

Arbeiten der Gruppen des Bereichs Beschleuniger

Beschleunigerphysik und Beschleunigerkoordination

–MPY–

Die Gruppe Beschleunigerphysik (MPY) und die Koordinationsgruppen befassen sich mit der Entwicklung, dem Betrieb und Verbesserungen aller bei DESY befindlichen Beschleuniger und Speicherringe. Viele Arbeiten dieser Gruppen sind bereits im Abschnitt Beschleuniger erwähnt worden. Einige Arbeiten sollen hier näher erläutert werden.

Spinpolarisation

Nach dem Abschalten von HERA besteht bei DESY selbst derzeit kein Bedarf mehr an Polarisationsexpertise. Das hier vorhandene Expertenwissen ist jedoch außerhalb von DESY sehr gefragt, und DESY Mitarbeiter trugen beratend weltweit zu folgenden Projekten mit polarisierten Strahlen bei:

- Beim FAIR Projekt in Darmstadt besteht starkes Interesse an einer Zusammenarbeit im Zusammenhang mit polarisierten Elektronen.
- Im Rahmen des LHeC Projektes wird an der Möglichkeit polarisierter Elektronen/Positronen für Kollisionen mit einem LHC Protonen Strahl gearbeitet.
- Es wurde Beratung für die Bereitstellung polarisierter Elektronen/Positronen für ELIC beim Thomas Jefferson Laboratory in den USA zur Verfügung gestellt.
- Es wurde bei der Aufklärung der Missverständnisse, die zur Behauptung, es gäbe ein unerwartetes Verhalten in der Spindynamik von Protonen

und Deuteronen beim COSY Ring des FZ Jülich, führten, mitgearbeitet. Dabei wurde u. a. das Konzept des invarianten Spinfeldes auf invariante Tensorfelder für Spin-1-Teilchen, z. B. Deuteronen, erweitert und es wurde der sogenannte SLIM Formalismus der linearisierten Spindynamik für die Berechnung von Resonanzstärken im Beisein von zeitabhängigen externen Feldern erweitert.

- Rechnungen wurden fortgesetzt, um die mögliche Depolarisation bei Dämpfungsringen des ILC besser beurteilen zu können
- Es wurden erste Polarisationsabschätzungen für das OLYMPUS Projekt bei DORIS gemacht.

Impedanzmodell PETRA III

Die Berechnungen von elektromagnetischen Feldern in den Vakuumkomponenten für die Erstellung eines Impedanzmodells der Synchrotronlichtquelle PETRA III wurden im Jahr 2008 abgeschlossen. Eine ausführliche Dokumentation der Berechnungen, die in Zusammenarbeit mit der Technischen Universität Darmstadt, der Otto-von-Guericke Universität Magdeburg, dem CANDLER, Yerevan Universität, Armenien, sowie dem Budker Institut, BINP, Novosibirsk, Russland, durchgeführt worden sind, wurden im ICFA Beam Dynamics Newsletter Nr. 45 veröffentlicht.

Strahldynamik des European XFEL

Die FEL Beam Dynamics Gruppe beschäftigt sich mit Fragen der Optik und Dynamik des Elektronenstrahls in den FEL Projekten. Es finden wöchentlich Besprechungen statt. Beiträge, Tagesordnungen und weiteres

befinden sich auf der Web-Seite: (<http://www.desy.de/xfel-beam>).

Start-to-End Simulationen für FLASH

Mit dem Einbau des 3.9 GHz HF-Systems Ende 2009 werden sich die Strahlen longitudinal kontrollierter komprimieren lassen und ein wesentlich größerer Teil der Teilchen werden zum Röntgenlaserlicht beitragen. Die Optimierung dieser Betriebsart verlangt Simulationen des Strahltransports von der Kathode der Elektronenkanone bis zum Undulator (Start-to-End Simulationen). Alle Effekte, die Einfluss auf die Energieverteilung entlang des Strahls haben, wie Wake-Felder, Raumladungsfelder und die Abstrahlung kohärenter Synchrotronstrahlung (CSR) müssen berücksichtigt werden. Man benutzt daher für verschiedene Abschnitte des Beschleunigers verschiedene Programme, die mit einem speziell dafür geschriebenen Script verknüpft werden.

Optics Toolbox für FLASH

Eine neue Version (1.4) kann jetzt die Kopplung horizontaler und vertikaler Teilchenbewegung durch gedrehte Magnete berücksichtigen und damit die Optik in der sogenannten *bypass* Sektion berechnen. Auch der Strahltransport zum beam dump ist jetzt mit der Toolbox beschreibbar. Das Programmpaket ist umfassend dokumentiert in: <http://ttfinfo.desy.de/TTFeLog/index.jsp>, wo auch viele Beispiele und Tipps zu seiner Benutzung zu finden sind. Für einen *optics server* bei FLASH wurden mehrere Programme der Toolbox angepasst und einige neu geschrieben.

Optik-Studien für FLASH

Für Experimente bei FLASH, die spezielle Strahleigenschaften fordern, wie zum Beispiel die Messung von optischer Diffraktionsstrahlung (ODR), der Betrieb der *material test facility* oder Experimente mit hohem Strahlstrom (*9-mA-Experiment*), sind spezielle Strahloptiken gerechnet und an der Maschine etabliert

worden. Feldmessungen von FLASH-Magneten wurden neu analysiert und ihr Einfluss auf den Strahl in Maschinenexperimenten vermessen, um die Strahloptik genauer berechnen zu können. Dadurch kann die korrekte Optik schneller und präziser eingestellt werden. Zu Beginn des Jahres wurde eine neue Strahloptik in Betrieb genommen, die den Einfluss von Raumladungseffekten verringert und größere Stabilität des Orbits bei Strahlenergieschwankungen gewährleistet.

Untersuchungen zur // Elektronenstrahldispersion in FLASH

Im Rahmen einer Doktorarbeit wird die Entstehung von Elektronenstrahldispersion, ihr Einfluss auf den SASE-Prozess und ihre Korrektur untersucht. Abbildung 126 zeigt den Einfluss von Strahlenergieschwankungen auf die Intensität des Röntgenlasers. Mit korrigierter Dispersion ist die Maschine wesentlich unempfindlicher.

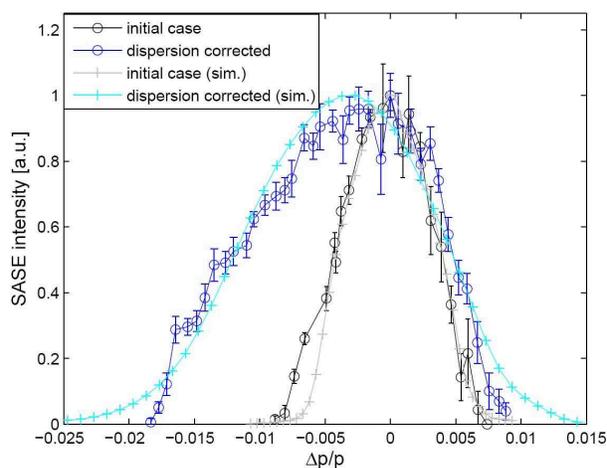


Abbildung 126: Messung und Simulationsergebnisse für die Energieempfindlichkeit des SASE-Laserprozesses bei FLASH. Auf der horizontalen Achse ist die relative Abweichung der Strahlenergie von der Sollenergie aufgetragen, auf der vertikalen die SASE-Intensität in relativen Einheiten. Die Kurven in schwarz und grau beschreiben Messung und Simulation im Ausgangszustand, die Kurve in türkis und blau nach Korrektur der Strahldispersion.

FLASH II

Die Strahlführung aus dem Linac bis zu den FLASH II Undulatoren ist ausgearbeitet und optimiert worden. Für die Verwendung von FLASH II im sogenannten *seeding mode* ist die Weiteroptimierung unter Berücksichtigung der Effekte, die von kohärenter Synchrotronstrahlung (CSR) herrühren, begonnen worden.

Micro-Bunching-Instabilität und Laser Heater beim European XFEL

Die sogenannte *Micro-Bunching*-Instabilität lässt kurzweilige Intensitätsmodulationen des Strahls anwachsen, die den SASE-Laserprozess stören und in den Magnet-schikanen für die longitudinale Strahlkompression die transversale Strahlgröße aufweiten kann. Diese Instabilität wird von Raumladungsfeldern und von CSR-Feldern getrieben und braucht, wenn sie stark genug ist, als Ausgangsmodulation nur das Schrotrauschen im Strahl. Ein Programm ist geschrieben worden, das über die Berechnung der Verstärkung induzierter Modulationen verschiedener Wellenlängen die Stärke der Instabilität bestimmt. Es benutzt ein analytisches Modell, das gegen Tracking-Programme abgeglichen wurde, und ist deshalb schnell genug für die Optimierung des Strahl-Kompressions-Systems unter dem Gesichtspunkt der Unterdrückung der Instabilität. Selbst nach dieser Optimierung ist zur ausreichenden Unterdrückung der Instabilität noch eine Aufweitung der Energieverteilung des extrem mono-chromatischen Strahls aus der Lasergetriebenen HF-Kanone notwendig. Im sogenannten *Laser Heater* heizt ein Laserstrahl, der den Elektronenstrahl durch einen Undulator-Magnet begleitet, den Strahl und verbreitert die Energieverteilung. Die Wechselwirkung zwischen Laser- und Elektronenstrahl ist für realistische Strahlquerschnitte berechnet und die notwendige Stärke des Lasers bestimmt worden.

Weiterentwicklung des European XFEL Strahl-Kompressions-Systems

Das XFEL Strahl-Kompressions-System steigert den Strahlstrom von 50 A aus der Elektronen-Kanone auf

die zum Lasen notwendigen 5 kA durch longitudinale Kompression. Es wurde gezeigt, dass die Positionierung des 3.9 GHz HF-Systems im XFEL Injektor-Gebäude zusammen mit einer Vorkompression des Strahls am Anfang des Linacs die notwendige Stärke dieses Systems reduziert und die Anforderungen an die HF-Stabilität abschwächt. Um den gestiegenen Anforderungen an den Strahltransport durch den für die Vorkompression im Strahl induzierten Energie-Gradienten zu genügen, wurde die Magnetverteilung in der Schikane, die den Höhenversatz von 2.5 Metern zwischen Injektor und Linac überbrückt, neu optimiert.

HF-Kick-Kompensation, lokal und global

Die Feldgradienten der HF-Einkoppler und die Wakefelder von Ein- und HOM-Kopplern können besonders bei niedrigen Strahlenergien, die projizierte Strahlgröße aufweiten. Sowohl die lokale Kompensation durch Geometrie-Änderungen der Koppler bzw. Kompensation der Koppler innerhalb einer Beschleunigerstruktur als auch die globale Kompensation der Effekte ganzer HF-Module wurde untersucht. Als effektivste Lösung stellte sich eine globale Kompensation der Kicks im ersten HF-Modul (im Injektor-Gebäude) durch die Kicks der nächsten vier HF-Module heraus, die durch Optimierung des Strahltransports dazwischen erreicht werden kann.

Auslegung und Optimierung der Elektronenstrahlführung des European XFEL

Für das schnelle transversale Orbit-Feedback-System beim XFEL sind Spezifikationen und Toleranzen berechnet und die Positionen und Stärken der fokussierenden Magnete in der Kicker-Strecke optimiert worden. Beim Strahltransport vom planaren Undulator SASE-3 in die dahinter folgende Strecke von gekreuzten Undulatoren muss die 0.4 nm Dichtemodulation des Strahls erhalten bleiben. Die dafür notwendigen Randbedingungen für den Strahltransport sind theoretisch erarbeitet worden, an der Auslegung im Detail wird gearbeitet. Die Strahlseparation des XFELs basiert auf einem Kicker-Septum-Schema mit einem sehr starken

Gleichstromseptum. Um dieses Element zu vermeiden wurden Studien zur Verwendung eines speziellen Separationsdipols mit Spiegelplatte (*Lambertson-Septum*) durchgeführt. Hierbei muss die Energieabhängigkeit der Ablenkung durch Kicker und Septum in der horizontalen und vertikalen Ebene mit großer Genauigkeit durch geeignete Auslegung der Strahlführung optimiert werden. Das XFEL Injektor-Gebäude hat eine Länge von 73.4 m und wird durch eine 2.5 m dicke Abschirmung in zwei Teile gegliedert. Vor der Abschirmung, auf einer Länge von 42.3 m müssen hier außer der Elektronen-Gun, einem 1.3 GHz Beschleunigungsmodul und einem 3.9 GHz HF-Modul auch der Laser Heater, eine Diagnostik-Sektion mit 4 OTR-Schirmen und eine vertikal ablenkende Beschleunigungsstruktur platziert werden. Es wurde eine Lösung gefunden, die es möglich macht alle diese Komponenten unterzubringen und ihre jeweiligen verschiedenen Anforderungen an die Elektronenstrahl-Optik zu erfüllen.

Longitudinal Phase Space Tracking and Optimization (Litrack+)

Litrack+ ist ein in Zusammenarbeit mit der Helmut-Schmidt-Universität entwickeltes Computer-Programm zur nichtlinearen Optimierung der longitudinalen Phasenraumverteilung in Linacs mit Bunch-Kompressoren. Das Programm ist jetzt in der Lage, die Stärke der sogenannten *MicroBunching*-Instabilität zu berechnen.

Datenbank für ein Impedanz-Budget

In der Datenbank sind die Wake-Felder der wichtigsten bekannten Komponenten der XFEL-Vakuumkammer eingegeben worden. Die Felder sind jetzt als Greens-Funktionen parametrisiert, so dass für beliebige longitudinale Strahlprofile die induzierten Energieabweichungen schnell berechnet werden können. Für noch zu bauende Komponenten sollen so Obergrenzen für das tolerierte Wake-Feld ermittelt werden.

Berechnung von Wake-Feldern

Im Programm ECHO ist eine neue Methode zur Berechnung von Feldern ultrakurzer Elektronenstrahlen implementiert worden, die deutlich schneller ist und zur parallelen Berechnung mit mehreren Computern verwendet werden kann.

Im Zuge der Vervollständigung des XFEL Impedanz-Budgets wurden die Wake-Felder weiterer XFEL Vakuum-Komponenten berechnet.

Eine realistische Berechnung des Wake-Felds von HF-Kopplern, bei der der Einfluss der Beschleunigungsstruktur und der von weiteren Kopplern in Betracht gezogen wurde, ergab, dass frühere Abschätzungen des Felds mithilfe eines einzelnen Kopplers in einem glatten Rohr die Feldstärke um eine Größenordnung überschätzten.

Die durch den elektrischen Widerstand der Vakuumkammer verursachten Wake-Felder (*resistive wall wakes*) werden deutlich stärker, wenn die Kammeroberfläche von einer Oxidschicht bedeckt ist. Probenmessungen ergaben, dass anstelle der für den European XFEL spezifizierten zulässigen Oxidschicht-Dicke von 5 nm bis zu 30 nm möglich sind. Rechnungen mit Oxidschicht-Dicken von 30 nm ergaben Einschränkungen in der Stabilität und Leistung des SASE-Prozesses. Prozeduren, die die Oxidschicht auf 5 nm Dicke beschränken, sind in Arbeit.

Optimierung der Fokussierung in den European XFEL SASE Undulatoren

Die zur Strahlführung benötigten Quadrupole in den XFEL-Undulatoren bewirken durch Fehlauflagen eine Reduktion der FEL Intensität. In Zusammenhang mit dem Institut CANDLE (Armenien) wurden Studien durchgeführt, die die FEL Intensität in Abhängigkeit der Anzahl und Stärke der Quadrupole optimieren. Für einige Fälle kann vollständig auf die Fokussierung verzichtet werden, dabei reduziert sich die SASE Intensität nur geringfügig. Mit dieser Option könnte die Inbetriebnahme des European XFEL erleichtert werden.

Arbeiten der technischen Gruppen

Injektion/Ejektion –MIN–

Die Gruppe MIN-Injektion ist für den Betrieb und die Weiterentwicklung der Injektionsbeschleuniger LINAC II und PIA verantwortlich, ferner für die Strahltransportwege zu DESY II, für alle Injektions- und Ejektionselemente in allen Beschleunigern und Speicherringen, und für die so genannten *Beam-Dumps* in allen Speicherringen und Synchrotrons. Zu den weiteren Aufgaben zählt seit einigen Jahren auch die Koordination des TTF/FLASH Betriebes. Einige technische Systeme des FLASH Linac werden ebenfalls von der Gruppe MIN betreut. Nach dem Abschalten des LINAC III konnte eine kleine Gruppe geschaffen werden, die seit Ende 2007 maßgeblich an der Realisierung des European XFEL Injektor-Linac arbeitet.

Elektronen/Positronen LINAC II und PIA

Das Jahr 2008 war vor allem durch die Umbauten im Rahmen des PETRA III Projektes und den anschließenden Wiederanlauf geprägt. Ziel der Arbeiten war eine Verbesserung bzw. Sicherung der Zuverlässigkeit des Beschleunigerbetriebs. Deshalb konzentrierten sich die Aktivitäten auf die Modernisierung der Infrastruktur. Die gesamte Stromversorgung wurde erneuert, viele Leitungen wurden neu verlegt und Verteilerkästen neu aufgebaut. Ein ebenfalls neu aufgebautes Kühlsystem verwendet redundante Pumpstände; die früher in der Modulatorhalle installierten Pumpen wurden in zwei Kellerräume verlegt. Bei sämtlichen Quadrupolen wurden die Schlauchzuleitungen zu den Polen und die Pilotherme erneuert. Im Bereich des Strahltransportweges wurde das Vakuumsystem von Aluminiumkammern mit DIN-Flanschen auf Stahlkammern mit CF-Flanschen umgerüstet. Im Zuge dieser Arbeiten wurden Strahlpositionsmonitore eingebaut, welche vorher nicht vorhanden waren.

Der Konverter wurde komplett erneuert und besitzt nun keine Lötstellen mehr an wasserführenden Teilen im Vakuum. Außerdem wurden alle beweglichen Teile eliminiert, was eine deutlich kompaktere Bauweise zur Folge hat. Dadurch war es möglich, den Konverter mit einer permanenten Abschirmung auszustatten. Zum leichteren Austausch steht der Konverter auf Schienen; mechanische Anschläge gewähren eine Ausrichtung auch ohne Justierung.

In den Stromversorgungen der Klystrons (Modulatoren) werden Thyratrons als Hochspannungsschalter benutzt. Es zeigte sich, dass der ursprünglich verwendete Typ eine kurze Lebensdauer hatte und speziell an deren Ende zuweilen einen instabilen Betrieb verursachte. Deshalb wurden die Modulatoren auf größere Thyratrons umgerüstet. Um vorhandene Reserven aufzubauchen und um rechtzeitig Betriebserfahrung zu sammeln, wurde die Umrüstung auf mehrere Jahre verteilt. In 2008 wurde die Umrüstung abgeschlossen.

Es wurde auch die Gelegenheit benutzt, Reste älterer Installationen, insbesondere alte Kabelbestände, zu entfernen. Im Bereich der Steuerung wurden große Teile der immer noch vorhandenen Relaissteuerung entfernt.

Aufgrund der Änderung des Kontrollsystems war ein komplettes Neuschreiben der Kontrollsoftware (Server und Clients) notwendig.

Da man den Linac nach dem Umbau in vielerlei Hinsicht als völlig neue Maschine betrachten musste, wurde eine verlängerte Wiederanlaufphase vorgesehen. In der Tat mussten einige kleinere und größere Probleme bewältigt werden, was aber gelang, so dass der Wiederanlauf von DORIS nie gefährdet war.

Kickerlabor

Nach dem Abschalten am Jahresanfang wurde die komplette Verkabelung demontiert und alte Pulser und HV Netzgeräte konnten entsorgt werden. Mithilfe der Gruppe MCS wurden die Schnittstellen zwischen der Hardware und Software von SEDAC auf CAN Bus umgestellt; dies betraf ca. 100 Module (Kick.- Trigger.- Longdelay Multiplexer Dio.- und Zyklusmodul usw.).

Bedingt durch die Umstellung der Software auf Java wurden auch die Serviceprogramme für Kicker und Septa neu geschrieben. Kabelpläne wurden neu erstellt und dokumentiert.

Um einen zuverlässigen PIA Betrieb auch für PETRA III zu gewährleisten, wurden alle Pulser überarbeitet und mit einem größeren Thyatron (Typ CX 1154) ausgestattet.

Im Sommer wurden LINAC II / PIA und DESY II wieder mit komplett neuer Verkabelung, Schnittstellen, Software, Pulsern und HV Netzgeräten in Betrieb genommen. Bei der Entwicklung der neuen Pulsergeneration wurde auf einen modularen Aufbau geachtet, um spätere Reparaturen und Wartungen effektiv durchführen zu können. Eine Vereinheitlichung von z. B. Überrahmen, Einschaltfeld, Überstromabschaltung, Triggersperre, Pulserüberwachung soll künftig die Ersatzteilhaltung vereinfachen. Lediglich die Hochspannungsnetzteile bleiben unterschiedlich. Für DESY II und PETRA III wurden insgesamt 19 Pulser entwickelt und aufgebaut.

Auch in PETRA III wurden alle Kickermagnete und Pulser installiert und ein erster Systemtest wurde erfolgreich durchgeführt.

Wie schon im letzten Berichtszeitraum erwähnt, stellt der in der Elektronen-Quelle entstehende Dunkelstrom ein Problem beim Betrieb des TTF/FLASH Linac dar. Deshalb wurde der Gun-Bereich so umgebaut, dass der Dunkelstromkicker vor dem ersten Beschleunigungsmodul Platz findet. Erste Messungen haben gezeigt, dass sich der Dunkelstrom so um ca. 70 % reduzieren lässt. Der Dunkelstromkicker wird inzwischen routinemäßig betrieben.

Für den zukünftigen European XFEL bestehen hinsichtlich Amplituden- und Zeitstabilität besonders hohe Anforderungen an Kickermagnete und Pulser des zu entwickelnden Strahlverteilungssystems. Durch eine einfache Messmethode können diese Genauigkeitsanforderungen bestimmt werden. Zwei identische Anlagen pulsen gegeneinander und die Differenz wird gemessen. Ist der Aufbau der Pulser, Kicker und der Zuleitungen nicht identisch (Induktivität und Kapazität) entsteht ei-

ne leichte Wellenform, deren Amplitude ein Maß für die Pulsleichheit (Pulsform) der einzelnen Pulse ist. Die Amplitudenstabilität wird hauptsächlich durch das HV-Netzgerät und den verwendeten Halbleiterschalter bestimmt. Die Zeitstabilität hängt von der Anfangssteigung des Pulses, vom Ausschwingverhalten des Pulsers, sowie vom zeitlichen Jitter des verwendeten Schalters ab. Die gemessene relative Amplitudenstabilität beträgt $2.3 \cdot 10^{-4}$ mit einer Dachschräge von 1.8 %.

