden.

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 µm 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 μm 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 Bedienungsfreundlichkeit 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  $100\,\mu s$  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 "stateof-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 Kontroller 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 Netzgerätekontroller gebaut und in Betrieb genommen. Alle Netzgerätekontroller, die bei HERA zum Einsatz kommen, wurden mit einer neuen Software versehen. Bei DORIS wurden Netzgerätekontroller für die neue vertikale Strahllageregelung bereitgestellt. Darüber hinaus entstand eine Reihe von Spezialkontrollern, zum Beispiel

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

In Zusammenarbeit mit der Gruppe MKK begann die Entwicklung eines neuartigen Netzgerätekontrollers, der die Kontrollerfunktionen 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 Personenschutzeinrichtungen 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 Luminositätserhöhung 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 Wechselwirkungspunkten 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 Luminositätserhöhung 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 Luminositätserhöhung wurden umfangreiche Erweiterungen in dem Datenübertragungssystem SEDAC, in dem Pilothermsystem und in der Verkabelung vorgenommen.

Bei den Draht-Scannern in den Elektronenbeschleunigern mussten die leitenden Kohlefäden von 7  $\mu$ m Durchmesser durch nichtleitende Quarzfäden von 15  $\mu$ m 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

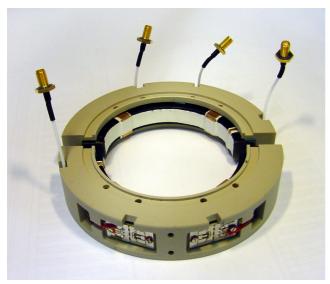


Abbildung 120: Schneller und teilbarer Bunchstrommonitor für TTF/TTF2.

seine Teilbarkeit ohne Öffnen des Vakuumsystems einund 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 Strahllage (Abb. 122), des Strahlstromes, der Strahlphase, der Strahlemittanz und der Stahlverluste 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-

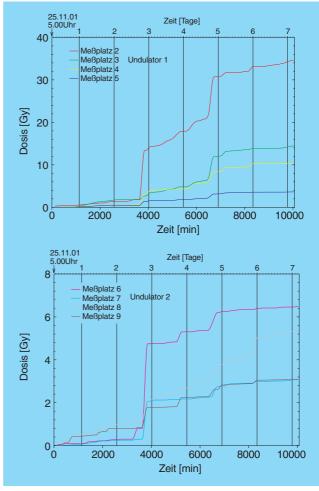


Abbildung 121: Ortsdosis an unterschiedlichen Messpositionen im Undulator 1 (oben) und Undulator 2 (unten), online gemessen mit gewickelten LWL-Sensoren. Die Kurven wurden in der 48. Kalenderwoche während TTF-Strahlbetrieb aufgenommen.

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

Die Entwicklung und der Service von Spezialmonitoren wurden von der Gruppe MDI weitergeführt. So wird zur Zeit ein hochempfindlicher kryogenischer 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-

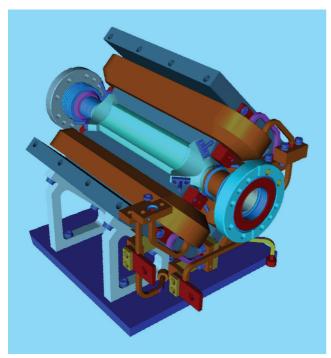


Abbildung 122: Stripline-Strahlpositionsmonitor für TTF2, fest verbunden mit einem Quadrupol. Diese Konstruktion erleichtert wesentlich das Positionieren des Strahls im Zentrum des Magneten.

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<sub>4</sub>-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 Kontrollund 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 Weiterentwickklung 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 Wechselwirkungszonen 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 Wechselwirkungszonen 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. Erstmalig 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 Orbitschwankungen 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 Keramikkammern als Teil von Feedbackkickern 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 ingenieursmäßige 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 selbstinduzierten 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 Kupfer-Kammern 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 Luminositätserhöhung 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 Luminositätserhöhung 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 Spinrotatoren 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 Verbindungsnähte, 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 Vakuumtauglichkeit 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 PITZ 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-Südhalbrings 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 °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 Luminositätserhöhung 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,

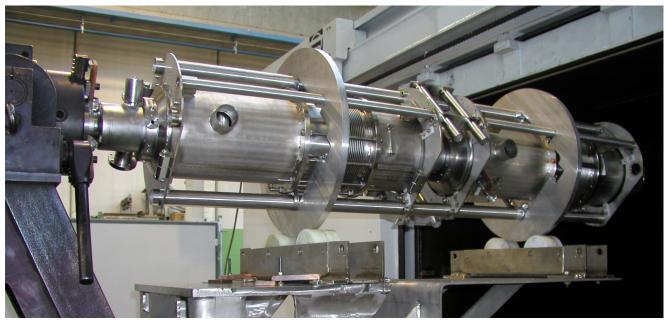


Abbildung 123: Superstruktur beim Einfahren in die EB Anlage.

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

Bei mehren 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 Sicherheitsund 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 TestResonatoren 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.

Einzelkomponeten, die für den Bau der weiteren TTF-Kryomodule benötigt werden, wurden getestet. Unter anderem wurden Prototypen neuer Hochfrequenztuner 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 Drucklufterzeugung 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 Stromversorgungs-Anlage 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 Luminositätserhöhung von HERA mussten zwei 10kV-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 Dumpschalter 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  $10\,\mathrm{kV}$  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 Klystronschutz 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 Thyristorsäulen, in Reihe geschaltet werden. Die LTTs müssen sehr hohen dI/dt-Werten von über 10 kA/µs 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  $10\,\mathrm{kV}$ -Schaltanlagen eingebaut werden. Die  $10\,\mathrm{kV}$ -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 Drucklufterzeugung 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 koaxialen 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 koaxialen 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  $40\,\mathrm{MV/m}$ , die Güte Q =  $10^{10}$  nach etwa  $180\,\mu\mathrm{m}$  "Buffered Chemical Polishing" (BCP), zwei Stunden Glühen bei  $800\,^\circ\mathrm{C}$  und  $30\,\mathrm{Stunden}$  Ausbacken bei  $140\,^\circ\mathrm{C}$ . 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  $33\,\mathrm{MV/m}$ ,  $24\,\mathrm{MV/m}$  und  $17\,\mathrm{MV/m}$  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.

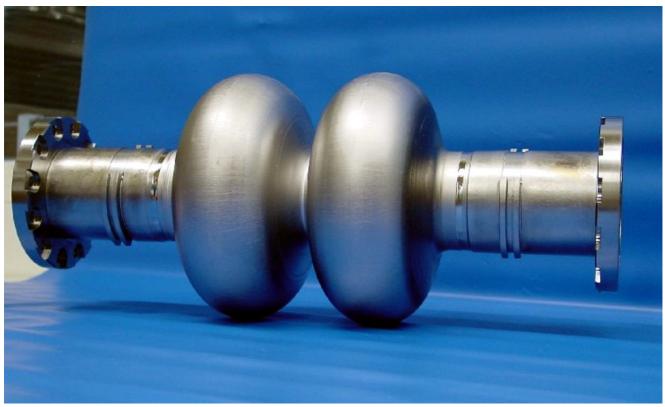


Abbildung 124: Durch IHU hergestellter zweizelliger nahtloser Niob-Resonator.

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-Blechen 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).