Bezüglich der Kickermagnete stand eine Reihe von Konstruktionsaufgaben mit Blick auf den künftigen PETRA III Betrieb an. Anders als zunächst geplant mussten die Feedbackkicker mit einer zusätzlichen Wasserkühlung für Leiter und Tank ausgestattet werden. In einer Messung der elektrischen Übertragungsfunktion der Prototypen zeigte sich jedoch der Einfluss dieser Kühlung in Form von mehreren Resonanzstellen. Mithilfe einer TDR Messung konnte gezeigt werden, dass der kapazitive Anteil der Wellenwiderstandes zu klein war; dies wurde durch Einbringen eines zusätzlichen Kondensatorbleches korrigiert, der Wellenwiderstand liegt jetzt bei ca. 50Ω , so dass sich die Resonanz deutlich zu hohen Frequenzen oberhalb von 100 MHz verschoben hat. Die Serienfertigung von jeweils drei horizontalen und vertikalen Feedbackkickern konnte begonnen werden.

Septumlabor

PETRA III e+/e- Injektions-Septum

Im Herbst 2007 konnte mit der Fertigstellung der letzten Komponente für die neue Injektion (die 7.5 m lange Dipolsonderkammer, einem Schweißverbund aus Stahlkammer, einer gekrümmten Alu-Kammer, mehreren sprengplattierten Alu/Stahl Übergängen und wassergekühlten Kupferabsorbern), der Aufbau der insgesamt 15 m langen Strecke erfolgreich abgeschlossen werden. Als nächstes folgt der Zusammenbau des Reserve-Septum, welches nach Fertigstellung im evakuierten Zustand eingelagert wird. Sollte der Septummagnet im späteren Betrieb einmal ausgetauscht werden müssen, ist er bereits vakuumtauglich und kann ohne vorheriges Ausheizen direkt in den PETRA-Ring eingesetzt

werden. Die Dauer der Betriebsunterbrechung bleibt so kurz wie möglich.

H-Quelle LINAC III

Nachdem in 2007 der erste Testlauf des 2MHz-Senders sehr erfolgversprechend abgelaufen ist, wurde die Umrüstung auf zwei parallele Sender im selben Gehäuse vorgenommen. Die erreichte Ausgangsleistung steigerte sich so auf 27 kW an 50 Ohm und lieferte einem Quellenstrom von über 30 mA. Im durchgeführten Testlauf über mehrere Tage zeigte sich der Sender allen Betriebssituationen gewachsen. In einem weiteren Schritt wurde die Idee, die bisher als Dauermagnet ausgeführten Filtermagnete am Ausgang der Plasmakammer durch gepulste Versionen zu ersetzen, umgesetzt. Die Elektromagnete sind nur geringfügig größer als die Dauermagnete und passen in die gleiche Halterahmenkonstruktion. Diese wurde jedoch wegen der jetzt gepulsten Magnetfelder statt aus Messing aus Kunststoff (PEEK) gefertigt. Der dazugehörige Pulser liefert einen rechteckförmigen Strompuls von max. 100 A und einer Flat-top-Breite von 150 μ s. Im praktischen Betrieb konnte mit einer Pulsamplitude von 75-80 A gleiches Verhalten wie mit den Dauermagneten erreicht werden.

TTF / FLASH Linac

Der Schwerpunkt der Arbeiten der Gruppe MIN liegt hier im Bereich des Injektionssystems, dem Betrieb einer speziellen Einrichtung zur Messung sehr kurzer Elektronenbunche (LOLA), der Koordination des Aufbaus eines 3.9 GHz HF-Systems zur Linearisierung des Beschleunigerfeldes sowie in der Koordination des TTF / FLASH Linac Betriebes.

Strahldiagnose

Ein wichtiges Element der Strahldiagnose sind CCD-Kameras. Das aus über 40 Kameras bei FLASH im Einsatz befindliche System wird von der Gruppe MIN

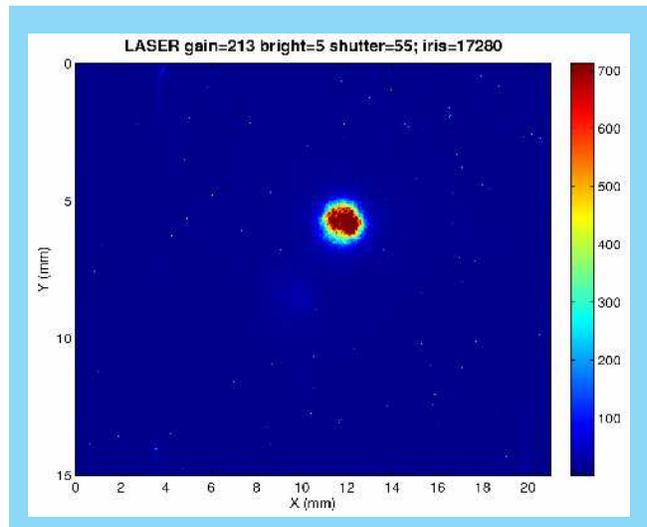


Abbildung 127: *Transversales Profil des Laserstrahls, so wie er auf der Photokathode erscheint, aufgenommen mit einer 12-bit CCD-Kamera.*

in Zusammenarbeit mit der Kontrollgruppe betreut. Neben den Standard-Kameras für die Aufnahme von Bildern des transversalen Elektronenstrahlprofils (OTR-Stationen) gibt es auch einige Kameras mit speziellen Aufgaben. Eine Streak-Kamera mit einer zeitlichen Auflösung unter einer Pikosekunde dient zur Vermessung des longitudinalen Elektronenstrahlprofils im Injektor nach der ersten Kompression. Andere Kameras arbeiten mit Bildverstärkern und verfügen über schnelle Belichtungszeiten, so dass einzelne Pulse im Pulszug aufgelöst werden können. Diese Kameras finden Verwendung zur Messung des Laserstrahlprofils (Abbildung 127), der Elektronen im dispersiven Bereich des ersten Bunchkompressors sowie zur Messung der Spektren der FEL-Strahlung. Zur Verbesserung der Bedienbarkeit und Wartung der Systeme wurden die Kameratreiber auf ein einheitliches System umgestellt, welches von der Kontrollgruppe betreut wird.

Die transversal ablenkende Struktur LOLA zur Messung sehr kurzer Elektronenbunche wurde 2008 regelmäßig betrieben. Die Struktur wurde für Messungen der Bunchlänge, des longitudinalen Phasenraums, der Slice-Emmittanz und von Effekten durch die kohärente Synchrotronstrahlung im ersten Bunchkompressor benutzt.

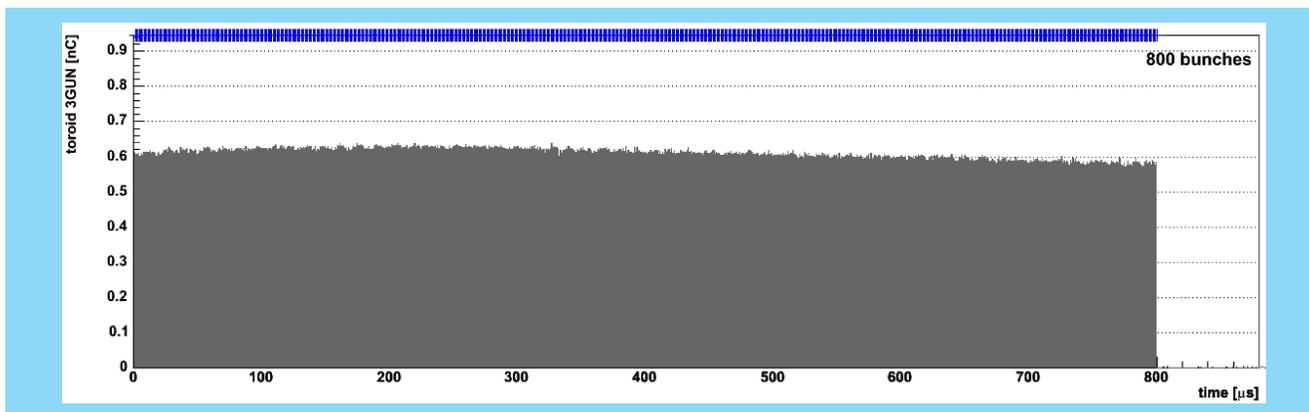


Abbildung 128: Pulszug von 800 Elektronenpaketen gemessen am Ausgang der RF-Gun. Die Länge des Pulszuges ist 800 μs , die Wiederholrate ist 5 Hz.

Lasersystem des Photoinjektors

Entscheidend für den Betrieb des Photoinjektors ist das Lasersystem. Das besondere am FLASH-Injektorlaser ist die Erzeugung von bis zu 800 μs langen Pulszügen bei einer Wiederholrate von 5 Hz (Abbildung 128). Die Zahl der Pulse ist frei wählbar. Auch die Abstände der Pulse zueinander sind bis zu einem gewissen Grad einstellbar. Diese Flexibilität ist für die Nutzerexperimente notwendig. Die Energie der Einzelpulse kann an die Quanteneffizienz der Photokathode angepasst werden und liegt bei einer Wellenlänge des Laserlichts von 262 nm im Bereich von einigen μJ . Die Stabilität der Pulsenergie liegt zwischen 1 und 2 % rms.

Eine regelmäßige Wartung des Systems ist notwendig, um die Ausfallraten klein zu halten. Die Lebensdauer der Blitzlampen liegt im Bereich von 10^7 Schuss. Das macht einen regelmäßigen Tausch notwendig. Die Übernahme der Betreuung der Blitzlampen-Netzgeräte durch MKK hat sich ausgezahlt. Nach einer Schulung durch den Hersteller ist jetzt auch eine schnelle Reparatur der Netzgeräte im Hause möglich.

Trotz dieser Maßnahmen, trug das Lasersystem mit 24 h zu 11 % der Gesamt-Ausfallzeit von 6 % während der Nutzerexperimente bei. Wesentliche Ursachen waren Wasserlecks in den blitzlampengepumpten Laserköpfen. Wasser ist für die Kühlung der Blitzlampen und Laserstäbe notwendig. Die Laserköpfe sind schon einige Jahre in Betrieb. Es ist schwer abzuschätzen,

wann die leicht wasserlöslichen Laserstäbe soweit abgetragen sind, dass kleine Lecks entstehen. Da das Pump-Probe-Lasersystem in der Experimentierhalle von FLASH mit gleichen Laserköpfen arbeitet, wurden gemeinsam Ersatzteile angeschafft, so dass die Ausfallzeit durch schnellen Ersatz doch akzeptabel klein blieb. Auch wurde eine Vorrichtung eingeführt, die ein Auslaufen des gesamten Kühlwassers bei Lecks verhindert.

Damit ein Totalausfall des Lasersystems nicht zu einer längeren Unterbrechung des FLASH Betriebs führt, ist ein zweiter Laser in Betrieb genommen worden, der als Ersatz dient. Dazu war es unter anderem nötig, die eine Interfacekarte neu zu programmieren. Die auf einem FPGA basierende Karte ermöglicht die Realisierung verschiedener Betriebsmodi von FLASH und der Schnellabschaltung des Elektronenstrahls im Pulszug.

Photokathoden

Die Photokathoden für die Elektronenquellen von FLASH und PIZ werden am INFN-LASA in Mailand hergestellt und bei Bedarf zum DESY geliefert. Auch dieses Jahr sind wieder drei Transporte durchgeführt worden, so dass immer frische Kathoden für die Beschleuniger zur Verfügung standen. Die im Jahr 2007 durchgeführten Änderungen im Vakuumsystem sowie die Entfernung von Teflonisolatoren haben sich ausgezahlt. Die Lebensdauer der Kathoden bei FLASH ist stark angestiegen und liegt jetzt bei mehr als 100

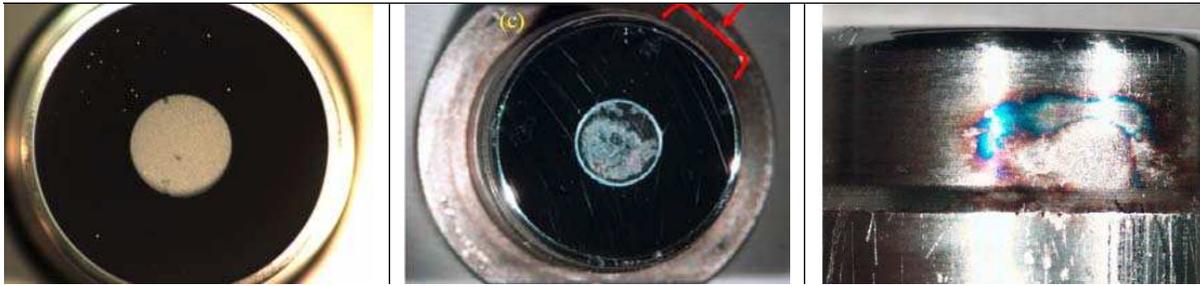


Abbildung 129: Fotos von Kathoden: Kathode #97.1 (3a) mit deutlichen Partikeln auf der Oberfläche konnte aufgrund des zu hohen Dunkelstroms nicht bei FLASH betrieben werden; Kathode #23.3 (3b) und (3c) zeigt nach über 100 Tagen Benutzung deutliche Gebrauchsspuren, allerdings war der Dunkelstrom akzeptabel und die QE noch immer hoch.

Tagen. Ende letzten Jahres traten allerdings erhebliche Probleme mit einigen Kathoden bei FLASH auf. Neu gelieferte Kathoden zeigten einen Dunkelstrom weit über dem akzeptablen Wert von etwa 0.5 mA. Das machte verschiedene Untersuchungen an den Kathoden und der Elektronenquelle notwendig. In Zusammenarbeit mit der Universität Hamburg und INFN-LASA, Milano konnten verschiedene Partikel auf den Kathoden identifiziert werden, die für den erhöhten Dunkelstrom verantwortlich sind (Abbildung 129a). Auch wurden Spuren von Übersschlägen an den Kathoden festgestellt (Abbildung 129c), die einen Austausch der HF-Kontaktfeder erforderlich machte. Nach dem Wechsel der Kontaktfeder und dem rigorosen Reinigen der Anlagen ist der Dunkelstrom von FLASH auf einem hohen aber akzeptablen Niveau.

Die Untersuchungen von Kathodeneigenschaften wurden fortgesetzt. Neben der regelmäßigen Messung der Quanteneffizienz (QE) und des Dunkelstroms führten XPS Messungen am BESSY zu interessanten Ergebnissen. So konnte eindeutig Fluor als Ursache der kurzen Lebensdauern in den vergangenen Jahren identifiziert werden. Auch konnte bestätigt werden, dass generell Restgase im Vakuum entscheidend für die Lebensdauer der Kathoden sind.

Die Vorbereitungen für das neue Kathodenlabor sind weit fortgeschritten. Das neue Präparationssystem ist kurz vor der Fertigstellung und kann im Frühjahr von INFN-LASA nach Hamburg transportiert werden. Eine alte XPS-Anlage der Universität Hamburg sowie ein

Rasterelektronenmikroskop sind im Umbau, so dass sie für die Analyse von Kathodenmaterial im nächsten Jahr zur Verfügung stehen werden.

3.9 GHz System

Zur Verbesserung der Strahlqualität der komprimierten Bucho und zur Erhöhung der Effektivität der Kompression wird ein Beschleunigersystem bei der 3. Harmonischen der 1.3 GHz Grundfrequenz des Linacs aufgebaut. Hierzu gehört eine HF-Station bestehend aus einem Modulator und Klystron sowie der eigentliche Beschleunigerabschnitt selbst. In einem ersten Test lieferte das Klystron eine Ausgangsleistung von 90 kW über eine Pulslänge von 1.7 ns. Das ist deutlich mehr als die benötigten 45 kW. Die Arbeiten am Beschleunigerabschnitt stehen in unmittelbarem Zusammenhang zu den European-XFEL-Beiträgen der Gruppe MIN und sind daher im folgenden beschrieben.

European XFEL Linac

Die Gruppe MIN ist beim XFEL-Projekt an mehreren Stellen involviert. Neben der Gesamtkoordination der Arbeitspaketgruppe WPG1 (Cold Linac), beteiligt sich MIN maßgeblich am Arbeitspaket WP14 (Koordination des Injektorlinac), koordiniert die Herstellung der 3.9 GHz Kryomodule und der zugehörigen Hochfrequenzstationen, zusammengefasst im Arbeitspaket WP46 (3.9 GHz System), und betreut die

XFEL-Strahlfänger (WP20). Im Bereich der speziellen Strahl diagnose ist MIN an den Planungen und der Koordination des Baus von transversal ablenkenden Beschleunigungsstrukturen (TDS) beteiligt und hat hier Teilaufgaben des Arbeitspaketes WP18 (Special Beam Diagnostics) übernommen. Dabei handelt es sich wie bei LOLA um normalleitende Wanderwellen-Strukturen, allerdings bei 3.0 GHz. Dieses Paket umfasst 4 Strukturen und 3 HF-Stationen. Auch hier wird an einem Abkommen zu in-kind Beiträgen gearbeitet. Der Verhandlungspartner ist das INR in Troitsk.

Gesamtkoordination des WPG1

Die Technische Koordination des supraleitenden Linac des European XFEL erfolgt aus der Gruppe MIN heraus. Hierbei sind die beteiligten Arbeitsgruppen international zu organisieren, eine detaillierte Projektplanung ist zu initiieren, die durchgeführten Arbeiten sind zu berichten und im sogenannten XFEL Project Board zu vertreten.

Mitarbeit im WP14 (Koordination des Injektorlinac)

Der XFEL-Injektor besteht aus einer normalleitenden RF-Kanone, einem supraleitenden Beschleunigungsmodul mit 8 Cavities bei 1.3 GHz, einem Modul mit weiteren 8 Cavities bei 3.9 GHz, diverser Diagnose und der Strahlführung von der Elektronenquelle bis zum Eingang des Haupttunnels. In 2008 wurde vor allen Dingen die Planung zur Ausstattung der Räume und zu Verläufen von Laserbeamlines, Hohlleitern und Strahlführung konkretisiert. Dies war zwingend notwendig, um die Unterlagen für die Bauausführung des Injektorgebäudes fertigzustellen.

Koordination des WP46 (3.9 GHz System)

MIN koordiniert die Herstellung der 3.9 GHz Kryomodule und der zugehörigen Hochfrequenzstationen. Durch das Hinzufügen der dreifach-harmonischen HF

(3.9 GHz) wird die zur Bunch-Kompression notwendige Energievariation innerhalb der Bunche linear. Es ergibt sich eine effektivere Kompression und der Bunch-Schwerpunkt fällt mit der maximalen Ladungsdichte zusammen. Der SASE Prozess wird effektiver. Das Einstellen der Beschleuniger-Parameter vereinfacht sich und damit auch der Betrieb. In FLASH ist ein Modul mit Namen ACC39, das aus vier supraleitenden 3.9 GHz Cavities besteht, vorgesehen (Abbildung 130). Es wird beim Fermilab entwickelt und gebaut. Die 3.9 GHz Sektion des European XFEL besteht aus einem Modul mit acht Cavities.

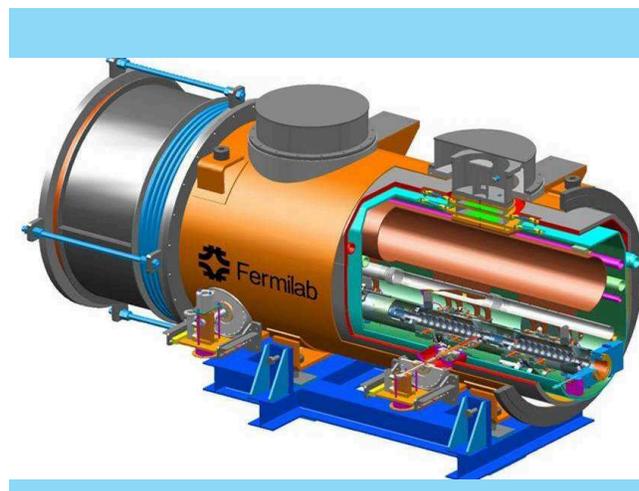


Abbildung 130: Ansicht des bei Fermilab für FLASH gebauten 3.9 GHz Kryomoduls.

In Bezug auf das Verständnis der Auswirkungen der 3.9 GHz Strukturen auf den Strahl wurden in 2008 einige theoretische Untersuchungen vertieft. Dazu gehörten unter anderem die Bestimmung der Anforderungen an die Aufstellgenauigkeiten der 3.9 GHz Cavities und Module um die negativen Auswirkungen transversaler Wake-Felder und Koppler-Kicks auf die transversale Strahlgröße zu minimieren.

In FLASH wurde in Beschleunigerstudien untersucht, in wie weit sich die Strahl lage in der späteren 3.9 GHz Sektion anpassen lässt. Dazu stehen nur ein Korrekturmagnet vor dem ersten 1.3 GHz Moduls (ACC1) und einer im Anschluss an die acht Cavities in ACC1 zur Verfügung. Aufgrund der starken Fokussierung durch die Cavities bei der niedrigen Strahlenergie ergeben

sich große transversale Strahlablagen in den 1.3 GHz Cavities, die transversale Strahlvergrößerungen zur Folge haben können. Nennenswerte negative Effekte wurden aber nicht beobachtet, so dass eine gute Anpassung der transversalen Strahlage in der späteren 3.9 GHz Sektion möglich sein sollte.

Der Schwerpunkt der 3.9 GHz Entwicklungen für FLASH lag 2008 in der weiter fortschreitenden Fertigstellung des Moduls bei Fermilab. Bis zum Jahresende wurden dort vier Cavities durch horizontale Tests erfolgreich für den Einbau in das Modul qualifiziert. Dabei zeigten alle vier Cavities maximale Gradienten weit über den für FLASH spezifizierten Werten. Feldemission war ebenfalls erst bei Gradienten über den vorgesehenen Betriebsgradienten messbar. Im Dezember wurden bereits drei Cavities im Reinraum zu einem String zusammengebaut, das vierte wird im Januar 2009 angefügt.

Die Probleme mit im Betrieb brechenden Formteilen der höheren Moden (HOM) Absorber wurden durch die mechanische Bearbeitung der Formteile in den Ende 2007 bereits produzierten Cavities und dem Übergang zu einem kompletten Neudesign bei in 2008 produzierten Cavities vollständig gelöst. Bei horizontalen Tests zeigten die Cavities mit dem neuen Typ von HOM Formteilen sogar eine günstigere Absorptionscharakteristik als die mit den zuerst verwendeten HOM Absorbern. Die auf den Ergebnissen von Simulationen basierende Entscheidung im Frühjahr 2008, bei den Cavities für den European XFEL das neue HOM Absorber Design einzusetzen, erwies sich als richtig.

Parallel zu diesen Arbeiten führten die Kollegen beim Fermilab Untersuchungen zum Modultransport durch, indem sie einen String aus Mockup Cavities im Modul montiert per LKW vom Fermilab über den Highway zum Flughafen O'Hare in Chicago und zurück transportieren und danach die Lage der Cavities überprüften. Die Positionen der Cavities bleiben innerhalb der Messgenauigkeit unverändert. Aufgrund dieser Ergebnisse sind von LKW-Transporten keine negativen Auswirkungen auf das Modul zu erwarten. Beim Umladen vom LKW in und aus dem Flugzeug wird das Mo-

dul nur über Rollen und über Hebebühnen bewegt und sollte dabei ebenfalls unbeschädigt bleiben.

Die 3.9 GHz HF Station zum Betrieb des 3.9 GHz Moduls in FLASH und auf dem CMTB wurde bis zum Dezember erfolgreich in Betrieb genommen und getestet. Die in den ersten Tests gemessene maximale HF-Leistung des 3.9 GHz Klystrons lag über dem spezifizierten Leistungsminimum.

Die organisatorische Zuständigkeit für die 3.9 GHz Hochfrequenzregelung wurde festgelegt und eine Arbeitsgruppe gebildet.

Das dreifach-harmonische HF System des European XFEL wurde 2008 als eigenständiges Arbeitspaket etabliert und die entsprechenden Teilbereiche wurden aus dem bisherigen Arbeitspaket ausgegliedert. In diesem Zusammenhang erfolgte eine vollständige Überarbeitung der Arbeitsplanung und die Aufstellung einer eigenen Kostenschätzung. Mit Kollegen von INFN Mailand begann im Rahmen der XFEL Aktivitäten eine enge Kollaboration. INFN konzentriert sich dabei auf die Cavities-Produktion sowie das Modul-Design. Das umfasst auch Infrastruktur wie eine Hochdruckspülanlage und einen vertikalen Cavity-Teststand. Der Zuständigkeitsbereich von DESY sind die Leistungs-HF Koppler, HF Regelung, die Integration in den European XFEL inklusive strahldynamischer Untersuchungen sowie Infrastruktur für horizontale Cavity-Tests, Modul-Tests oder auch für das Konditionieren von Kopplern.

Um die Cavity-Produktion zu Industrialisieren, wurde im Herbst 2007 eine Firma mit der Fertigung von drei 3.9 GHz Cavities fertig zum vertikalen Test beauftragt. Die dazu notwendigen Designanpassungen und der Technologietransfer erfolgte Anfang des Jahres in enger Zusammenarbeit mit unseren Kollegen von INFN.

Die vorhandene HF Station steht bei FLASH Betrieb nicht für Aufgaben wie das Prozessieren von Kopplern, zur Durchführung horizontaler Cavity-Tests oder XFEL Modultests zur Verfügung. Deshalb starteten wir bei DESY die Beschaffung einer weiteren 3.9 GHz HF-Station, zunächst mit einer Ausschreibung und Vergabe für einen Modulator. Vor der Beschaffung der Klystrons

warteten wir erste Testresultate und Betriebsresultate des bereits für FLASH beschafften Klystrons ab.

Das Ausschreibungsverfahren zur Beschaffung von vier Kopplern für die drei Prototypen-Cavities wurde begonnen. Basierend auf den Resultaten strahldynamischer Untersuchungen legten wir die Koppler-Anordnung der 3.9 GHz Cavities im European-XFEL-Modul fest. Den geringsten Einfluss auf die transversale Strahlgröße erhält man durch eine alternierende Anordnung der Koppler in der jedes zweiten Cavity um die Längsachse gedreht ist. Aus gemeinsamen Besuchen mit den Kollegen von INFN beim Fermilab und Gesprächen mit DESY Experten ergab sich ein erstes Grundkonzept des European-XFEL-Moduldesigns.

Koordination des WP20 (Beam Dumps)

Insgesamt 4 verschiedene Typen von Elektronenstrahlabsorbern, sogenannte Beam Dumps, werden an 7 verschiedenen Orten innerhalb der European-XFEL-

Anlage benötigt, um den Elektronenstrahl kontrolliert zu vernichten. In Tabelle 3 sind Verwendungszweck und Anforderungen dieser Dumps zusammengestellt. Standorte und Konstruktionskonzepte sind in Abbildung 131 dargestellt.

Hoher gepulster Energieeintrag in Verbindung mit großer mittlerer Strahlleistung von bis zu 300 kW spielt eine besondere Herausforderung hinsichtlich ihrer thermischen und mechanischen Belastung. Die technische Auslegung der Dumpsysteme ist vorrangig geprägt durch die Zielsetzung einer hohen inhärenten Zuverlässigkeit. Neben einem robusten Konzept und einer sorgfältigen Konstruktion gehören dazu aber auch Hilfsmittel die den hoffentlich seltenen Fall des Austausches eines defekten und aktivierten Dumps problemlos erlauben.

Im Rahmen von Sachbeiträgen zum European-XFEL-Projekt hat das russische Institut IHEP in Protvino die Detailkonstruktion und den Bau der Dumps, ihrer Gestelle sowie zugehöriger Wechsellvorrichtungen

| Anzahl und Typ | 3x MAIN | 1x BC 2 | 1x BC 1 | 2x INJ |
|-------------------------------------|---|--------------------------------------|--------------------|-------------------|
| Verwendungszweck | XSDU1/2: Ende der e-Strahlwege XS1: Linac Tuning und spez. Bunchzüge | BC2 Tuning | BC1 Tuning | Injektor Tuning |
| Dumpaufbau (siehe Abbildung 131) | C-Kern, Cu-Hülle mit Strahlfenster | Al-Kern, Cu-Hülle ohne Strahlfenster | | |
| Belastungsgrenzen | | | | |
| E_0 , Strahlenergie | ≤ 25 GeV | ≤ 2.5 GeV | ≤ 500 MeV | ≤ 300 MeV |
| q_t , Ladung im Buchzug | ≤ 4000 nC | | ≤ 40 nC | ≤ 4000 nC |
| I_{ave} , mittl. Strahlstrom | ≤ 40 μ A | ≤ 4 μ A | ≤ 0.4 μ A | ≤ 40 μ A |
| P_{ave} , mittl. Strahlleistung | ≤ 300 kW | ≤ 10 kW ¹ | ≤ 200 W | ≤ 12 kW |
| Strahlaufbereitung | | | | |
| $\sigma_{x,y}$, Strahlgröße @ Dump | ≤ 2 mm | $\leq 3 - 4$ mm | ≤ 0.2 mm | $\leq 2 - 3$ mm |
| Slow Sweep | Ja mit $R_s = 5$ cm | Nein | | |
| Fast (intra train) Sweep | Nein, sofern Mindeststrahlgröße eingehalten wird | | | |

Tabelle 3: Übersicht der Anforderungen an Beam Dumps für das XFEL-Projekt.

¹ lediglich thermische Auslegung, unabhängig von niedrigeren durch Strahlenschutz bedingten Grenzwerten.

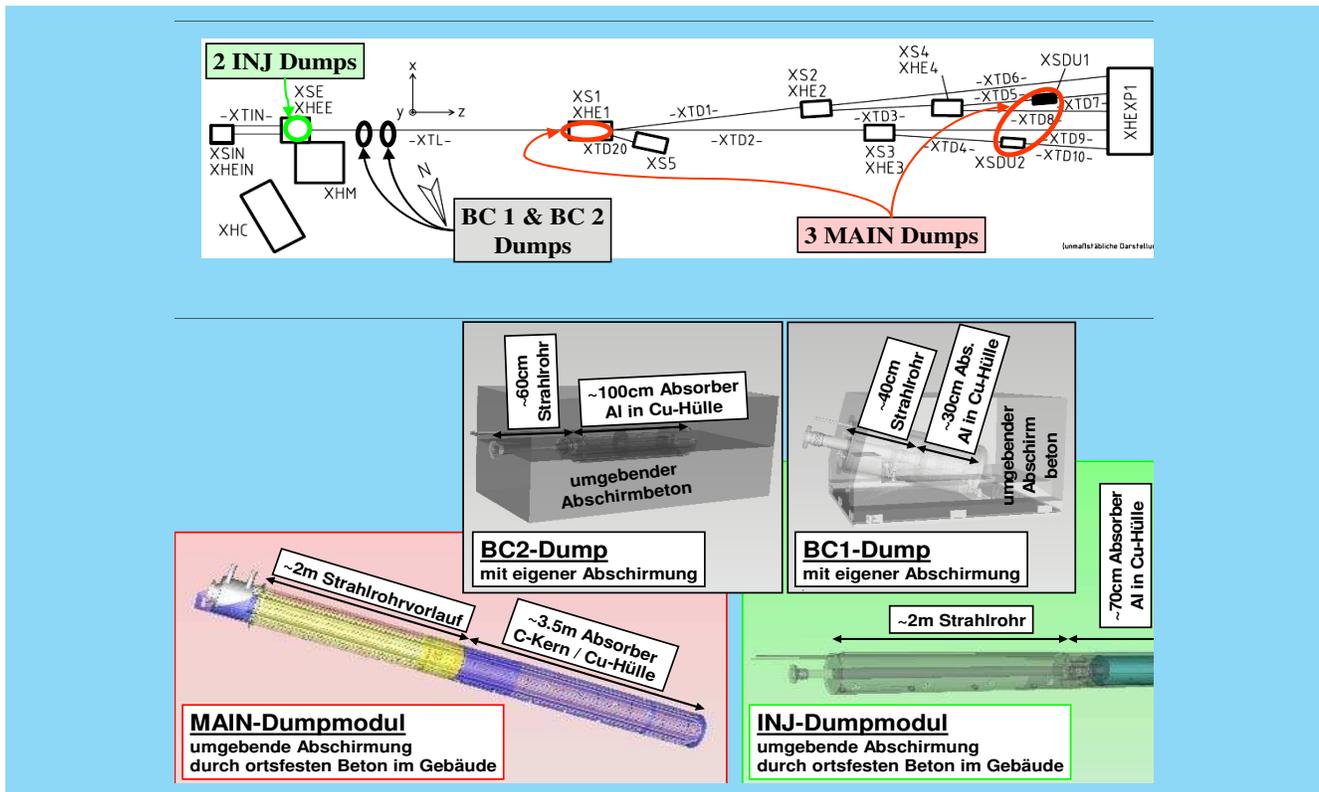


Abbildung 131: Standorte und Konstruktionskonzepte der Beam Dumps für das XFEL-Projekt.

übernommen. Ein Schwerpunkt der diesjährigen Aktivitäten im Arbeitspaket XFEL-WP20 lag daher in den Vorbereitungen dieser Zusammenarbeit. Auf der organisatorischen Ebene gehörte dazu eine klare Einigung über den Aufgabenumfang (frame specification) und des zugehörigen finanziellen Umfanges gemäß der Budget Planung aus dem Jahr 2005. Obwohl der juristisch verbindliche Vertrag inklusive technischem Anhang noch aussteht, hat bereits dieses Jahr ein intensiver Kontakt zwischen Konstrukteuren von DESY und IHEP begonnen. Einerseits konnte den IHEP Kollegen ein Überblick vermittelt werden, in welche Randbedingungen die Dump Aufgaben durch andere damit in Verbindung stehenden Gewerke (Bau, Strahlenschutz, Vakuum, Transport, Vermessung, Kühlung, usw.) eingebettet werden müssen. Auf der anderen Seite ging es darum die bereits seitens DESY entwickelten technischen Konzepte zur Diskussion zu stellen und Verbesserungen zu erkunden. Am Ende dieses bereits in

weiten Teilen sehr fortgeschrittenen Prozesses steht schließlich die Einigung auf die endgültig verfolgten Konzepte und ihrer technischen Ausführung.

Alle 4 verschiedenen Dumptypen, lassen sich hinsichtlich ihres Aufbaus und der Fertigung in 2 verschiedene Familien unterteilen. Die aus einem in einer Kupferhülle eingebetteten Graphitkern bestehenden MAIN Dumps bilden eine davon. Wegen der hohen Gaslast von Graphit muss der MAIN-Dump vom restlichen Strahlvakuumssystem durch ein vakuumdichtes Strahlfenster entkoppelt werden. Bei der zweiten Dumpfamilie, den INJ- und BC-Dumps, besteht der ebenfalls von Kupfer umgebende Kernbereich aus Aluminium und kann direkt mit dem Vakuumssystem des auf den Dump zielenden Strahlweges verbunden werden. Statt des nicht benötigten Fensters müssen die vakuumrelevanten Bereiche dieser Dumps jedoch die Anforderungen

eines höchst sauberen UHV-Systems mit Partikelfreiheit der Klasse 100 erfüllen.

Zur Abklärung einiger Konstruktionsideen sind Vorversuche im Bereich Elektronenstrahl-Schweißverbindung von Segmenten der Kupfer Hülle und Lötversuche zur Anbringung der Kühlrohre an die Kupferhülle durchgeführt worden. Auf theoretischem Wege (ANSYS Simulationen) ist das thermisch mechanische Verhalten der unterschiedlichen Materialien im Verbund Kern / Hülle untersucht worden. Von besonderem Interesse ist hierbei die Aufrechterhaltung eines guten thermischen Kontaktes zwischen Kern und Hülle, um die radiale Wärmeabfuhr in allen Betriebszuständen des Dumps zu garantieren. Darüber hinaus wurde damit begonnen die Verfügbarkeit benötigter Halbzeuge und Firmen für spezielle Fertigungsschritte zu eruieren.

Ebenso wurde die Belastbarkeit der für das Strahlfenster konzipierten Materialkombination experimentell mit dem Elektronenstrahl bei FLASH untersucht. Zur Integration eines Strahlprofilmonitors (Lumineszenz oder OTR) im Fenster sind diverse Möglichkeiten der Beschichtung und Lötung ausprobiert worden. Parallel wurde die Lichtausbeute verschiedener Materialien an einem Teststrahl bei MAMI untersucht.

Hochfrequenztechnik –MHF–

Die Gruppe MHF ist verantwortlich für den Betrieb und die Entwicklung aller Hochfrequenzanlagen bei DESY. Die Arbeiten teilen sich drei Untergruppen. MHF-e ist zuständig für die normalleitenden 500 MHz Beschleunigungsanlagen und 1000 MHz Rückkopplungssysteme für Elektronen oder Positronen in DESY II, DORIS III und PETRA III. Die zweite, MHF-sl, betreut die supraleitenden 1.3 GHz Resonatoren bei TTF/FLASH und für den zukünftigen European XFEL. Die Hochfrequenzsysteme für die 1.3 GHz Klystrons und Modulatoren bei TTF/ FLASH werden von der dritten Untergruppe, MHF-p, betreut, die auch die HF Anlagen für den XFEL plant.

Supraleitende Beschleunigungsstrecken –MHF-sl–

Die Gruppe MHF-sl ist für die Entwicklung, die Fertigung und den Betrieb von supraleitenden Beschleunigungsstrecken verantwortlich. Das sind supraleitende Resonatoren (Cavities) und dazugehörige HF-Hochleistungskoppler und Higher Order Mode Koppler. Weiterhin werden die HF-Messstände für diese Komponenten betreut und alle erforderlichen supraleitenden HF-Messungen durchgeführt. Dies waren 2008 85 vertikale Cavity Messungen und 3 Modulmessungen. Die Messsoftware für die Teststände und die HF-Konditionierung auf dem Modulteststand und in FLASH wurde zu großen Teilen erneuert bzw. erweitert. Es können jetzt beliebig viele Beschleuniger Module gleichzeitig überwacht und automatisch konditioniert werden. Diese Entwicklung ist nicht nur für FLASH, sondern auch für die neuen XFEL-Teststände und die Inbetriebnahme des European XFEL Linac von großer Bedeutung. Erstmals ist die Herstellung von 8 großkristallinen 9-zelligen Cavities industriell bei der Firma ACCEL erfolgreich durchgeführt worden.

European XFEL

In Vorbereitung der Cavity Fertigung für den European XFEL wurden in der Gruppe MHF-sl die Fertigungsunterlagen, wie das CAD Modell und die technischen Zeichnungen fertig gestellt. In Zusammenarbeit mit der Gruppe MPL steht die Technische Spezifikation kurz vor der Vollendung. Die für die Überwachung der Niobqualität entwickelte SQUID- Scanning Apparatur ist in Betrieb genommen worden.

Industrialisierung der Cavity-Fertigung

Die bereits 2007 gebaute automatische HF-Messeinrichtung zur Frequenzmessung der Niob Halbschalen und der aus zwei Halbschalen zusammengeschweißten sogenannten Dumbbells (Hanteln) wurde in Betrieb genommen und in der industriellen Cavity Fertigung getestet. Die Systemsteuerung wurde weiterentwickelt,

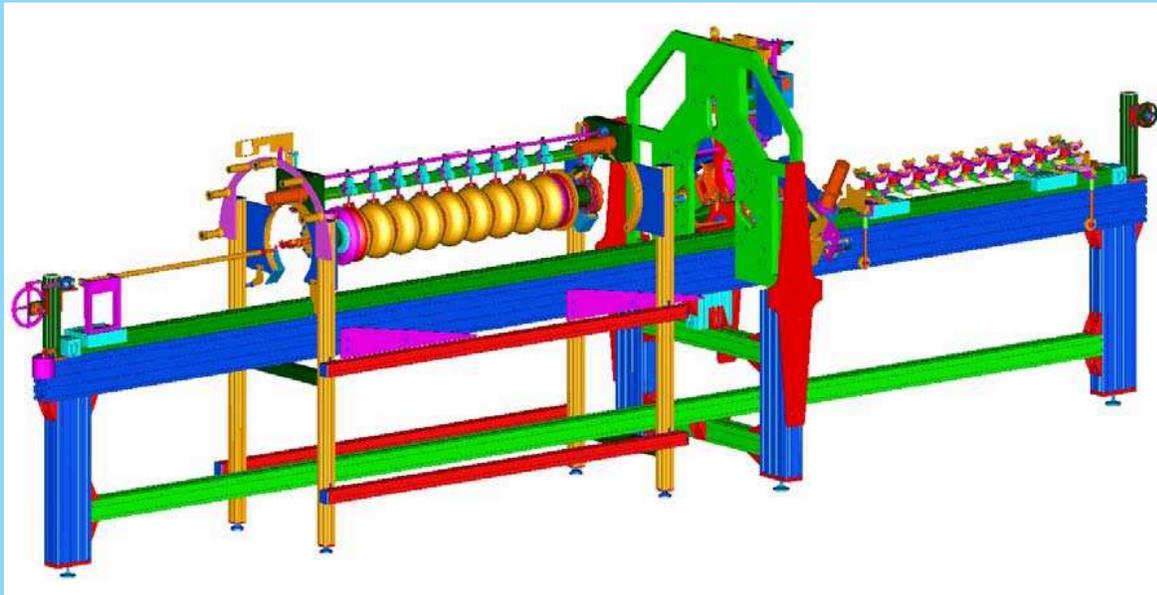


Abbildung 132: 3D Zeichnung der Tuningmaschine mit integrierter Exentritätsmessung

so dass die Messergebnisse automatisch an die Cavity-Datenbank (siehe auch MKS) weitergeleitet werden.

Für die Fertigung von 800 Cavities für den European XFEL werden zwei weitere Anlagen benötigt. Dafür wurden alle nötigen Teile bestellt. Der Zusammenbau hat begonnen, so dass die Anlagen rechtzeitig für die industrielle Fertigung an die Firmen ausgeliefert werden können.

Im Rahmen der Industrialisierung wird auch das Tunen der Cavities auf die richtige Beschleunigungsfrequenz an die Firmen übertragen. Dafür stellt DESY die Tuningmaschinen mit integrierter Exentritätsmessung bei (Abbildung 132). Im Rahmen der 2007 begonnenen Kollaboration mit FNAL wurden 2008 alle elektrischen und mechanischen Teile für 4 Anlagen konstruiert bzw. spezifiziert und bestellt. Der mechanische Zusammenbau der Anlagen steht kurz vor der Vollendung. Die komplexen Motorsteuerungssysteme sowie eine gegenüber der alten Anlage komplett verbesserte Sensorik wurden zusammengestellt, getestet und zusammen mit einem ersten Software Treiber an FNAL ausgeliefert.

Die Betreuung der Fertigung von 60 HF-Hochleistungskopplern wurde 2008 abgeschlossen. In der Kollaboration mit IN2P3, Orsay, Frankreich erfolgte die Eingangskontrolle, so dass die Hochleistungstests jetzt durchgeführt werden können. Diese Koppler werden in Vorbereitung auf die Modulfertigung für den XFEL in die Prototypmodule eingebaut. Die Industriestudie für die Koppler Serienfertigung konnte erfolgreich abgeschlossen werden (Kollaboration IN2P3 und DESY). Drei Firmen haben jeweils zwei Koppler Prototypen geliefert. Die Prototypen wurden erfolgreich getestet. Mit diesen Tests wurden die von den Firmen vorgeschlagenen technischen und technologischen Verbesserungen für die Serienfertigung qualifiziert.

IN2P3 hat die Verantwortung für die Kopplerfertigung als In-Kind Beitrag für den European XFEL übernommen. Die intensive Zusammenarbeit zwischen der Gruppe MHF-sl und IN2P3 hat dazu beigetragen, dass die technische Spezifikationen für die Koppler sowie die Test- und Konditionierinfrastruktur kurz vor der Fertigstellung sind.

Die Entwicklung des technischen Interlock für die Messungen in der XFEL- Cavity und -Modul Test-

halle (AMTF) ist abgeschlossen. Dieses Interlock überwacht die HF-Komponenten (Cavities und HF-Leistungskoppler) während der Tests. Die Prototyp-elektronik befindet sich in der Fertigung. Diese Entwicklung ist Grundlage für das zukünftige Interlock im XFEL-Tunnel.

Ein Transporttest von Kryomodul 8 nach Saclay und zurück nach Hamburg und gemeinsam mit der Gruppe MKS durchgeführte HF Messungen sind im Bericht der Gruppe MKS beschrieben.

FLASH

Im Rahmen der Vorbereitungen des FLASH Upgrades wurden die zur technischen Überwachung von Acc7 und Acc39 verwendeten Interlock-Systeme produziert und deren Installationen in FLASH geplant. Die Rechner gestützte Messwerterfassung wurde in Zusammenarbeit mit MCS4 entworfen und vorbereitet. Zwei Module wurden für FLASH zusammengebaut und auf dem Modulteststand getestet. Die Ergebnisse sind im Bericht der Gruppe MKS beschrieben.

Normalleitende Beschleunigungsstrecken für Elektronen/Positronen –MHF-e–

Die Gruppe MHF-e betreibt die 500-/1000-MHz HF-Systeme der Elektronen-Ringbeschleuniger DESY II, DORIS III und PETRA III.

HF-Betrieb für DESY II und DORIS III

Aufgrund der Arbeiten an den Vorbeschleunigern und an PETRA III startete der Betrieb von DESY und DORIS erst im September. Der Betrieb der Anlagen verlief in den wenigen Betriebswochen des Berichtszeitraumes problemlos.

PETRA III

Alle verfügbaren Kräfte wurden auf den Neubau von zwei 1.6-MW-Senderanlagen, den Aufbau der Cavity-Sektionen und den Aufbau des longitudinalen Feedback-Systems konzentriert. In Abbildung 133 ist der Zustand der PETRA-Senderanlagen in der Senderhalle PETRA Süd-Links und im Tunnel Süd-Rechts nach dem Ende des HERA Betriebs (Oben), während des Umbaus (Mitte) und danach (Unten) gezeigt.

Die Inbetriebnahme der ersten Senderanlage begann Anfang November und dauert noch an. Anfang Dezember konnte erstmalig HF-Leistung auf die Cavities gefahren werden. Die Inbetriebnahme der zweiten Senderanlage wird im Januar 2009 erfolgen.



Abbildung 133: Zustand der PETRA-Senderanlagen in der Senderhalle PETRA Süd-Links und im Tunnel Süd-Rechts nach dem Ende des HERA Betriebs im Juli 2007 (Oben), während des Umbaus Mitte Sept. 2007 (Mitte) und danach im Dezember 2008 (Unten).

Hochfrequenzsysteme für Linearbeschleuniger –MHF-p–

Die Gruppe MHF-p ist verantwortlich für die HF-Systeme des Freie-Elektronen-Lasers, FLASH, und des geplanten Röntgen Freie-Elektronen-Lasers, European XFEL. Während des laufenden Betriebes von FLASH wurden in regelmäßigen Abständen Wartungsarbeiten und bei Bedarf Reparaturarbeiten der 1.3 GHz Senderanlagen durchgeführt. Dabei sind der Tausch eines vertikalen Multibeam Klystrons und die Reparatur eines der 120 kV Pulstransformatoren, bei dem sich ein Kurzschluss zwischen Primär- und Sekundärwicklung gebildet hatte, als größte Maßnahmen zu nennen.

Die Planungen für den FLASH Shutdown im Jahr 2009 wurden weiter verfeinert. Im Shutdown 2009 werden die beiden ältesten 1.3 GHz Sender durch neue Anlagen ersetzt. Die größeren dafür erforderlichen Subsysteme der neuen Sender sind bereits im Jahr 2008 eingetroffen und stehen für den Einbau bereit. Zusätzlich wurden die Hohlleiterverteilungen für den Betrieb nach dem Shutdown im Jahr 2009 im Detail ausgelegt und die benötigten Komponenten bestellt.

Neben den Arbeiten für FLASH wurden im großen Umfang Planungs- und Entwicklungsarbeiten für den XFEL durchgeführt. Es wurde besonders die Detailauslegung der verschiedenen Komponenten der XFEL-Hochfrequenzsysteme und der zugehörigen Testfacilities fortgeführt. Außerdem beteiligte sich die Gruppe an der weiteren Auslegung der verschiedenen Gebäude und des Tunnels für den XFEL.

Die HF-Komponenten des XFEL wurden weiterentwickelt und verschiedene Prototypen getestet.

Neben den Arbeiten im Bereich des HF-Interlocks, der Hohlleiterverteilung, der Vorverstärker, Hilfsnetzgeräte und Elektronikracks sind besonders der erfolgreiche Test eines horizontalen Multibeam Klystrons und der Beginn des Tests eines alternativen Hochspannungspulsmodulators zu erwähnen.

Nachdem bereits der Test des ersten horizontalen Multibeam Klystron im Werk des japanischen Herstellers Toshiba erfolgreich verlaufen war, wurde es nach Liefe-

rung einem intensiven Testprogramm bei DESY unterzogen. Das Klystron erzeugt eine Leistung von 10 MW (Abbildung 134), bei einer Pulslänge von 1.5 ms und einer Folgefrequenz von 10 Hz. Seit einigen Jahren sind bereits Multibeam Klystrons, die von drei Herstellern für DESY entwickelt worden, bei DESY im Betrieb. Bei ihnen handelt es sich aber um vertikale aufrecht stehende Hochfrequenzröhren. Die Entwicklung von horizontalen liegenden Varianten ist erforderlich, damit diese Röhren im XFEL-Tunnel installiert werden können. Neben dem bereits getesteten Klystron arbeiten zwei weitere Hersteller an horizontalen Multibeam Klystrons. Beim XFEL werden 27 derartige Klystrons benötigt.

Hochspannungsmodulatoren generieren die von Klystrons zur HF-Erzeugung benötigten Hochspannungspulse von 120 kV. Obwohl bei FLASH bereits seit mehreren Jahren Modulatoren nach dem sogenannten Bouncerprinzip erfolgreich im Einsatz sind, wurde beschlossen, ein alternatives von einer schweizer Firma entwickeltes Konzept für den XFEL zu untersuchen. Die Lieferung des Modulators erfolgte im Sommer zu DESY nach Zeuthen, wo er seitdem auf dem speziell für derartige Tests aufgebauten Modulatorstand untersucht wird. Die Tests werden unter XFEL-nahen Bedingungen durchgeführt und werden sich voraussichtlich noch bis Mitte nächsten Jahres erstrecken. Diese Arbeiten werden von der HF-Gruppe in Zeuthen unter Beteiligung der Gruppe MHF-p und weiterer DESY-Gruppen durchgeführt.

Die Gruppe MHF-p ist außerdem zuständig für den Sender des Cryo-Modul-Test-Benches. Für den Test verschiedener supraleitender Beschleunigungsmodule mussten die Hohlleiter des zugehörigen Hochfrequenzsenders jeweils angepasst werden. Es wurde ebenfalls an der Auslegung der XFEL *accelerator module test facility* mitgearbeitet. Diese Anlage wird mit drei Testständen ausgestattet werden, für deren Hochfrequenzsender die Gruppe ebenfalls zuständig ist.

Control System –MCS–

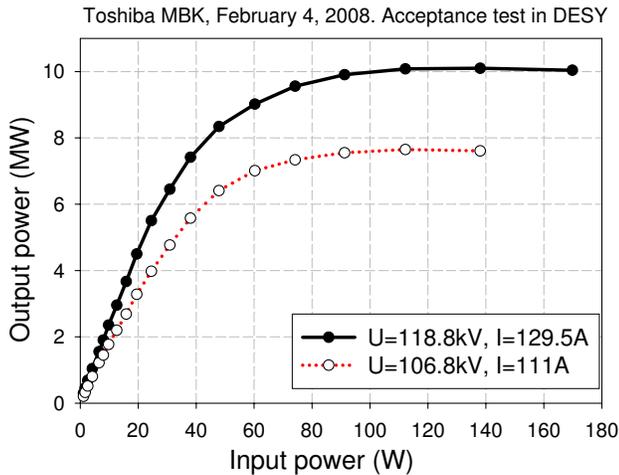


Abbildung 134: Ausgangsleistung des 1.3 GHz Multibeam Klystrons der Firma Toshiba als Funktion der Eingangsleistung für zwei Hochspannungswerte

Das Aufgabengebiet der Gruppe MCS ist der Betrieb und die Weiterentwicklung der Kontrollsysteme von allen existierenden Beschleunigern bei DESY/Hamburg sowie die Konzeption und Verwirklichung der Kontrollsysteme der zukünftigen Synchrotronlichtquelle PETRA III und des Röntgenlasers European XFEL. MCS betreibt ein umfangreiches Netzwerk mit mehreren hundert angeschlossenen Rechnern und unterhält ein Entwicklungs- und Servicelabor für Elektronikmodule zur Steuerung und Überwachung von Beschleunigerteilsystemen oder technischen Beschleunigerkomponenten. Die Gruppe MCS arbeitet eng mit der Kontrollgruppe für den Photoinjektor Teststand PIZ bei DESY/Zeuthen und der Beamlinekontrollgruppe des European Molecular Biology Laboratory (EMBL) in Hamburg zusammen.

Die Gruppe MCS betreibt aus historischen Gründen zwei eigenständige, leistungsfähige Kontrollsysteme (TINE, DOOCS). Es werden intensive Bemühungen unternommen, diese Systeme einerseits auf allen Ebenen auf einander anzugleichen und andererseits die jeweiligen Stärken zu erhalten. Insbesondere im Rahmen des PETRA III Projekts werden erstmals konkrete, dahingehende Maßnahmen umgesetzt.

Rechnergestützte Beschleunigerkontrollen

Vorbeschleuniger, DORIS und Projekt PETRA III

Das Berichtsjahr war geprägt von der fast vollständigen Erneuerung der Kontrollsysteme der Vorbeschleuniger LINAC II / PIA und DESY II sowie der dazugehörigen Strahltransportwege. Vielfache technische und betriebliche Gründe ließen es ratsam erscheinen, Front-End Elektronik, Netzwerke, zentrale Kontrollsystemsoftware, Kontrollsysteminfrastruktur und Applikationssoftware tiefgreifenden Änderungen zu unterziehen. Die getroffenen Maßnahmen gewährleisteten ein zeitgemäßes technisches Fundament für den Betrieb der Kontrollsysteme während der kommenden Jahre. Ein herausragender Meilenstein der Arbeit war die termingerechte Inbetriebnahme der neuen Kontrollsysteme zur Wiederaufnahme des DORIS Nutzerbetriebs Ende August nach einer nur knapp achtmonatigen Betriebsunterbrechung. Das zukünftige Kontrollsystem von PETRA III wird eine Fortschreibung der Kontrollsysteme von LINAC II / PIA / DESY II sein und somit direkt von den bisherigen Arbeiten und den gewonnenen Erfahrungen profitieren.

Nach einer intensiven Vorbereitungszeit während der beiden vergangenen Jahre wurden fast alle Server- und Bedienungsprogramme in der offenen und plattformunabhängigen Programmiersprache Java neu erstellt. Neben diesen individuell programmierten Programmen werden auch einige Bedienungsoberflächen zum Einsatz kommen, die mithilfe des jddd-Frameworks erstellt werden, das im Rahmen des XFEL-Projekts entwickelt wird. Die weit über hundert Programme kommunizieren über das leistungsfähige und weit entwickelte Kommunikationsprotokoll TINE. TINE ist eine weltweit einzigartige Software-Suite, die auf Grund ihrer Vielfalt und Flexibilität zunehmendes Interesse bei anderen Beschleunigerkontrollsystemen findet. Es wurde die Betriebsunterbrechung genutzt, auch Weiterentwicklungen von TINE in den Betrieb einzuführen. Hierbei sind vor allem eine native Java Implementierung, eine effiziente Videoübertragung und die Erweiterung von

zentralen Diensteschnittstellen zu nennen. Die über viele Jahre für den jetzt stillgelegten Beschleuniger HERA entwickelten und erfolgreich eingesetzten Archiv- und Alarmdienste wurden erweitert, modernisiert und in die neuen Kontrollsysteme integriert. Dieses Arbeitspaket konnte erfolgreich in Zusammenarbeit mit einer externen Firma durchgeführt werden. Hunderte, teilweise stark veraltete Elektronikcontroller wurden durch neuentwickelte Elektronikmodule ersetzt. Damit verbunden war die Einführung eines modernen, kommerziellen Feldbusses (CANopen) als Ersatz für den nicht mehr zeitgemäßen, bisher verwendeten Datenbus. Die Verbindung der verschiedenen Feldbuslinien mit den Kontrollsystemen erfolgt jetzt über eine große Anzahl, im Feld verteilter, sogenannter Embedded-Systeme mit LINUX Betriebssystem, die ausschließlich in C/C++ programmiert sind. Eine neuentwickelte, universelle Schnittstellensoftware (Common Device Interface), die den Programmieraufwand deutlich verringert, konnte ebenfalls erfolgreich in Betrieb genommen werden. Alle Netzwerke mussten in Zusammenarbeit mit der DESY IT Abteilung auf den heute erwarteten technologischen Standard gebracht werden. Im Bereich der Vorbeschleuniger gibt es eine Vielzahl analoger Mess- und Bildsignale. Ein neues, schnelles Datenerfassungssystem ermöglicht es jetzt, alle diese Signale bereits an der Quelle zu digitalisieren und in den Kontrollsystemen bereitzustellen.

Die vollständige Inbetriebnahme der Kontrollsysteme von LINAC II / PIA und DESY II ist ein langwieriger, in Stufen durchgeführter und noch nicht abgeschlossener Prozess. Nach dem Einbau der neuen Front-End Elektronik und der damit verbundenen umfangreichen Verkabelungsarbeiten sowie der Bereitstellung der Softwarebasisfunktionalität lagen der Schwerpunkt bei LINAC II / PIA zunächst auf der allgemeinen Fehlerbeseitigung und der Konfiguration der Alarmsystemsoftware. Bei DESY II konnte der sogenannte Sequenzer erfolgreich in Betrieb genommen werden, der automatisierte Betriebsabläufe steuert. Auch die Integration der gemessenen Strahlensignale stellt bei DESY II eine besondere Herausforderung dar. Ferner wurde damit begonnen, Betriebsübersichten und Archivdaten mithilfe moderner Web-Technologien bereitzustellen.

Das Kontrollsystem von DORIS ist im August weitgehend unverändert wieder in Betrieb gegangen. Es stellt jetzt im technischen Sinn eine Insel dar. Über eine mögliche Erneuerung wird dann entschieden werden, wenn die weitere Zukunft dieses Speicherings bekannt ist.

FLASH

Für den Betrieb von FLASH waren keine größeren Änderungen am Kontrollsystem notwendig. Der Betrieb lief ohne nennenswerte Störungen. Nur ein sehr alter PC zur Steuerung von Speicher-Programmierbaren-Steuerungen und sogenannten intelligenten Klemmen musste ersetzt werden. Er wurde durch ein komplett redundantes System, bestehend aus zwei Rechnern, ausgetauscht. Das neue System läuft unter LINUX mit einer ZEN Virtualisierung Software, die ein automatisches Umschalten der laufenden Prozesse implementiert.

Das Kamera System von FLASH, das aus über 100 Kameras verschiedener Typen besteht, läuft durch die Umstellung von ca. 20 weiteren Systemen jetzt einheitlich mit DOOCS-LINUX-Servern. Im Berichtszeitraum wurden noch weitere Kameratypen in das System integriert. Dies war unter anderem durch die Anpassungen auf die aktuelle LINUX Version möglich.

FLASH hat als erster Beschleuniger ein schnelles Datennahmesystem (DAQ), das über 1000 Kanäle mit mehr als 1 MHz synchron Daten des gesamten Beschleunigers aufzeichnet. Es werden auch die Daten einiger Nutzerexperimente verarbeitet. Insgesamt wurden für die Experimente im Jahr 2008 10 TB Daten auf dem zentralen Taperoboter gespeichert. Das DAQ wurde auch in diesem Berichtszeitraum weiterentwickelt. So konnte die Geschwindigkeit der Datenaufzeichnung verzehnfacht werden. Darüber hinaus wurde eine Anbindung an die MATLAB-Software zur Datenauswertung erstellt, sowie an speziellen Auswerteroutinen für die Experimente gearbeitet.

Allgemeine Kontrollsysteminfrastruktur

Nach über dreißig Jahren ging im August die Ära der NORSK-DATA Rechner bei DESY endgültig zu Ende. Dieser Rechnertyp stellte das Fundament des Kontrollsystems des ehemaligen PETRA I Beschleunigers dar. Zuletzt waren noch zwei Rechner zur Personenerfassung an den Eingängen des jetzt stillgelegten HERA Beschleunigers eingesetzt.

Im Zuge der Erneuerungsmaßnahmen wurden auch die File Server der Kontrollsysteme erneuert und wie alle anderen Kontrollsystemrechner in die DESY Standardumgebung eingefügt. Die über die vielen Jahre angesammelten Betriebsdaten der Vorbeschleuniger, von DORIS und PETRA wurden in die zentrale Datenbank des DESY Rechenzentrums verlagert und sind dort auch in Zukunft jederzeit abrufbar. Auch die archivierte Daten des HERA Betriebs sind noch jederzeit on-line verfügbar.

Der große Kontrollraum wurde während der Betriebsunterbrechung im ersten Halbjahr umgestaltet. Nach dem Wegfall der stillgelegten Anlagen HERA, DESY III und LINAC III mussten den laufenden Beschleunigern teilweise neue Bedienungsplätze zugewiesen werden. Die Arbeitsplätze der Operateure wurden mit neuen Bildschirmen und in den meisten Fällen auch mit neuen Rechnern ausgestattet.

Digitale Controller und Front-End Elektronik

Im Laufe der letzten beiden Jahre waren eine Vielzahl neuer Controller- und Adaptermodule entwickelt und zum Teil in Großserien von bis zu tausend Einheiten termin- und budgetgerecht gefertigt worden. Die Mehrzahl der neuen Elektronikmodule mit CANopen Feldbusanbindung betrifft die Fernkontrolle von gepulsten und ungepulsten Stromnetzgeräten und von Vakuumkomponenten. Zu Beginn der Umbauphase wurde die Front-End Elektronik bei LINAC II / PIA und DESY II erneuert und erste, sehr zufriedenstellende Erfahrungen mit den neuen Geräten gesammelt. Eine planerische und logistische Herausforderung stellen der Einbau

und die Verkabelung von mehreren tausend Modulen an verteilten Standorten in PETRA III dar.

In der zweiten Hälfte des Berichtsjahres übernahm das Entwicklungs- und Servicelabor von MCS zudem die Betreuung der weit über hundert Motoransteuerungen im FLASH Kontrollsystem. Zu dieser Aufgabe zählt auch die Planung und Ausführung weiterer Steuerungssysteme im Rahmen des geplanten FLASH Ausbaus und des XFEL-Projekts.

Projekt European XFEL

Als Vorbereitung für den European XFEL wurde die Entwicklung eines stabilen Timingsystems begonnen. Trigger- und Clocksignale sollen im gesamten Beschleuniger mit einer RMS-Stabilität im Pikosekundenbereich verteilt werden. Diese Arbeiten werden in Zusammenarbeit mit einer Gruppe am Department of Physics der Stockholm University durchgeführt.

Es konnten eine Reihe von neuen Systemen auf Basis des neuen Micro TCA (*Micro Telecommunications Computing Architecture*) Standard aufgebaut werden. Sowohl Firmware in FPGAs (*Field Programmable Gate Array*) auf AMC (*Advanced Mezzanine Card*) Modulen, IPMI (*Intelligent Platform Management Interface*) Code zum Systemmanagement als auch LINUX und Solaris-Treiber wurden entwickelt. Es wurden Komponenten von verschiedenen Herstellern im Zusammenspiel getestet, wodurch eine gute Eignung dieses Standards für den Einsatz im XFEL bestätigt werden konnte.

Im Bereich der Softwareentwicklung wurde weiter an dem grafischen Editor jddd (*Java DOOCS Data Display*) für Kontrollsystemapplikationen gearbeitet. Das Programm erhielt den Preis der PCaPAC 2008 Kontrollsystemkonferenz. Mit jddd können nicht nur DOOCS-Daten sondern auch Werte von einem TINE- und Tango-Kontrollsystem dargestellt werden.

Personen-Sicherheitssysteme

–MPS–

Die Gruppe MPS ist verantwortlich für die Interlocksysteme zum Schutz von Personen vor ionisierender Strahlung beim Betrieb von Beschleunigern und Cavity-Testständen. Dazu gehören Türeninterlock- und Notaus-Systeme, Beamshutter- und Strahlfallensteuerungen, optische und akustische Warneinrichtungen, Strahlfreigabe-Steuerungen und Kommunikationssysteme. Außerdem werden von MPS Interlocksysteme für den Magnetstrombetrieb erstellt.

Die Elektronikmodule und Geräte für die Sicherheits-schaltungen werden bei MPS entwickelt. Sie sind mit zwangsgeführten Relais aufgebaut und in 60-V-Technik verdrahtet.

Seit einigen Jahren findet eine Umstellung der Systeme auf eine moderne computerunterstützte Technologie statt. Die Schaltzustände der Sicherheitsrelais in den Elektronikmodulen werden über ein CAN-Bus-Interface per Computer ausgelesen, dabei wird das CANopen-Protokoll verwendet. Schaltzustände können nun permanent auf Konsistenz geprüft werden, außerdem wird eine Visualisierung und die Bedienung von Funktionen über ein Kontrollsystem ermöglicht. Eine Computersteuerung der Relais ohne entsprechende Voraussetzungen durch die Hardware-Logik ist in Schaltungen mit hoher Sicherheitsrelevanz ausgeschlossen, dagegen können Funktionen an die geringere Sicherheitsanforderungen gestellt werden auch rechnergesteuert ablaufen.

Hardware-Entwicklung

Im Elektroniklabor von MPS wurde 2008 an folgenden Hardware-Entwicklungen zur Modernisierung der Interlocksysteme gearbeitet:

Es wurden neue Schlüsselmodule entwickelt mit je einem Schloss für Sicherheitsschlüssel. Jedes Schloss kann individuell verriegelt und per Softwaresteuerung freigegeben werden. Die neuen Module bieten eine höhere Sicherheit durch eine Zwangsführung zwischen

Schloss und Sicherheitsschalter und durch eine Computerüberwachung von Schalterstellungen und Mechanik. Die mechanische Konstruktion wurde vom Labor MDI-3 entworfen. Bis zu 7 Schlüsselmodule pro Crate können mittels einer neu entwickelten Backplane in einem Spezialgehäuse zu einer Einheit zusammengefasst werden, die die bisherigen Schlüsselkästen an den Interlocktüren ersetzen soll.

Die Fahrkassetten, mit denen vor Ort im Beschleuniger Beamshutter, Absorber und Strahlfallen gesteuert und deren Endlagenschalter verarbeitet werden, sind dahingehend verbessert worden, dass strahlungsempfindliche Bauteile und Kontaktvervielfacher herausgenommen und in die Elektronikmodule außerhalb der Tunnel verlagert wurden.

Für die BKR-Konsolen wurden neue Module für die Bedienung des überwachten Zugangs (ZZ) gebaut und in Betrieb genommen. Jeder Beschleuniger hat jetzt ein eigenes Modul; diese Entkopplung vereinfacht Wartungs- und Reparaturarbeiten und erhöht die Betriebssicherheit.

Ein neu entwickeltes Elektronikmodul sorgt bei ZZ-Vorgängen dafür, dass an einem Beschleuniger eine Türüberbrückung nur einmalig und nur in einem Gebiet möglich ist und nur bei aktiven Rechnern erfolgen kann. In anderer Schaltungsvariante wird dieses Modul genutzt, um Rückmeldungen von akustischen und optischen Warneinrichtungen zu verarbeiten. In diesem Kontext wurde eine neue Backplane entwickelt, die universell für alle drei HE-Elektronikmodule von MPS verwendbar ist. Rückmeldungen der Funktion optischer Warneinrichtungen sollen erstmals bei PETRA III verarbeitet werden. Dazu wurde eine Schaltung zur Funktionsüberwachung von Drehwarnlampen entworfen und in Zusammenarbeit mit einer Firma Blinkwarnlampen mit LED-Leuchtmitteln entwickelt, die ebenfalls über eine Funktionsüberwachung verfügen.

Die CAN-Terminal-Boxen, mit denen vor Ort per Software Warneinrichtungen u. a. gesteuert werden, wurde für PETRA III um Funktionalitäten erweitert für die Auslese der Rückmeldungen von Warnlampen und Tableaus, für die Ansteuerung einer neu entwickelten Interfacebox zu den DACHS-Terminals an den Inter-

locktüren und um eine hardwaregesteuerte redundante Ausschaltfunktion von Warneinrichtungen bei Interlockbruch.

Es wurde ein neuer Umschaltein Schub für Netzgeräte der 60V-USV-Anlage entwickelt, mit dem für störungsfreie Reparatur- und Wartungsarbeiten separate Abschaltungen von Verbraucherkreisen durchgeführt werden können. In dem Einschub werden Betriebsspannung und Strom von Batterie, Netzteil und Verbrauchern gemessen und mit einem CANopen-Interface eine Fernkontrolle der Messwerte sowie eine Überwachung des Zustands der Sicherungs-Automaten ermöglicht.

Software-Entwicklung

In Rahmen der Erneuerung der Interlocksysteme von LINAC II, DESY und PETRA III wird auch die Software für die Interlockserver völlig neu konzipiert und durch neue objektorientierte Software ersetzt, die von MPS erstellt wird. Die neue modular strukturierte Software wird in Java programmiert. Ziele sind dabei eine leicht zu pflegende Ablaufsteuerung, die Überwachung der Hardware sowie die Verlagerung aller logischen Funktionen von den Applikationen der BKR-Konsolen auf die Interlocksoftware. Dabei werden auch die erforderlichen TINE-Server für die Schnittstelle mit dem BKR-Kontrollsystem von MPS geschrieben.

Im Jahr 2008 konnte Software für das Türeninterlock von LINAC II, DESY und PETRA erstellt und in Betrieb genommen werden sowie die Software für den Überwachten Zugang (ZZ) bei LINAC II und DESY in erster Ausbaustufe für jeweils eine Tür pro Gebiet.

Kommunikationssysteme

Für PETRA ist eine Neuentwicklung in Arbeit, bei der die Funktionen des sonst üblichen Ansagegeräts von einer entsprechend per Software gesteuerten Soundkarte in den Feldcomputern übernommen werden. Außerdem wurden für den Anschluss an die Verstärker neue FEC-Adapter entworfen und produziert.

Interlocksysteme an Beschleunigern und Testständen

Im Jahr 2008 wurden an den Interlocksystemen folgende Änderungen durchgeführt:

LINAC II, DESY Inbetriebnahme neuer Software für Türeninterlock und ZZ (vorläufig nur an je einer Tür); damit konnte die gesamte alte Software außer Betrieb genommen werden und die Hardware von Feldcomputern und CANBus-Lines auf den geplanten Status gebracht werden. In den Interlockgebieten wurden neue Setztasten montiert, die eine optische Unterstützung bei der Absuche bieten und es wurden neue Steuermodule für das Türeninterlock eingesetzt, die eine höhere Ausfallsicherheit bei Wegfall der 30 V Versorgung bieten. Bei DESY wurde ein neues Konzept für den Interlockanschluss DESY-PETRA erarbeitet und die zugehörige Hardware installiert. Bei LINAC II wurde die 230 V Versorgung der Elektronikschränke modernisiert und es wurden die Lautsprecherverkabelungen erneuert.

FLASH Eines der neu entwickelten Schlüsselmodule wurde in die Freigabesteuerung des FBD-Gebietes eingeschleift, um damit bei Bedarf die Öffnung des Beamshutters sperren zu können.

PETRA III Das neue Interlocksystem für den Beschleuniger wurde aufgebaut und es konnten bereits wesentliche Komponenten für die alten 7/8 des Tunnels mit etlichen konzeptionellen Neuerungen erfolgreich in Betrieb genommen werden: Das Notausssystem mit Anbindung an die Verbraucher, das Türeninterlock für 5 Gebiete sowie die Magnetwarntableaus. Die Systeme für das neue Achtel sowie die zentralen Freigabesteuerungen wurden weitgehend fertiggestellt. Für die speziellen Anforderungen der Experimente wurden Konzepte für die Interlocksysteme festgelegt und mit dem Aufbau von Infrastruktur begonnen.

Im Jahr 2008 waren 45 % der Belegschaft von MPS als Operateure im BKR-Teilschichtdienst tätig.

Diagnose und Instrumentierung –MDI–

Homepage: <http://adweb.desy.de/mdi/>

Die Gruppe MDI ist zuständig für die Erfassung und Messung der Strahleigenschaften in nahezu allen Beschleunigern und Speicherringen bei DESY. Dazu gehören die Analyse von Strahlage, Strahlströmen, Strahlprofilen, sowie die Messung der Strahlverluste und die Integration von diversen Signalen in den Maschineninterlock-Systemen zum Schutz vor Zerstörung von Komponenten. Für das neue Projekt PETRA III entwickelt MDI nahezu die komplette Strahldiagnose. Für den European XFEL wurden die detaillierten Planungen und Entwicklungen für alle Belange der Strahldiagnostik weitergeführt.

PETRA III

Ein Schwerpunkt der Arbeiten von MDI war die Fertigstellung der Diagnosekomponenten für PETRA III. Dafür wurde die umfangreiche Liste von Aufgaben abgearbeitet:

BPM System: Der Aufbau des BPM-Systems auf Basis der kommerziellen *Libera Brilliance*-Komponenten der Firma Instrumentation-Technologies wurde weiter vorangetrieben. Ein Test aller Teilsysteme für alle eingebauten BPM-Kammern wurde erfolgreich abgeschlossen. Die für die Inbetriebnahme von PETRA III geforderten Spezifikationen des BPM-Systems konnten in Labortests und am DORIS-Beschleuniger erfolgreich bestätigt werden. Der Aufbau des BPM-Systems in der neuen PETRA III Experimentierhalle wurde begonnen. Die Strahlage- und Orbit-Software für das neue PETRA III Kontrollsystem wurde als Client-/Server-Struktur konzipiert und die dazu erforderlichen Grundfunktionen (Server und Client) realisiert. Die grundlegenden Nutzerfunktionen (Clients/Server) befinden sich derzeit im Labortest. Erweiterte Nutzerfunktionen (Clients) werden zurzeit in Zusammenarbeit mit der Gruppe MCS entwickelt. Für die zur Beobachtung von mechanischen Bewegungen der BPMs im Bereich der

Experimentierhalle eingesetzten HF-MoMo (*High Frequency Movement Monitore*) konnte die Entwicklung in 2008 erfolgreich abgeschlossen werden. Alle für den Gesamtaufbau erforderlichen Antennen-Koppler-Systeme wurden gefertigt, vorgetestet und in die Girder eingebaut. Um die an den Undulatoren benötigte hohe Auflösung der Strahllagemessung auch durch HFMoMo zu gewährleisten, werden spezielle Stützen mit einem extrem geringen Wärmeausdehnungskoeffizienten benötigt. Durch geschickte Faseranordnung von Kohlefasern im Zusammenspiel mit einem festgelegten Faservolumengehalt kann ein Wärmeausdehnungskoeffizient von nahezu 0 erreicht werden. Für die CFK-Stützen, die im Wickelverfahren hergestellt werden (Abbildung 135), wurde ein Wärmeausdehnungskoeffizient von $0.045 \cdot 10E^6$ 1/K erreicht. Bei einer Rohrlänge von 1220 mm und einem Temperaturunterschied von 1 K würde die zu erwartende Längenausdehnung damit nur $0.05 \mu\text{m}$ betragen. Dies ermöglicht einen Betrieb des HF-MoMo-Systems mit einer Auflösung von unter 100 nm. Die Umsetzung und Integration der HF-MoMo-Software in die neue Kontrollsystem-Umgebung ist für Anfang 2009 in Zusammenarbeit mit der Gruppe MCS geplant.



Abbildung 135: CFK Stütze für das HF-MoMo mit sehr geringem Wärmeausdehnungskoeffizienten.

Strahlstrom: Alle drei neuen In-Flange-FCTs (*Fast Current Transformer*) der Fa. Bergoz wurden erfolgreich getestet und eingebaut. Für den elliptischen FCT waren allerdings einige konstruktive Änderungen notwendig, die in Zusammenarbeit mit der Gruppe MVS erarbeitet wurden. Die vorhandenen Bergoz-DCCTs wurden erfolgreich bei Bergoz erneuert und auf ihren Einsatz bei PETRA III vorbereitet. Alle erhielten neu konstruierte Abschirmungen (Abbildung 136).

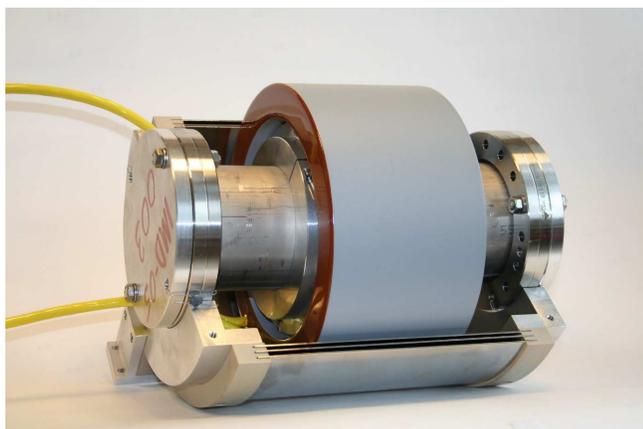


Abbildung 136: PETRA III DCCT mit Abschirmung.

Zur *transversalen Emittanzmessung* bei PETRA III sind zwei nicht-invasive Systeme vorgesehen, ein Laser-Wire Scanner sowie ein Synchrotronstrahlungs-Monitor mit abbildender Röntgen-Optik, der in eine Diagnose-Beamline integriert ist. Die vakuumnahen Komponenten des Laser-Wire Scanners sowie der strahloptische Transport inklusive eines Laser-Interlock Systems sind aufgebaut, erste Tests zum Strahltransport wurden bereits durchgeführt. Konstruktion und Fertigung der Komponenten zur Diagnose-Beamline wurden abgeschlossen, der Aufbau der vakuumnahen Komponenten ist derzeit in Gange.

Eine weitere *Diagnose-Beamline zur Bunchlängenmessung* mittels optischer Synchrotronstrahlung wurde konzipiert. Die Extraktionskammer und die Transportstrecke nebst Strahlführung über apochromatische (farbfehlerfreie) Relay-Optik und Planspiegelsysteme wurden aufgebaut. Die Extraktionskammer mit einem wassergekühlten Auskoppelspiegel aus Kupfer wurde im PETRA III Ring eingemessen und in Betrieb ge-

nommen. Die Übertragung der erwarteten optischen Wellenfront mit ca. 16 mm Durchmesser durch das gesamte System erreicht mit einem Strehlwert von 99 % nahezu die theoretisch machbare Grenze. Die Freiheit vom Farbfehler entsteht durch den Einsatz von Gläsern mit anormaler Dispersion und führt in der Zeitdomäne zu einer dispersionsbedingten Auflösungsgrenze von nur 3 ps. Für die Bunchlängenmessung wurde eine hochauflösende 250 MHz Double Sweep Streak Kamera bestellt. Für die notwendigen Strahlumlenkungen wurden vier hochpräzise Planspiegel erworben, deren Ebenheit auf 150 mm Durchmesser ± 30 nm Abweichung nicht überschreiten. Insgesamt wird durch das Spiegelsystem in der Summe eine Wellenfrontdeformation von unter $1/4$ der Hauptwellenlänge von 550 nm erfüllt. Alle mechanischen und optischen Komponenten wurden so ausgelegt und hergestellt, dass eine vibrationsdämpfende Aufstellung im PETRA Tunnel gewährleistet wird. Alle beweglichen Teile wie Spiegel und Fokussierer werden über Steuerungen nach MDI-Standard fernbedient. Damit erlaubt das System neben der präzisen Bunchlängenmessung auch eine Strahlprofilmessung, die allerdings in der vertikalen Ebene beugungsbegrenzt ist.

Schirmmonitore: Die Schirme am PETRA Injektionsseptum und in PETRA III wurden gefertigt, getestet und an ihren Positionen eingebaut.

Für das *Bewegen der Girder* in der PETRA-Experimentierhalle wurde ein schrittmotorgesteuertes System aufgebaut und erfolgreich in Zusammenarbeit mit MEA-2 zur Feineinstellung der Girder eingesetzt.

Machine-Protection-System: Die Hardwarekomponenten für das Machine-Protection-System (MPS) für PETRA III wurden vollständig beschafft und getestet. Das System für PETRA III umfasst in der ersten Ausbaustufe 25 MPS-Alarmmodule mit jeweils 16 Alarmeingängen, zehn MPS-Controller (LWL, Dump- und Post-Mortem-Ausgänge) und einen MPS-Master, der über eine Strahlstrommessung mit einem speziell überwachten DCCT in PETRA III das System ab einer eingestellten Stromschwelle scharf schaltet. Der Serienfertigung der MPS-Module vorangegangen ist eine Vorserie. Mit dieser wurde ein EMV-Test durch-

geführt, dessen Ergebnisse in die Serie eingeflossen sind. Für die erste Inbetriebnahme des MPS wurde eine Firmware-Version mit Minimalanforderungen erstellt.

Das *Temperaturmesssystem* zum Schutz der Vakuumkammern in besonders kritischen Bereichen (z. B. Dämpfungswiggler, Undulatoren, etc.) wurde auf ca. 2100 Temperatursensoren erweitert. Nach erfolgreich abgeschlossenen Systemtests der Vorserienkomponenten wurden alle erforderlichen Serienkomponenten gefertigt, einem teil-automatisierten Serientest unterzogen und die alten Achtel des PETRA-III-Rings damit ausgerüstet. Die Einrüstung der Temperatursensorik auf den Komponenten des neuen Experimentierbereiches wurde begonnen. Nach der Erstellung des Konzeptes für die Firmware wurde diese zu einem großen Teil fertig gestellt und befindet sich im Labortest. Die Integration in das neue PETRA-III-Kontrollsystem ist für Anfang 2009 vorgesehen. Das System zur Auslese und Verarbeitung der *Pilotherm- und Wasserwächter-Signale* wurde erfolgreich in Betrieb genommen.

DORIS

Die bestehende Diagnostik und Instrumentierung wurde weiter gewartet und problemlos betrieben.

Vorbeschleuniger und Transportwege

In den Transportwegen (E- und L-Weg) wurden die neuen Schirmmonitoreinheiten installiert und beim Wiederanlauf der Vorbeschleuniger erfolgreich in Betrieb genommen. Sie bestehen aus einem modularen, wartungsfreundlichen Aufbau aus Standardkomponenten und sind so konzipiert, dass auch im Falle einer Störung der druckluftgetriebenen Verfahrmeechanik der Strahlbetrieb nicht behindert wird. Darüber hinaus wurden bei PIA die alten pressluftgesteuerten Verfahreinheiten gegen neue Einheiten ausgetauscht und ebenfalls erfolgreich in Betrieb genommen.

Die acht neuen induktiven Strommonitore für die Transportwege und LINAC II sowie drei Widerstandsmonitore für den L-Weg und die DESY II Strommonitore

wurden erfolgreich beim Start der Beschleuniger in Betrieb genommen. Dafür wurde ein neues, PXI-basiertes Messsystem der Monitore ins Beschleuniger-Kontrollnetz integriert.

Die zur Erweiterung der Strahlage-Messsysteme in den Vorbeschleunigern (PIA, DESY II) erforderlichen Entwicklungen wurden abgeschlossen und Mitte des Jahres erfolgreich in Betrieb genommen. Die Inbetriebnahme der BPM-Systeme im Transportweg für PETRA III und die Umsetzung erweiterter Funktionen der übrigen Vorbeschleuniger BPM-Systeme in der Kontrollsystem-Software ist für Anfang 2009 geplant.

Mit der Entwicklung eines völlig neuen Auslesesystems (3 GHz) der Strahlage-monitore am LINAC II wurde begonnen.

FLASH

Die umfangreichen Verbesserungen am BPM-System und deren Wartungs-Software haben zu einem sehr zuverlässigen Betrieb geführt. Die erfolgreiche Umrüstung aller FLASH-Stripline-BPM-Elektroniken auf einen neuen Normalizer Typ linearisierte und glättete die Kennlinie der BPMs deutlich. Um das BPM-Signal unabhängig von Drifts und Jitter des externen Triggers zu machen wurde ein Eigentripper-Modul entwickelt und erfolgreich im Labor getestet. Die ersten Tests bei FLASH sind für Anfang 2009 geplant.

Es wurden diverse neue BPMs in Vorbereitung für das XFEL-Projekt in FLASH eingebaut. Für das neue Modul 8 wurde ein weiterer kalter Knopfmonitor vorbereitet und eingebaut, ebenso wie ein neuer Stripline-BPM und ein fahrbarer Teststand mit Knopf- und Cavity-BPMs.

European XFEL

Im Bereich der XFEL BPMs wurden die Vorbereitungen für ein gemeinsames BPM Projekt mit CEA Saclay, PSI Villigen und DESY vorangetrieben. Das gemeinsame In-Kind Projekt dieser drei Labore ist bereits im In-Kind Review Committee vorgestellt und von den

Mitgliedern empfohlen worden. Die Verhandlungen über die Aufteilung der Arbeiten und die Übernahme der Kosten ist soweit abgeschlossen, dass eine formale Kollaboration unmittelbar nach Gründung der European XFEL GmbH vereinbart werden kann. Der DESY Anteil liegt hauptsächlich im Bereich des Baus der Knopf und Cavity-BPMs. In diesem Zusammenhang wurden drei Prototypen eines Cavity-BPMs mit einer Resonanzfrequenz von 4.4 GHz hergestellt. Ein Cavity BPM wurde im Mai in FLASH eingebaut. Dieser BPM kann durch Verfahrenseinheiten in beiden Richtungen transversal zum Strahl verfahren werden, um eine definierte Ablage zu erhalten.

Im Laufe des Jahres wurden verschiedene Messungen mit Strahl bei FLASH durchgeführt. Als wichtiges Resultat wurde die Sensitivität des Dipolresonators gemessen; diese beträgt $(9.737 \pm 0.014) \text{ V}/(\text{mm nC})$ in Übereinstimmung mit der Erwartung von $9.8 \text{ V}/(\text{mm nC})$. Der eingebaute Cavity-BPM zeigt allerdings ein höheres Übersprechen zwischen beiden transversalen Ebenen von -20 dB; erwartet wurde -28 dB. Dies ist auf eine zu große mechanische Toleranz der Auskoppelschlitze zurückzuführen. In Kollaboration zwischen PSI und DESY wurde entschieden, dass Cavity-BPMs nicht nur für den Undulator-Bereich eingesetzt werden, sondern auch in anderen warmen Bereichen beim European XFEL, insbesondere beim Strahlage-Feedback-System. Da dieselbe Elektronik sowohl im Undulator-Bereich mit einem Strahlrohrdurchmesser von 10 mm wie auch in den anderen Bereichen (Strahlrohr Durchmesser von 40.5 mm) genutzt werden soll, musste eine kleinere Resonanzfrequenz von 3.3 GHz gewählt werden. Neue Undulator-Cavity-BPMs wurden für diese Frequenz berechnet, simuliert und in eine Konstruktion umgesetzt. Sechs Undulator-Cavity-BPM-Prototypen wurden hergestellt (Abbildung 137) und im Labor vermessen. Die Resonanzfrequenzen und belasteten Güten des Dipolresonators stimmen mit der Erwartung innerhalb der Fehlergrenzen überein. Die Geometrie wurde für ein kleineres Übersprechen entsprechend verbessert. Die Labor-Messwerte bestätigen den vorhergesagten Wert von -32 dB. Ein Monitor wird zum Jahreswechsel in FLASH eingebaut, zwei weitere werden für Strahltests an das PSI geliefert.



Abbildung 137: Foto des Cavity BPM mit einer Resonanzfrequenz von 3.3 GHz

Für den anderen warmen Bereich des European XFEL wurde ein Cavity-BPM mit 3.3 GHz und 40.5 mm Rohrdurchmesser berechnet und simuliert. Der Bau von Prototypen erfolgt in 2009.

PSI setzt seinen Schwerpunkt auf Entwicklung und Bau der Monitorelektroniken, wobei bei der Knopfmonitorelektronik auf die von MDI bereits weit vorangetriebene *Delay Multiplex Single Path Technique* aufgesetzt wird. Ein Prototyp dieser bei MDI entwickelten Elektronik wurde erfolgreich an FLASH getestet.

Bereits vor Beginn des gemeinsamen BPM Projekts liefen bei MDI Entwicklungsarbeiten für die XFEL BPMs. So wurde das Design für die Durchführungen der kalten Knopfmonitore bereits 2007 fertiggestellt. 2008 wurden auf Basis dieses Designs Prototypen beschafft, die 2009 kryogenisch getestet werden. Parallel hierzu wurden BPM-Gehäuse konstruiert und gebaut.

Ein Dunkelstrommonitor auf Basis eines Cavity-BPM-Referenzresonators mit einer Resonanzfrequenz von 1.3 GHz wurde entwickelt, konstruiert und hergestellt. Hierbei ist besonders wichtig, die Resonanzfrequenz der Beschleuniger-Cavities zu treffen, um das schwache Signal vom Dunkelstrom in eine messbare Spannung umzusetzen. Der hergestellte Dunkelstrommonitor-Prototyp besitzt eine Resonanzfrequenz von 1.299 GHz mit einer Bandbreite von 6.8 MHz. Mit diesem Ergebnis wird erwartet, dass der Monitor eine Sensitivität von $0.52 \text{ V}/\text{mA}$ (Dunkelstrom) erzeugt. Auch die höher-

en Moden stimmen gut mit der Erwartung überein. Der Monitor soll bei PITZ für erste Tests 2009 eingebaut werden.

Weitere XFEL-Vorhaben auf dem Gebiet der Strahlgrößenmessung sowie bei den Verlustmonitoren wurden bei MDI gestartet. Diese Projekte sollen als In-Kind Beiträge für den European XFEL beigestellt werden. Die Verhandlungen mit dem IHEP Protvino sind ange laufen. Möglichst bald nach Gründung der European XFEL GmbH sollen 2009 die entsprechenden Vereinbarungen offiziell getroffen werden. Die OTR-Monitore beim XFEL müssen deutlich erweiterten Anforderungen gerecht werden, insbesondere im Einsatz zusammen mit den Transverse-Mode-RF-Strukturen. Hierdurch entsteht die Anforderung, dass zwei Bereiche des Schirms für Strahlflecke in der Mitte, sowie ausgedehnte Strahlflecke am Rande des Schirms scharf und mit hoher Auflösung abgebildet werden müssen. Das konzeptionelle Design für eine solche Station wurde bei MDI gestartet, es basiert auf dem Scheimpflug-Prinzip, das aus dem Bereich von Großformatkameras bekannt ist. Hinzu kommen noch hohe Genauigkeitsanforderungen an die Positionierung des Schirms im Strahlrohr sowie die komplexe Integration des Schirms in den Sektionsaufbau.

Darüber hinaus wurden am Elektronenstrahl des Mainzer Mikrotrons (Institut für Kernphysik, Universität Mainz) Testmessungen zum Einsatz von Lumineszenzschirmen im Hinblick auf den European XFEL durchgeführt.

Für die Messung der Dunkelströme der supraleitenden Beschleunigungsmodule wurde der zusammen mit GSI und der Friedrich-Schiller-Universität Jena entwickelte supraleitende *Cryogenic-Current-Comparator* gemeinsam repariert. Genaue Messungen an dem Prototyp sind 2009 bei BESSY in Berlin am Teststand HobiCat vorge sehen.

Verkabelung

- Ständiger Ausbau, Wartung, Instandhaltung und Dokumentation der Lichtleiter-, Koaxial- und

Steuerleiternetze in allen DESY-Beschleunigeranlagen

- Detaillierte Planungen von Entkabelungs- und Verkabelungs-Arbeiten auf dem DESY-Gelände
- Sofortige Störungsbeseitigung bei auftretenden Fehlern in den verschiedensten Übertragungssystemen für alle Diagnose-Signale von den Maschinen zum Kontrollraum
- Wartung, Instandhaltung und Neubau des Pilotthermsystems in allen Beschleunigern
- Ständiger Aufbau neuer Elektronik-Racks nach Anforderung aus den diversen Gruppen
- Diverse Kabelinstallationen in PETRA III
 - Neuverkabelung des gesamten Beschleunigers PETRA III
 - Aufbau von Elektronikracks in den PETRA-Hallen und im ER1.
- Weitere Arbeiten an Beschaffung und Installation eines für DESY-weit nutzbaren Tools einer gemeinsamen Kabeldokumentation. In Zusammenarbeit mit diversen DESY-Gruppen und einer externen Firma wurde ein Produkt einer Firma bei DESY installiert und getestet. DESY spezielle Anforderungen wurden definiert und umfangreiche Feinspezifikationen wurden gemeinsam erstellt. Diese wurden von der Firma umgesetzt und werden zurzeit ausgiebig getestet.

Diverses

Umfangreiche Wartungs-, Reparatur- und Verbesserungsarbeiten an Diagnose-Komponenten in sämtlichen Beschleunigern sowie den Transportwegen wurden durchgeführt.

Die Dokumentationsunterlagen bei MDI wurden kontinuierlich erweitert. Position und Art der Messstation, Kabelwege und Nutzer von Diagnose-Instrumenten sind so leichter auffindbar. MDI trug mit vielen Kollegen zur regulären Schichtbesetzung und zur Rufbereitschaft im Beschleuniger-Kontrollraum bei.

Die Entwicklung und der Service von Spezialmonitoren und die Zusammenarbeit mit internen und auswärtigen Instituten wurden von MDI weitergeführt:

- Die Kollaboration mit SLAC, CEA Saclay, FNAL und KEK sowie mit Kollegen von anderen DESY Gruppen zu den Studien über *HOM-BPMs* wurden fortgeführt.
- Es wurde in Zusammenarbeit mit Kollegen vom INFN Frascati die Experimente zur Untersuchung optischer Diffraktionsstrahlung (ODR) als nichtinvasiver Strahlemittanzmonitor weitergeführt.
- Im Zuge der *CARE-HHH-Netzwerk-Aktivitäten* (europäisches FP6 Rahmenprogramm) lieferte MDI in Zusammenarbeit mit GSI und CERN diverse organisatorische und inhaltliche Beiträge zu der ABI-Arbeitsgruppe (http://adweb.desy.de/mdi/ABI_new.html) und nahm Teil an einen CARE-Workshop zum Thema *Transverse and Longitudinal Emittance Measurement in Hadron-(Pre-)Accelerators*.
- Teilnahme am europäischen Netzwerk DITANET (*Development of novel Diagnostic Techniques for future particle Accelerators; a European NETWORK*) im Rahmen des Marie Curie Initial Training Networks (ITN) des europäischen Rahmenprogramms FP7.
- Diverse Unterrichtsbeiträge und Schulungsvorträge im Rahmen der CERN Accelerator Schools (CAS).

Strahlkontrollen –MSK–

Die Gruppe MSK ist zuständig für spezielle Kontroll- und Instrumentierungsaufgaben im Zusammenhang mit der Strahldynamik in allen Beschleunigern. Dazu gehören auch Timing- und Synchronisationssysteme, Magnetstromsteuerungen sowie Feedbacksysteme für Hochfrequenz und Strahl.

Im Berichtszeitraum wurden neben dem Tagesgeschäft, der Wartung und Instandhaltung der Feedback-, Ti-

ming, und Synchronisationssysteme aller Beschleuniger, und der Hochfrequenzregelung am FLASH und European XFEL die im folgenden genannten Schwerpunkte bearbeitet.

DESY II

Bei DESY II gehen die Arbeiten an der neuen Magnetstromversorgung voran. Die Gruppe MSK trägt hier mit der Ansteuerungselektronik für die Magnetstromkreise für die Dipole, die Quadrupole und Sextupole bei. Es kommt hier besonders auf exakte Reproduzierbarkeit und Genauigkeit an. Leider konnte die Abnahme der Dipol-Netzgeräte bedingt durch verspätete Lieferung nicht wie geplant im Jahr 2008 erfolgen. Für den Betrieb von DESY II werden daher die alten Netzgeräten bis auf Weiteres benutzt.

Die neuen Netzgeräte für die Sextupolkreise SD und SF wurden erfolgreich in Betrieb genommen und mit Strahl getestet. Die Auflösung beträgt jetzt 18 Bit. Dies ist eine Verbesserung gegenüber der alten Magnetstromsteuerung (16 Bit). Zur Diagnose und Fehlersuche durch die Schichtbesatzung wurde eine Diagnose-Hardware entwickelt. Diese sogenannte Diagnose-Box ermöglicht eine schnellere Fehlerdiagnose und lässt für die Zukunft kürzere Betriebsunterbrechungszeiten erwarten.

Für die nachträgliche Diagnose von Störungen beim Magnetstrom wurde ein System zur Archivierung der Istwerte aller Magnetströme mit 12 Hz entwickelt. Das Archiv hat eine Speichertiefe von ca. 24 Stunden und kann vom Kontrollsystem ausgelesen werden.

Im Rahmen der Erneuerung der Magnetstromkreise wurde auch die Energiemessungselektronik erneuert. Eine schnelle Energiemessung ist nun alle 80 ms möglich. Die Genauigkeit liegt im Bereich von 10^{-5} . Es ist wichtig, die DESY II In- und Ejektionsenergie genau zu messen (und konstant zu halten) um einen störungsfreien Betrieb für die Speicherringe DORIS und PETRA zu gewährleisten.

PETRA III

Die im PETRA III Arbeitspaket beschriebenen Arbeiten für Machine Timing System, Multibunch Feedback System und das Fast Orbit Feedback System erfüllen den vorgegebenen Zeitrahmen für die Entwicklung, Fertigung und Installation aller geplanten Baugruppen.

Für das Multibunch Feedback System ist die Entwicklung des Prototyps eines extrem empfindlichen Strahlschwingungsdetektors erfolgreich im Labor getestet worden. Die geforderte hohe Empfindlichkeit zur Auflösung von Strahlschwingungen mit Amplituden im Bereich weniger μm kann hierbei durch ein neuartiges Kompensationsverfahren direkt am Strahlmonitor (bei DESY entwickelter Stripline Koppler) erzielt werden. Der Multibunch Schwingungsdetektor hat eine Eingangsbandbreite von über 65 MHz und ist daher für eine Bunchfolge von 8 ns konzipiert.

Von besonderer Bedeutung für Rauschfreiheit und Langzeitstabilität des Multibunch Feedback Systems ist die Erzeugung verschiedener in der Anlage benötigter Referenzfrequenzen. Diese werden durch ein von MSK entwickeltes PLL Modul bereitgestellt. Der Prototyp des Moduls ist im Labor erfolgreich getestet worden. Eine geplante Weiterentwicklung soll anspruchsvolle Anforderungen bei der Synchronisation von Lasern mit dem Elektronenstrahl im Bereich der Experimente erfüllen.

Die Strahl Lage Detektoren für das Fast Orbit Feedback System wurden zur Erhöhung der Messgenauigkeit in klimatisierten Räumen untergebracht. Das Klimakonzept befindet sich zurzeit im Test. Sämtliche Komponenten des Fast Orbit Feedback Systems wurden installiert, letzte Verkabelungen werden gegenwärtig ausgeführt, so dass die Testphase des Systems beginnen kann.

FLASH

Die Beiträge von MSK zur Verbesserungen des Betriebs von FLASH betreffen die Bereiche Master Oszillator und Phasenreferenzverteilung, Hochfrequenzregelung

des Injektors sowie die erste erfolgreiche Demonstration des longitudinalen Strahlfeedbacks im SASE Betrieb. Weiterhin wurden im Rahmen der Maschinenstudien die bestehenden LLRF Systeme evaluiert und neue Hardware und Software Komponenten erprobt. Diese werden in Zukunft am FLASH und dem European XFEL eingesetzt.

Der neue Master Oszillator sowie die Frequenzverteilung für FLASH wurden Anfang des Jahres fertiggestellt und im Frühjahr in FLASH installiert und in Betrieb genommen. Hierdurch wurde die Zuverlässigkeit des Systems wesentlich erhöht, da das bisherige System durch ständig wachsende Anforderungen über die letzten 10 Jahre kontinuierlich erweitert wurde. Außerdem konnte die Verkabelung wegen des Nutzerbetriebs bisher nicht bereinigt werden. Im neuen System sind Phasenrauschen und Phasendriften reduziert worden wodurch die Strahlqualität und Stabilität verbessert wurden. Außerdem stehen den Nutzern die gewünschten höheren Signalpegel bei guter Entkopplung zu anderen Systemen zur Verfügung. Die eingebaute Diagnostik für die Signalpegel und deren Phasen sowie der Lock Zustände der PLLs erlauben eine effiziente Fehlersuche und das modulare Design unterstützt ein schnelle Fehlerbehebung. Eine redundanter Master Oszillator, der 2009 in Betrieb genommen wird, unterstützt die geforderte hohe Verfügbarkeit.

Für die Hochfrequenzregelung der RF Gun ohne RF Probe Signal wurde die Kalibration des Feldes basierend auf der Messung der einfallenden und reflektierten Welle wesentlich verbessert. Durch einen Temperaturscan der Gun wird die Resonanzkurve durchfahren. Die dabei gemessene Impedanzkurve erlaubt eine präzise Bestimmung der Kalibrationsparameter. Durch dieses Verfahren wurde die Feldstabilität um bis zu einem Faktor 5 verbessert. Da das gegenwärtige Kalibrationsverfahren etwa 1 Stunde dauert, soll in Zukunft ein schneller Frequenzscan eine zum Nutzerbetrieb transparente Kalibrationsprozedur ermöglichen. Für die RF Gun des XFEL wird ein 10 MW Klystron eingesetzt. Die vorlaufende und rücklaufende Leistung muss in jedem der beiden Ausgangsarmlen mit je 5 MW gemessen werden. Gegenwärtig wird die Präzision einer solchen

Messung an der RF Gun bei PITZ in Zeuthen untersucht.

Im Bereich des ersten Kryomoduls (ACC1) wurde parallel zur Hochfrequenzregelung für den Nutzerbetrieb ein LLRF Entwicklungssystem aufgebaut, an dem neue Hardware und Algorithmen getestet werden können ohne den Nutzerbetrieb zu stören. Hierzu wurden die Cavity Probe Signale sowie die Signale der vor- und rücklaufenden Leistung gesplittet und die Ausgänge entkoppelt. An diesem System werden neue Regleralgorithmen sowie Mess- und Kontrollapplikationen erprobt und können während Maschinenstudien mit Strahl evaluiert werden.

Während der Maschinenstudien wurde auch erstmalig eine automatische Kompensation der Lorentzkraftverstimmung in 3 Kryomodulen erprobt. Die Amplitude und Anfangszeit für das Feedforward mit einer Sinushalbwelle werden über eine Echtzeitmessung der Lorentzkraftverstimmung gesteuert. Das Verfahren ist sehr robust und konvergiert in wenigen Pulsen. Im Rahmen der 9 mA Studien wurde eine Echtzeitimplementation eines adaptiven Feedforwards im FPGA getestet. Diese adaptiert sehr schnell und hilft somit Strahlverluste beim Betrieb langer Strahlpulse mit hohem Strom zu minimieren.

Zur Verbesserung der Energiestabilität und Reduzierung der Schwankungen der Ankunftszeit der Bunche wurde die Hardware für die Hochfrequenzregelung auch zur Feedbackstabilisierung dieser Größen verwendet. Hiermit konnte die Energie auf etwa 10^{-4} und die Ankunftszeit der Bunche auf 30 fs auch über längere Zeiten stabilisiert werden. Die durchschnittliche SASE Intensität wurde dadurch deutlich erhöht.

European XFEL

Für die auf dem neuen ATCA (*Advanced Telecommunications Computing Architecture*) Standard basierende Hochfrequenzregelung des European XFEL wurden wesentliche Hardware und Software Komponenten entwickelt und getestet. Hierzu gehören eine ATCA Trägerkarte mit 3 AMC Steckplätzen sowie mehrere

AMC Karten für die ADCs (*Analog Digital Converter*), Vektor Modulator und Timing. Auch eine RTM (*Rear Transition Module*) Karte mit sehr kompakten Mezzanin-Karten für die Downconverter wurde in Zusammenarbeit mit der Industrie entwickelt. Aus diesen Komponenten lässt sich eine modulare und skalierbare Hochfrequenzregelung aufbauen.

Da sich die Entwicklung der ATCA Trägerkarte wegen *Non-Disclosure Agreements* um mehrere Monate verzögert hatte, wurde die erste Demonstration einer ATCA basierten Regelung zunächst mit kommerziellen Carrier Blades durchgeführt. Die dazu nötige Software einschließlich der IPMI (*Intelligent Platform Management Interface*) und PCI Express (*Peripheral Component Interconnect Express*) Implementierungen wurde entwickelt und erfolgreich am FLASH mit Strahl getestet. Dabei zeigte sich, dass dieser erfolgversprechende Standard noch in den Kinderschuhen steckt und selbst kommerzielle Boards derzeit noch fehlerbehaftet sind. Ähnlich wie bei der Einführung des VME Standards sollten diese Probleme in der Zukunft nicht mehr auftreten.

Wesentliche Fortschritte wurden bei der Dokumentation des LLRF System für den XFEL erzielt. Basierend auf der System Modellierungssprache SysML (*System Modelling Language*) und dem Tool Enterprise Architect wurden Strukturdiagramme and Verhaltensdiagramme erstellt, die sowohl die Anforderungen als auch die Interface zu anderen Beschleuniger Subsystemen zeigen. Weiterhin wurde ist das konzeptionelle und zum Teil auch das detaillierte Design dokumentiert. Ziel ist es, die Kosten der einzelnen Blöcke zu bestimmen und darauf aufbauend langfristige bilaterale Abkommen mit den Kollaborationspartnern an den polnischen Universitäten in Lodz, Warschau, Swierk und Krakau abzuschließen.

Der geplante polnische In-Kind-Beitrag für die Hochfrequenzregelung wurde wegen Verzögerungen und Limitierungen bei der Finanzierung zum deutschen Beitrag abgeändert, wobei allerdings durch bilaterale Abkommen die polnischen Kollaborationspartner weiterhin am Hochfrequenzsystem beteiligt sind. Für die Installationsplanung der LLRF konnten Kollaborations-

partner aus Krakau gewonnen werden, die inzwischen schon einen konkreten Vorschlag zur Installation erarbeitet habe. Dabei wird aus Platz- und Kostengründen ein zentrales System bevorzugt, welches in drei klimatisierten Racks pro RF Station untergebracht werden kann.

Vakuum –MVS–

Die Gruppe MVS betreut die Vakuumsysteme aller laufenden Beschleuniger in DESY Hamburg und die Erstellung der Beschleuniger-Vakuumsysteme für die neuen Projekte PETRA III und European XFEL. Der Schwerpunkt der Arbeiten im Jahre 2008 betraf PETRA III.

LINAC II und DESY II

In Vorbereitung auf den Betrieb von PETRA III wurde ein neuer Konverter zur Erzeugung von Positronen in den LINAC II eingebaut. Das Vakuumsystem des Transportweges vom LINAC II zu PIA und weiter zu DESY II (L-Weg) wurde komplett erneuert. Im DESY Tunnel wurden die nicht mehr benötigten Vakuumsysteme für die Protonen-Strahlführungen entfernt. Die Vakuumsysteme für die Teststrahlen 21, 22 und 24 wurden erneuert und neue Pumpstände in den Experimentierbereichen aufgestellt. Das Vakuumsystem des Transportweges von DESY II nach PETRA III (E-Weg) wurde komplett erneuert inklusive der Beamshutter und Scraper.

DORIS

Bei DORIS waren nur einige kleinere Wartungsarbeiten vorzunehmen.

FLASH

In der Wartungsperiode 2008 wurden beim Linearbeschleuniger einige Umbauten durchgeführt:

- Im Injektor wurde eine Keramikammer für einen Kicker zur Reduzierung des Dunkelstroms von der Elektronenquelle eingebaut.
- Im Bunchkompressor 2 wurde die Strahlführung für den Einbau des Energie Feedback Systems modifiziert und im Bunchkompressor 3 ein verbesserter Strahllagemonitor im Bereich der Schikane eingebaut. Weiterhin wurden einige Prototypenelemente für den European XFEL wie Strahllagemonitore für die kalten Module und die Undulatorabschnitte sowie Stripline-Kicker an geeigneten Positionen eingebaut.

Für die in 2009 geplante Wartungs- und Umbauphase wurde intensiv mit den Vorbereitungen begonnen.

Für das neue Experiment sFLASH sollen vier zusätzliche Undulatoren vor den bereits vorhandenen Undulatoren eingebaut werden. Hier soll der Laser-Prozess in den Undulatoren durch einen gepulsten Laserstrahl gestartet werden. Dazu wird über eine neue Strahlführung ein Laserstrahl über zwei Spiegel sehr präzise in das Strahlrohr von FLASH geführt. Hinter den Undulatoren wird das erzeugte Laserlicht in eine neue Strahlführung zu den Experimenten geleitet. Im Berichtszeitraum wurde das Layout des Vakuumsystems für sFLASH erarbeitet. Die detaillierte Auslegung der vier Spiegelvakuumkammern in der zentralen Konstruktion wurde intensiv betreut. Die Detailkonstruktion der verbleibenden Komponenten bei MVS, insbesondere des Diagnoseblocks zwischen den Undulatoren, ist weit fortgeschritten. Die Beschaffung der Komponenten und ein Testaufbau mit den vier Spiegelkammern, um die hohen Anforderungen an die Justiereinrichtungen zu überprüfen, sind in Vorbereitung. Für die Undulator-Vakuumkammern wurde ein geeignetes stranggepresstes Aluminiumprofil beschafft. Bei den weiteren Bearbeitungsschritten sowie dem Halterungskonzept sollen die Konzepte für die Undulator-Vakuumkammern für den European XFEL ausgetestet werden.

Ende September entstand während des Betriebes mit langen Bunch-Zügen mit hoher Bunchladung ein Leck am Stahlrohr unmittelbar vor dem Strahldump. Das Leck befand sich an einer Flanschverbindung im stark

aktivierten Teil des Strahlrohres tief innerhalb der Betonabschirmung. Um den Betrieb des Beschleunigers fortsetzen zu können, wurde hinter dem letzten Schieberventil (ca. 2 m von der Leckstelle entfernt) eine Kupfersteckscheibe eingebaut. Ein neues Strahlrohr zum Strahldump, ohne Flanschverbindung innerhalb der Betonabschirmung, wird vorbereitet.

Mit der Planung der notwendigen Modifikationen, die sich aus dem Einbau eines weiteren Moduls auf Position ACC7 und des 3.9 GHz Moduls direkt hinter ACC1 ergeben, wurde begonnen.

Bei den Montagen weiterer Module, die 2009 in FLASH eingebaut werden sollen, wurden die benötigten Vakuumbauteile bereitgestellt und die notwendigen Lecksuchen und massenspektrometrischen Untersuchungen durchgeführt. Für das 3.9 GHz Modul, das derzeit am Fermilab montiert wird, wurde das Kopplervakuumsystem konstruiert und die Herstellung in Auftrag gegeben.

PETRA III

Alte Achtel

Die überholten Magnete von 7/8 des Ringes wurden im Berichtszeitraum wieder eingebaut und die neuen Vakuumkammern für diesen Teil des Beschleunigers wurden installiert. Bei der Prüfung der Abschnitte mussten bemerkenswert wenige Leckstellen nachgebessert werden. Nach der Lecksuche der durch Schieberventile getrennten Bogenabschnitte (Oktanten) wurden alle Ionengetterpumpen in Betrieb genommen. In zwei Abschnitten wurden die NEG-Pumpen bereits mit Erfolg aktiviert.

Die erforderliche dünne Beschichtung (1 Mikron) der Keramikammern für die Kickermagnete wurde in der Gruppe mit der vorgegebenen Genauigkeit hergestellt.

Die Konstruktion und Fertigung der vielen Sonderkammern (z. B. Dumpkammer, Kollimatoren, Scraper, getaperte Kammern, Kompensatoren) speziell für die geraden Strecken wurde abgeschlossen. Für die Fertigstellung der geraden Strecken im Westen und Norden fehlen noch spezielle Kupferabsorberkammern, die im Ja-

nuar 2009 vom Budker Institut in Novosibirsk geliefert werden. Ansonsten sind die geraden Strecken komplett aufgebaut und getestet.

Die mit NEG beschichteten Vakuumkammern der Dämpfungswigglerstrecken im Westen und Norden wurden mit maßgeschneiderten Heizmanschetten versehen und in situ mit einer neuen Heizungssteuerung bis knapp unterhalb der Aktivierungstemperatur ausgeheizt.

Neues Achtel

Für die Experimentier-Sektion, dem *Neuen Achtel*, werden extern vormontierte Abschnitte (Girder) mit Edelstahlkammern und dazwischen liegenden Kupferabsorbem verwendet (Abbildung 138). Der Aufbau ist wesentlich komplizierter als im Standardbogen. Der Zusammenbau aller Girder wurde im Berichtsjahr abgeschlossen und bis auf vier im Tunnel montiert.

Das Synchrotronlicht für die Experimente wird in acht Undulatorabschnitten erzeugt. Als Vakuumkammern werden stranggepresste Aluminiumprofile mit Pumpkanälen für NEG-Streifen verwendet. Die Fertigung und Vakuumtests dieser Kammern sind weit fortgeschritten. Die ersten Stützen mit den Kammerhalterungen sind im Beschleunigertunnel montiert.

Zusammen mit der Gruppe MCS wurde ein neues Kontrollsystem für das PETRA III Vakuumsystem entwickelt und zum Teil schon in Betrieb genommen.

Zum Anpumpen und Lecksuchen der Abschnitte wurden neue Pumpstände (sehr ähnlich den für den European XFEL benötigten) konzipiert, gebaut und im Tunnel eingesetzt.

Sensoren zur Überwachung der Vakuumkammertemperatur wurden installiert und mit dem Kontrollsystem verbunden.

European XFEL

Für den European XFEL wurde im Berichtszeitraum die Weiterentwicklung verschiedener Komponenten



Abbildung 138: *Installierter Girder DTLU im neuen Achtel.*

vorangetrieben sowie die Detailplanung für den Bau und die Beschaffung weitergeführt. Für Vakuummessgeräte und Pumpen wurden die Spezifikationen erarbeitet und erste Geräte beschafft. Die Anforderungen an die Infrastruktur wurden zusammengestellt und es wurde begonnen, vereinfachte 3D-Modelle der Vakuumsysteme für die Kollisionsprüfung der Gesamtinstallation des Beschleunigers zur Verfügung zu stellen.

Zur Bestimmung der Pumpengrößen und deren Anzahl wurden für verschiedene Beschleunigerabschnitte Simulationsrechnungen zur Druckverteilung durchgeführt. Als Standard sollen Ionengetterpumpen mit einer Saugleistung von 55 l/s eingesetzt werden. Zur Abschirmung von HF-Verlusten an Stellen mit Querschnittsveränderungen entlang des Strahlrohrs, die zu einer Verschlechterung der Strahlqualität und einer Erwärmung von Komponenten führen können, wurden inzwischen Standardlösungen im Bereich der Pumpen und Flanschverbindungen erarbeitet.

Das Budker Institut in Novosibirsk beabsichtigt, als In-Kind Beitrag zum XFEL einen signifikanten Anteil der Vakuumkomponenten wie z. B. die Balgeinheiten und Kopplervakuumkomponenten für den kalten Linac sowie die Vakuumkammern zwischen den Undulatoren zu fertigen. Weiterhin soll die Konstruktion und Fertigung ganzer Abschnitte wie z. B. die Schikanen in den Bunchkompressoren, das Strahlverteilungssystem sowie die Entwicklung, Konstruktion und der Bau der Kollimatoren vom Budker Institut übernommen werden. Hierfür wurden Spezifikationen für die einzelnen Aufgaben erstellt und mit den Partnern aus Novosibirsk diskutiert.

Im kalten Vakuumsystem des XFEL sind einige Vakuumschieber mit Ganzmetalldichtung vorgesehen, die auch im abgekühlten Zustand zuverlässig geschlossen bzw. geöffnet werden sollen. Hierfür wurde der in Zusammenarbeit mit der Industrie entwickelte Prototyp modifiziert. Die Tests bei tiefen Temperaturen wurden fortgeführt, sind aber noch nicht abgeschlossen.

Für die Higher-Order-Mode-Absorber, die jeweils zwischen zwei Modulen positioniert sind, wurde ein Prototyp erfolgreich bei FLASH getestet. Die kryogenische Anbindung wird derzeit für den XFEL optimiert.

Für den supraleitenden Quadrupol, bei dem das Strahlrohr ein integraler Bestandteil des Heliumbehälters ist, wurde ein Prototypstrahlrohr erfolgreich mit 15 μm Cu elektrolytisch beschichtet.

Für die 3 XFEL-Prototypmodule wurden die von MVS beizustellenden Vakuumkomponenten weitgehend beschafft. Für den Crashtest am Modul 3* wurden entsprechende Einrichtungen zum Fluten und zur Druckdiagnose zur Verfügung gestellt, um sowohl Strahl- als auch Isoliervakuum des abgekühlten Moduls innerhalb weniger Sekunden mit Raumluft zu belüften. Für den Transporttest von Modul 8 nach Saclay bei Paris und zurück wurden geeignete Messgeräte zur Drucküberwachung im Strahl- und Kopplervakuum installiert.

Für die beiden Bunchkompressoren wurde ein grobes Layout des Vakuumsystems erstellt. Um die Montagezeit im Beschleunigertunnel zu minimieren, sollen die meisten Komponenten auf etwa 5 m langen Trägern außerhalb des Tunnels montiert, justiert und geprüft werden, so dass im Tunnel nur noch wenigen Vakuumverbindungen zwischen den Trägern geschlossen werden müssen. Zur Erprobung wurde ein Prototyp eines Trägers beschafft, der in Kürze getestet werden soll.

Die insgesamt mehr als 750 m langen Undulatorstrecken werden modular aus 5 m langen Undulatomagneten und knapp 1 m langen Zwischenbereichen aufgebaut. Die Erarbeitung des Layouts zwischen zwei Undulatoren mit Korrekturmagnet, Strahlpositionsmonteur und Vakuumkammern sowie den zugehörigen Untergestellen und Justiereinrichtungen wurde mit allen beteiligten Gruppen fortgeführt und nahezu abgeschlossen. An die Vakuumkammern in den Undulatoren werden hohe Anforderungen an die Oberflächenbeschaffenheit gestellt, um Verluste durch Wake-Felder, die zu einer Verringerung der Strahlqualität führen, zu minimieren. Hierzu wurden die Untersuchungen der Oberflächeneigenschaften von Vakuumkammern aus extrudiertem Aluminiumprofil fortgesetzt. Zur Ober-

flächenveredelung der Profile wurden die Verfahren Elektropolieren bzw. Druckfließlappen angewendet. Weiter wurden verschiedene Reinigungsverfahren getestet. Die Messungen der Rauigkeit und der Dicke der Oxidschichten an diversen Proben haben ergeben, dass die geforderten Werte (< 300 nm bzw. < 5 nm) bei einigen Proben erreicht wurden. Diese Untersuchungen werden zur Erarbeitung eines kostenoptimierten Ablaufs fortgesetzt. Das Konzept zur Halterung der Undulator-Vakuumkammern wurde weiter detailliert.

Im Bereich der Vakuumelektronik und -steuerung wurden die Entwicklung eines neuen Netzteils für die Getterpumpen fortgeführt und die Komponenten für einen Prototyp beschafft.

Für die zusätzlichen Vorpumpen beim Anpumpen des Isoliervakuums wurde eine automatische Steuerung und Auslese entwickelt und mit der Beschaffung der Komponenten begonnen. Für den ölfreien UHV-Pumpstand wurde ein optimierter Prototyp aufgebaut und mit einer neuen Speicher-Programmierbaren Steuerung ausgerüstet. Auf der Grundlage der Messreihen zum Partikeltransport in Vakuumrohren wurde ein kompakter Aufbau entwickelt, mit dem Vakuumabschnitte ohne Eintrag und Bewegung von Partikeln reproduzierbar angepumpt und geflutet werden können. Hierfür wurde eine Steuerung entwickelt und erfolgreich getestet, so dass diese Einheit zukünftig in allen Bereichen eingesetzt werden soll, in denen Partikel störend sind. Die Einbindung der neuen Massenspektrometer in das Vakuumkontrollsystem hat sich durch Lieferprobleme des Herstellers stark verzögert.

Einige Vakuumkomponenten von HERA werden für den European XFEL weiterverwendet. Hierfür wurde die elektronische und mechanische Überarbeitung von Pumpständen für das Isoliervakuum fortgesetzt. Die Vakuumsysteme für den Magneteststand für den supraleitenden Quadrupol wurden bereitgestellt und in Betrieb genommen. Die Auslegung der Vakuumsysteme für die Modultesthalle AMTF wurde weiter detailliert und nahezu abgeschlossen.

Weitere Aktivitäten

Im Rahmen der Entwicklungsarbeiten der supraleitenden Cavity Technologie ist MVS mit verschiedenen Vakuumanlagen in den Testbetrieb der Kavitäten bei der TESLA Test Facility (TTF) eingebunden.

Die Gruppe war intensiv an der Erstellung von aktuellen Spezifikationen für in der UHV-Technik verwendete Stähle sowie an einer grundlegenden Überarbeitung der DESY-Vakuumspezifikation beteiligt. Diese Dokumente stehen inzwischen in Deutsch und Englisch zur Verfügung.

Kryogenik und Supraleitung

–MKS–

Kryogenik

Betrieb der FLASH Heliumkälteanlage

Seit dem Abschalten des HERA-Speicherrings im Juli 2007 ist nur noch eine der drei ehemaligen HERA Heliumkälteanlagen dauernd in Betrieb und wird jetzt als *FLASH Heliumkälteanlage* bezeichnet. Die FLASH Heliumkälteanlage versorgt den supraleitenden FLASH-Linearbeschleuniger, den *Kryomodulteststand* (CMTB), den *XFEL-Magnettteststand* (XMTS) und das ALPS-Experiment mit tiefkaltem Helium.

Diese Anlage ist auch für den Kältebetrieb der zukünftigen European XFEL *Accelerator Module Test Facility* (AMTF) vorgesehen. Zusätzlich wurden im Jahr 2008 2944 kg flüssiges Helium in 182 Kannen unterschiedlichen Fassungsvermögens für verschiedene Verbraucher bereitgestellt. Bis zum Umbau der beiden verbleibenden Kälteanlagen zur *XFEL Heliumkälteanlage* ab Ende 2009 können auch diese Anlagen zur Versorgung der genannten Verbraucher herangezogen werden und die eigentliche FLASH Heliumkälteanlage redundant ersetzen. Diese Betriebsmöglichkeit wurde im Berichtsjahr genutzt, um die zukünftige FLASH Heliumkälteanlage einer internen Revision zu unterziehen. Mit diesen

Maßnahmen soll eine hohe Verfügbarkeit für die kommenden Jahre gewährleistet werden.

Für das Jahr 2008 sind drei längerfristige Ausfälle der Kälteversorgung zu vermerken. Am 13. April führte ein Schaden am Elektromotor eines Hochdruckkompressors zu einer mehrstündigen Unterbrechung der Kälteversorgung. Am 2. Juli verursachte ein Spannungseinbruch im 10kV-Netz der Primärenergieversorgung ebenfalls einen Ausfall von mehreren Stunden.

Am 13. Oktober führte ein Leitungsbruch im Primärkreislauf der Kühlwasserversorgung zu einem Ausfall der Kälteversorgung für den FLASH-Linac von mehreren Stunden. Des Weiteren ist noch zu vermerken, dass am 21. Oktober die Niederdruckheliumleitung am ersten Beschleunigungsmodul im FLASH-Linac während eines Wartungstages planmäßig aufgewärmt wurde, um ausgefrorene Gasverunreinigungen zu entfernen.

Kurzzeitige Störungen ohne wahrnehmbare Beeinträchtigungen der Verbraucher wurden durch weitere Schäden an Kompressor-Elektromotoren und Lecks an Ölleitungen der Kompressoren verursacht. Des Weiteren sind Stromausfälle, Prozesscomputer-Probleme, Druckluftkompressor-Ausfälle, Probleme bei den Ölrückkühlern, sowie Probleme bei der Kühlwasserversorgung und CPU für die Helium Pumpen zu vermerken.

An den Niederdruck-Heliumpumpen (Rootsgebläsepumpen) des Pumpstandes VC2 für den Helium-II-Betrieb des FLASH-Linacs wurde eine neue Version von Gleitringdichtungen eingebaut, die sich zurzeit im Dauertest befinden. Bei der neuen Dichtungsversion handelt es sich um mit Keramik beschichtete Wellendichtungen. In der Vergangenheit gab es immer wieder Betriebsunterbrechungen, da Ölleckagen an diesen Dichtungen auftraten, und es musste auf den redundanten Pumpstand VC1 umgeschaltet werden, der im Normalbetrieb für das TTF-Testfeld vorgesehen ist.

Insgesamt wurden die oben genannten Verbraucher im Jahr 2008 mit einer Anlagen-Verfügbarkeit von 99,3 % mit Kälte versorgt.

Im Rahmen der internen Revisionsarbeiten der zukünftigen FLASH-Kälteanlage wurde im Herbst 2008 mit

dem Umbau der ehemaligen HERA Kälteanlage Straße 42 auf ein neues I/O-System begonnen. In einem ersten Schritt wurden die Kompressoren mit dem neuen I/O-System ausgestattet. Hierfür wurden insgesamt 14 Profibus DP Einheiten installiert. Bei einem Testlauf der Kompressoren zeigte sich, dass die Erwartungen an das System, bezogen auf die Funktionalität, erfüllt wurden. Durch die Verwendung der dezentralen Profibus-Technologie können erhebliche Einsparungen bei der Planung, Installation, Inbetriebnahme sowie Dokumentation erreicht werden. Der Aufwand für die Instandhaltung wird sich ebenfalls verringern. Als Prozessleitsystem kommt EPICS zum Einsatz.

Parallel zu diesen Arbeiten wurden noch weitere interne Revisionsarbeiten an verschiedenen Komponenten der zukünftigen FLASH-Kälteanlage durchgeführt, um auch ohne die in Zukunft fehlende Redundanz eine möglichst hohe kryogenische Verfügbarkeit für die kommenden Jahre zu erzielen. Im Zuge dieser Arbeiten wurden die Helium-Kompressoren und die zugehörigen E-Motoren sowie diverse Vakuumpumpen einer Wartung unterzogen. Weiterhin wurden kritische Komponenten der entsprechen Ölrückkühler identifiziert und ausgetauscht.

Beinahe in der gesamten Anlage wurden veraltete Filter und Dichtungen präventiv ausgewechselt. Außerdem wurden auch veraltete elektronische Komponenten wie z. B. die SPSen der Kompressoren oder Vakuumpumpstand-Schaltschränke gegen moderne Technik ausgewechselt, um Anlagenausfällen vorzubeugen. Ein Teil dieser Arbeiten wird bis zum Ende des Jahres 2009 fortgeführt werden.

Auf der Grundlage des nach der Einstellung des HERA Betriebes geänderten Betreibervertrages mit der Firma LINDE KRYOTECHNIK AG wurde die Beteiligung von DESY Mitarbeitern am Schichtbetrieb stark zurückgefahren und die geplante Umstellung von einem Vollschichtbetrieb auf einen Betrieb mit Rufbereitschaften schrittweise vorbereitet. Im Rahmen dieser Umstellungen wurde damit begonnen, Einzelschichten vom zentralen BKR zu fahren. Die hierfür erforderlichen technischen Einrichtungen wurden geschaffen und optimiert. Für die zukünftige Einrichtung der Ruf-

bereitschaften musste ein zuverlässiges Alarmsystem eingerichtet und weiterentwickelt werden. Nach den Erfahrungen des vergangenen Jahres wurden dabei am Alarmsystem wesentliche Erweiterungen vorgenommen. Der Schwerpunkt lag hierbei in der Erweiterung der möglichen Verknüpfungen zwischen Alarmzuständen und der Verknüpfung von Alarmmeldungen mit Prozesszuständen, welche schließlich zu einer Alarmierung der Betreiber Mannschaft oder der Rufbereitschaft führen. Der Wunsch nach einer sensiblen Information über Alarmzustände bei gleichzeitiger Vermeidung von Alarm-Lawinen bei einem Anlagenausfall wird durch neue Filter realisiert. Diese Filter, sowie die gesamte Funktionalität des Alarm Management Systems können von den verantwortlichen Ingenieuren selber konfiguriert werden.

Die Stabilität des Gesamtsystems wurde durch die Implementierung redundanter Komponenten weiter verbessert. So wurden redundante GSM-Modems installiert, welche zum Versenden von SMS-Meldungen genutzt werden. Durch die Einbindung aller Komponenten des Alarmsystems in die CSS (*Control System Studio*) Architektur kann das Management transparent von jedem autorisierten CSS-Arbeitsplatz aus überwacht werden. Das Alarm Management System ermöglicht es, aus Alarm-Meldungen Alarm-Aktionen abzuleiten. Neben der wichtigsten Aktion, SMS-Meldungen an die Rufbereitschaften zu erzeugen, können auch e-Mail, Voice-Mail oder weitere Messages ausgelöst werden.

ALPS

Messungen der ALPS Kollaboration zur Suche nach *Axion-artigen* neuen Teilchen wurden in einem HERA Dipol in Gebäude 55 durchgeführt. Der Betrieb des Magneten mit der zugehörigen Infrastruktur wurde gewährleistet.

Heliumkälteversorgung der TESLA Test Facility (TTF)

Die TTF-Heliumkälteversorgung erfolgt über eine eigenständige Heliumkälteanlage (TTF-900W-Helium-

kälteanlage). Der Betrieb der Kälteanlage lief ohne nennenswerte Störungen. Unterbrechungen wurden durch notwendige Wartungsarbeiten verursacht. In den Kryostaten des TTF-Testfeldes wurden insgesamt 124 Messungen und Tests an supraleitenden Kavitäten durchgeführt, davon 97 in den vertikalen Kryostaten und 27 im horizontalen Kryostaten (*CHECHIA*).

Weitere Tests erfolgen zur Unterstützung anderer Gruppen. An den elektrischen Durchführungen für die Kavitäten-, die Strahllagemonitore und die supraleitenden European-XFEL-Prototypmagnete wurden thermische Zyklen durchfahren, dafür mussten die Komponenten teilweise aufwendig mit zusätzlicher Temperatursensoren und Vakuumauslese ausgerüstet und bestückt werden. Im Testkryostaten 3 fanden Temperatur- und Dichtigkeitstest bei 2 und 4.5 K an einem von der Gruppe MVS neu konstruiertem pneumatischen Strahlrohrschieber statt. Dieser Schieber ist für den Einsatz in den Kryoverbindungsboxen (*String connection boxes*) des XFEL-Beschleunigers vorgesehen. In *CHECHIA* wurden überwiegend systematische Tests an den Frequenztuningsystemen für die XFEL-Module vorgenommen. Es wurden Zyklen durchfahren, die der Lebensdauer der Systeme im XFEL-Linac entsprechen. Hauptsächlich wurde die Standfestigkeit von Trockenschmierstoffen unter tiefkalten Bedingungen unter Hochvakuum untersucht.

Test des 3.9 GHz Beschleunigermoduls für FLASH

Die nötigen Umbauten im Kryogenikbereich des Modulteststandes (CMTB) für die Tests des 3.9 GHz Beschleunigermoduls wurden konstruktiv vorbereitet. Der Zusammenbau des Moduls beim FNAL in den USA wurde unterstützt.

Supraleitung

Industrielle Elektropolitur

Die Elektropolitur von supraleitenden Kavitäten erfolgt in zwei Teilschritten. Im ersten Schritt, der sogenann-

ten *Main-EP*, wird eine Niobdicke von ca. 110 μm bis 140 μm elektrochemisch abgetragen. Nach einer Zwischenpräparation wird im zweiten Schritt eine Materialstärke von ca. 10-20 μm entfernt. Diese Endbehandlung kann dabei optional elektrochemisch als Final-EP oder mit einer Beizung als Flash-BCP erfolgen. Im Jahre 2008 wurde die Main-EP von neunzelligen 1.3 GHz Kavitäten erstmalig von den Firmen HENKEL und ACCEL ausgeführt. Nach dem Aufbau der Anlagen im letzten Jahr erfolgte die Inbetriebnahme in beiden Firmen zu Beginn des Jahres 2008. Die Polituranalyse bei ACCEL wird mit konstanter Spannung im so genannten *constant voltage* Betrieb gefahren, während die Anlage bei HENKEL abweichend zu den bisherigen Parametern, im *constant current* Betrieb mit konstantem Strom gefahren wird.

Bei der Auswertung der Messergebnisse konnten keine Auffälligkeiten oder Unterschiede zwischen den industriell behandelten und den in der DESY Infrastruktur behandelten Resonatoren festgestellt werden. In den Industrieanlagen sind bisher 28 Resonatoren einer Main-EP unterzogen worden. Die Endbehandlung und die Vorbereitungen zum vertikalen Test bei 2 K erfolgten weiterhin in der DESY Infrastruktur.

Automatisierung der DESY Elektropolituranlage

Im Rahmen der Care SRF Aktivitäten (European Community-Research Infrastructure Activity unter dem FP6 *Structuring the European Research Area* Programm, CARE, contract number RII3-CT-2003-506395) wurde am Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) in Legnaro/Padua eine automatisierte Steuerung des Elektropolitur Prozesses entwickelt. Eine dort projektierte SPS von National Instruments wurde in den Schaltschrank der Elektropolitur-Anlage eingebaut. Diese neue Steuerung des Gleichrichtergeräts soll eine bessere Kontrolle der Abtragsrate ermöglichen (sogenannte *Auto-EP*). Dabei ermittelt die Steuerung die optimalen Politurparameter während des laufenden Betriebes. In Abhängigkeit von der Säuretemperatur und dem Verschleißgrad der Säure wird in definierten Zeitabständen die Spannung verändert und die Zeit bis zum geforder-

ten Abtrag neu berechnet und nachgestellt. Die Betreiber der Anlage haben jetzt die Möglichkeit, zwischen konventioneller Elektropolitur und Auto-EP zu wählen. Die SPS-Programmierung und die Visualisierungsoberfläche mussten für dieses Projekt umfangreich modifiziert werden ohne die Sicherheitsparameter der Anlage zu beeinflussen.

Hochdruckspülen

Die zweite Hochdruckspüle wurde um weitere Ventile ergänzt. Diese wurden in die SPS-Steuerung und in die Visualisierung integriert. Nach den ersten Spülungen wurden die Motorsteuerung und die SPS Programmierung optimiert, so dass die Anlage ohne Probleme läuft. Nach Aktivierung des File-Transfers werden die Spülparameter nun ohne Eingriff des Operateurs automatisch zur Datenbank übertragen. Die neunzellige Kavität AC 105 wurde zur Qualifizierung herangezogen und zeigte nach sechs Spüldurchläufen in der neuen Infrastruktur einen Gradienten von 29 MV/m ohne messbare Belastung durch Feldemission. Nach der Qualifikation wurde die neue HD- Spüle in den normalen Behandlungsablauf integriert. Insgesamt sind bisher 159 Hochdruckspülbehandlungen mit 2 Stunden Spüldauer an 1.3 GHz Resonatoren in der neuen Infrastruktur durchgeführt worden.

Die Auslegung mit einem separaten Reinstwasserkreislauf, der aus dem Ringleitungssystem der vorhandenen Reinstwasseranlage gespeist wird, erlaubt den parallelen Betrieb beider HD Spülen, ohne nennenswerten Einfluss auf die anderen Präparationsabläufe. Insgesamt wurden in 2008 504 HD Spülungen je 2 Stunden Dauer durchgeführt.

Ergebnisse der Kavitäten-Tests

Abbildung 139 zeigt die im Vertikaltest gemessenen maximalen Feldgradienten aller im Jahre 2008 präparierten Kavitäten. Die Ergebnisse von Cavities mit offensichtlichen Produktionsfehlern und Ergebnisse, die von HOM-Kopplerdurchführungen begrenzt waren, sind nicht gezeigt.

FLASH Kryomodul Stringmontage

Im Berichtszeitraum ist das FLASH Modul 3* demonstrierend und neu zum Modul 3** zusammengebaut worden. Dabei wurden sowohl neue als auch nachbehandelte Resonatoren verwendet. Für Modul 3** ist ein mittlerer Feldgradient von 27.5 MV/m und ein maximal möglicher Gradient von 29 MV/m bei optimal angepasster Hochfrequenz Einspeisung zu erwarten. Modul 3** wird im nächsten Shut-down auf die Position ACC1 im FLASH-Linac eingebaut.

Datenbank für supraleitende Kavitäten

In einer relationalen Oracle-Datenbank sind inzwischen die Daten von mehr als 200 9-Zell-Kavitäten und 80 Einzellern gespeichert, zusammen mit den Daten der mechanischen und elektrischen Vermessungen der Halbzellen, Hanteln (Dumb-Bells), Endgruppen und HOM-Koppler, den Bausteinen der Kavitäten von verschiedenen Herstellern. Die Kavitäten wurden insgesamt mehr als 1200 Präparationen und 1000 RF-Messungen unterzogen, um die Verfahren zu finden, die eine möglichst hohe Güte bei möglichst hohem Gradienten garantieren und wenig Feldemission gewährleisten. Letztendlich soll daraus ein Standardverfahren ermittelt werden, mit dem die Kavitäten für

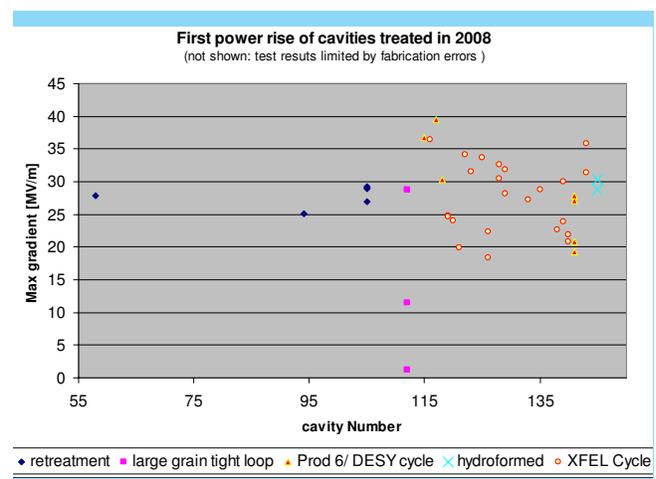


Abbildung 139: Feldgradienten im ersten Test nach der Präparation im Jahre 2008.

den European XFEL behandelt werden sollen. Damit sind die wichtigsten Informationen über die Kavitäten von der Fertigung bis zu ihrem Einbau in ein Kryomodul in der Datenbank gespeichert. Ein umfangreiches graphisches WEB-Interface, das auf Oracle-Produkten basiert, ermöglicht den Benutzern einen schnellen und unkomplizierten Zugriff auf diese Daten. Im Jahr 2008 wurde viel Arbeit in eine Umstrukturierung der ursprünglich für R&D konzipierten Datenbank investiert, um den Anforderungen der zu erwartenden Datenmenge aus dem XFEL-Projekt Rechnung zu tragen. Diese Arbeiten sind fast abgeschlossen.

European XFEL

Test der XFEL-Präparationsschritte für supraleitende Kavitäten

In 2007 wurde ein Vorschlag zur Optimierung der Kavitäten Präparation vorgestellt (Ref.: SRF 2007 TUP 30). In diesem Ablauf wird der Resonator zum frühestmöglichen Zeitpunkt in den He-Tank eingeschweißt und mit bereits montierten HOM Kopplerdurchführungen getestet (sogenannter *XFEL cycle*).

Abbildung 140 zeigt die Testergebnisse für beide Varianten, a) die mit Flash BCP behandelten früh eingeschweißten Resonatoren und b) die erst nach der *Final EP* Behandlung in den He-Tank eingeschweißten Resonatoren.

An Resonatoren der Produktionsreihe 6 wurden insgesamt 28 Main EP Behandlungen industriell durchgeführt. An 23 Resonatoren sind zur Vorbereitung der Behandlung im UHV-Ofen die Außenoberflächen mit BCP behandelt worden. Zur Vorbereitung vertikaler Tests wurden 23 Kavitäten mit Final-EP und 15 Kavitäten mit Flash-BCP behandelt und anschließend getestet. Im Rahmen der bisher vorhandenen Statistik wurden für die Final-EP Beschleunigungsfeldstärken von $28.2 (\pm 6.1)$ MV/m und für die Endbehandlung mittels Flash-BCP $27.3 (\pm 5)$ MV/m ermittelt. Die Belastung durch Feldemission erscheint nach der Flash-BCP geringer (siehe Abbildung 140).

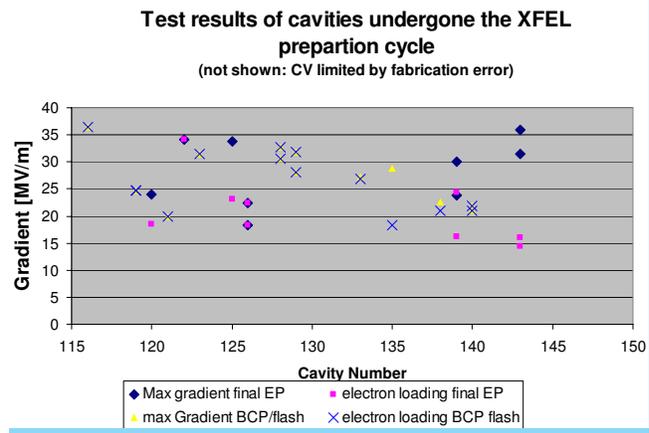


Abbildung 140: Hochfrequenz Ergebnisse der entsprechend dem XFEL-Testzyklus präparierten Kavitäten. Dargestellt ist jeweils auch das Einsetzen von Feldemission (electron loading).

European XFEL Kryomodule und Kryogenik

Crash-Tests mit Kryomodul 3*

Für die Auslegung der XFEL-Heliumkühlung und der entsprechenden kryogenischen Komponenten müssen neben den normalen Betriebsbedingungen auch Ausnahmestände berücksichtigt werden. Dazu gehören unter anderem die Flutung des Isolationsvakuums und des Strahlrohrvakuums. Der Zusammenbruch der Vakuumsysteme führt zu einer plötzlichen Erhöhung der Wärmelasten und zu einem Druckanstieg in den betroffenen Heliumkreisläufen. Die Auswirkungen dieser Ausnahmestände konnten bisher für den European XFEL nur aufgrund von Literaturdaten rechnerisch simuliert werden. Die bisherigen theoretischen Annahmen wurden unter Verwendung des Kryomoduls 3*, das im letzten Shut-down des FLASH-Linacs ausgebaut worden war, auf dem Modulteststand (CMTB) experimentell überprüft. Während der Untersuchungen wurden das Isolationsvakuum, das Kopplervakuum und das Strahlrohrvakuum zunächst vorsichtig mit sauberem Helium oder Stickstoff geflutet und die Auswirkungen auf den HF-Betrieb der Kavitäten und die Kältelasten gemessen. Anschließend wurde sowohl das

| Test No. | Cavity cooling condition at start | Test area | 2 K pressure maximum [bar] | 5 K pressure maximum [bar] | 40/80 K pressure maximum [bar] | Air heat flow [KW] |
|----------|-----------------------------------|-----------|----------------------------|----------------------------|--------------------------------|--------------------|
| 1 | 2 K/0.031 bar | Isovac | 2.169 | 15.49 | 16.14 | 560 |
| 2 | 2 K/0.031 bar | Isovac | 2.134 | 15.41 | 16.4 | 560 |
| 3 | 2 K/0.031 bar | Beam | 1.964 | (4.20) | (12.63) | 99.4 |
| 4 | 4.35 K/1.14 bar | Beam | 2.347 | (4.37) | (12.40) | 99.2 |
| 5 | 4.35 K/1.14 bar | Isovac | 2.443 | 16.13 | 17.52 | ≥ 560 |

Tabelle 4: Reihenfolge und Auswirkungen der Crash-Tests mit Modul 3*.

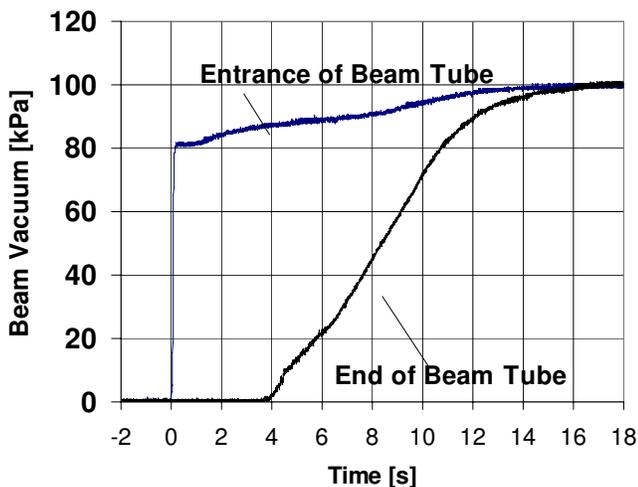


Abbildung 141: Der Druckanstieg im Strahlrohrvakuum von Modul 3* bei einseitiger Flutung des Strahlrohrs mit Umgebungsluft (Messung von MVS)

Isolationsvakuum als auch das Strahlrohrvakuum wiederholt mit höchstmöglichen Eintrittsraten katastrophal mit Umgebungsluft geflutet (sogenannte *Crash-Tests*). Tabelle 4 gibt eine Übersicht über die Reihenfolge und einige Auswirkungen der verschiedenen Tests.

Bei einseitiger Flutung des Strahlrohrvakuaums benötigt die Druckfront ca. 4 s um die gesamte Modullänge von 12.2 m zu durchqueren (siehe Abbildung 141). Diese vergleichsweise langsame Störungsausbreitung eröffnet Möglichkeiten, die Ausdehnung dieser Störung auf möglichst kleine Abschnitte des Beschleunigers zu beschränken, indem man Strahlrohrschieber schließt und den weiteren Lufteintritt unterbindet.

Der HF-Betrieb der Kavitäten wurde nach jeder Flutung überprüft. Nach der Flutung des Isolationsvakuaums und anschließender Rückkühlung auf die Betriebstemperatur wurden keine Funktionseinschränkungen beobachtet. Dagegen führte die Flutung des Strahlrohrvakuaums mit Umgebungsluft wie erwartet zu einer erheblichen Verschlechterung der HF-Eigenschaften. Nach der Flutung des Isolationsvakuaums waren mechanische Schäden an der Superisolation sowie am äußeren thermischen Schild des Moduls zu verzeichnen, die aber ohne messbare Auswirkungen auf die kryogenischen Eigenschaften blieben. Beim anschließenden Zerlegen des Moduls wurden Fehlstellungen an den Hauptkopplerantennen beobachtet, die bisher nicht erklärt werden konnten. Insgesamt entsprachen die Auswirkungen der Crash-Tests auf die Heliumkühlkreise den bisherigen Simulationen oder waren kleiner als bisher angenommen.

Druckbehälterqualifizierung der Cavity-Heliumtanks

Die kryogenischen XFEL-Komponenten der Heliumkühlkreise müssen der Europäischen Druckbehälterrichtlinie (DGRL 97/23/EG) entsprechen. Insbesondere muss die Einheit aus Kavität und zugehörigem Heliumtank als Druckbehälter für einen absoluten Betriebsdruck von 4 bar konstruiert und gebaut werden. Die Qualifizierung als Druckbehälter erfordert sogar einen Testdruck vom 1.43-fachen des Betriebsdruckes. Es war bisher nicht bekannt, ob die Hochfrequenzeigenschaften der Kavitäten mit den genannten Druckbehälteranforderungen vereinbar sind. An den neunzelligen Ka-

vitäten C26 und Z97 wurden die HF-Eigenschaften bei den entsprechenden Drücken untersucht. Die Kavität C26 wurde bei 1400°C gegläht. Das Niobmaterial ist daher recht weich und leicht plastisch verformbar. Die Präparation der Kavitäten für den European XFEL sieht dagegen nur noch eine Wärmebehandlung bei 800°C vor. Z96 wurde nach dem neuen Verfahren präpariert.

Bei der Betriebstemperatur von 2 K konnte die Kavität C26 ohne Beschädigungen oder bleibende Veränderungen des HF-Spektrums mit einem Druck von 6.5 bar beaufschlagt werden. Bei Raumtemperatur traten bei 5.3 bar plastische Verformungen auf. Die Kavität Z96 konnte bei Raumtemperatur einem Druck von 6.5 bar ausgesetzt werden, wobei Veränderungen im HF-Spektrum und der Resonanzfrequenz nur im elastischen Bereich auftraten. Aufgrund der bisherigen Untersuchungen sollte es möglich sein, die notwendigen Druckbehälteranforderungen zu erfüllen ohne die HF-Eigenschaften zu gefährden. Die abschließenden Tests bei 2 K und 4.5 K stehen noch aus, sind aber für das Jahr 2009 geplant. Die Kavität Z97 befindet zurzeit in der Vorbereitung für diesen Test.

European XFEL Kryomodulverbindungen

Im European XFEL Beschleuniger müssen die Heliumprozessleitungen der 101 Beschleunigermodule mit jeweils 9 Einzelanschlüssen miteinander verbunden werden. Bei einer dieser Verbindungen im 2 K Helium II Zweiphasenrohr handelt es sich um eine Verbindung aus Titan und Edelstahl. Im FLASH-Beschleuniger werden bisher an dieser Stelle Flanschverbindungen eingesetzt, da die unterschiedlichen Werkstoffe nicht unmittelbar miteinander verschweißt werden können. Da die Herstellung von Flanschverbindungen zeitaufwendig ist und über einen langen Betriebszeitraum im Beschleuniger das Risiko von Leckagen besteht, ist für den XFEL geplant, eine sprengplattierte Verbindung einzusetzen, um auf diese Weise auch die Titan und Edelstahlverbindungen miteinander verschweißen zu können. Es wurden Prototypen dieser Verbindungen hergestellt (Abbildung 142) und im vertikalen Kryostaten thermischen Zyklen unterzogen und mit dem

5-fachen (20 bar abs.) des maximalen Druckes bei 2 K getestet.



Abbildung 142: Titan-Edelstahlverbindung präpariert für den Einbau in den vertikalen Kryostaten V3.

Für weitere Prozessrohrverbindungen wurde der Prototyp einer Orbitalschweißmaschine weiterentwickelt. Diese Entwicklungen wurden zum Patent angemeldet.

Transporttests mit Modul 8

Der Zusammenbau der XFEL-Kryomodule wird beim CEA in Saclay/Frankreich erfolgen. Anschließend wird der Transport zum European XFEL bei DESY vorgenommen. Während dieses Transportes dürfen die Kryomodule nicht beschädigt werden. Das bereits im Jahre 2008 bei DESY fertiggestellte Kryomodul Nr.8 entspricht bereits weitgehend der Konstruktion der späteren XFEL-Kryomodule und wurde daher für einen ersten Transporttest herangezogen. Nach einem ersten Systemtest auf dem Modulteststand (CMTB) wurde dieses Modul zum CEA hin und zurück transportiert, um das Moduldesign und die Transportvorrichtungen auf ihre Tauglichkeit hin zu überprüfen. Mit dem Bau

der Transportvorrichtungen wurden die Firmen BABCOCK NOELL und ACCEL beauftragt, die bereits im Rahmen einer Industriestudie die Transportfähigkeit der Beschleunigermodule untersucht und Lösungsvorschläge für Transportvorrichtungen unterbreitet hatten. ACCEL wurde mit der Konstruktion und Bau der äußeren Transportvorrichtung beauftragt (Abbildung 143), während BABCOCK NOELL übertragen wurde, Vorrichtungen zu konstruieren und zu bauen, die die innere Struktur des Moduls zum äußeren Vakuumbehälter fixiert.

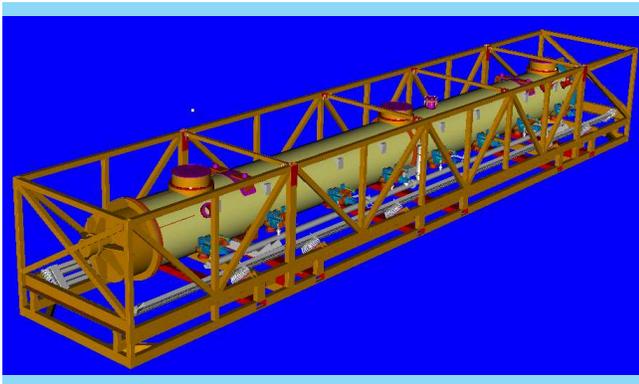


Abbildung 143: Transportvorrichtung für den äußeren Vakuumbehälter (Firma ACCEL)

Modul 8 wurde im November vom DESY zum CEA und wieder zurück transportiert. Für diesen Test wurden das Modul und die Transportvorrichtung mit diversen zusätzlichen Schwingungs- und Vibrationssensoren ausgestattet, außerdem wurde das Strahlrohrvakuum und die Antennen der Frequenz-Hauptkoppler auf Kurzschluss überwacht. Das Modul wurde beim CEA vom Transportfahrzeug komplett entladen, die Messsensoren ausgelesen und das Modul wieder für den Rücktransport verladen. Dies diente auch dazu, erste Erfahrungen für spätere Transportvorgänge mit Modulen beim CEA zu gewinnen. Zur Überprüfung wurde eine der Transportvorrichtungen beim CEA geöffnet, um auch das Modul visuell auf eventuelle Beschädigungen zu überprüfen, des Weiteren wurden die Frequenzen der Kavitäten überprüft. Es konnten keinerlei Beschädigungen oder Veränderungen an den Kavitäten festgestellt werden. Während des Transportes konnten

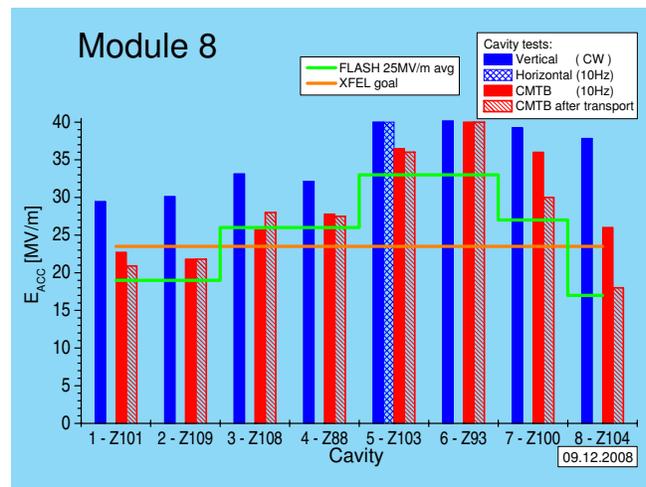


Abbildung 144: Kavitäten Gradienten auf CMTB nach Transporttest (Messung von MHF-SL).

keine höheren Beschleunigungswerte als 1.42 g am Modul gemessen werden.

Nach dem Wiedereintreffen des Moduls beim DESY, erfolgte sofort der Einbau in den CMTB, um auf dem Teststand seine Betriebseigenschaften zu überprüfen. Bei diesem Test wurde eine weitere Verschlechterung an den zwei End-Kavitäten festgestellt (Abbildung 144).

Die kryogenischen Tests, sowie der Test des Superferric-Magneten und auch die Überprüfung der Modifikationen verliefen erfolgreich.

Die Ursache für die weitere Verschlechterung der HF-Eigenschaften der Kavitäten am Ende des Moduls ist zurzeit noch nicht geklärt. Im Januar 2009 wird begonnen das Modul auseinanderzubauen und fünf der acht Kavitäten auszutauschen. Der Einbau des Moduls in den FLASH-Beschleuniger ist für den Shut down im September 2009 vorgesehen.

European XFEL Kryomodul-Prototypen

Drei Prototypen der kalten Massen für European-XFEL-Kryomodulen wurden in Auftrag gegeben und die Herstellung betreut. Als Ergebnis einer europaweiten Ausschreibung wird jeweils ein Prototyp bei einer spanischen und einer französischen Firma gebaut. Ein

dritter Prototyp wird als chinesischer In-Kind Beitrag zum European XFEL bei einer chinesischen Firma gefertigt und vom IHEP-Beijing betreut. Die Lieferung aller drei Prototypen wird für Anfang/Frühjahr 2009 erwartet.

European XFEL Accelerator Module Test Facility (AMTF)

AMTF Halle

Eine Spezifikation für den AMTF Hallenbau wurde erstellt. Die Baugenehmigung wurde im Januar durch die Hamburger Behörden erteilt. Unterlagen für weitere Genehmigungen bei BMBF und GMSH wurden erstellt und abgeschickt. Die Genehmigung durch das BMBF ist im Dezember erteilt worden. Es ist geplant die AMTF Bauausschreibung im Januar 2009 zu starten. Mit Baubeginn ist Mitte Sommer 2009 zu rechnen.

Spezifikationen für die AMTF Kryogenik

Sämtliche kryogenischen Komponenten der AMTF werden von European XFEL Partnern aus Russland und Polen im Rahmen von In-kind Beiträgen geliefert. Mit allen beteiligten Partnerinstituten wurden technische Gespräche geführt und informelle technische Spezifikationen übergeben. Dazu gehören Spezifikationen für eine Heliumtransferleitung, für die Vorkühler und Ventilboxen, den Heliumspeichertank, die Teststände und die vertikalen Kryostaten. Konstrukteure und Konstrukteurinnen der Institute IHEP Protvino und BINP Nowosibirsk haben sich bereits durch ihre Mitarbeit in der Gruppe MKS über mehrere Wochen in die Projekte eingearbeitet und Entwürfe erstellt.

Während der Produktion und der Serientests der XFEL-Kavitäten werden spezielle Kryostateinsätze benötigt, die gleichzeitig als Transportrahmen dienen werden. Der Entwurf dieser Rahmen wurde von der Gruppe H1 übernommen. Ein Rahmen trägt jeweils vier Kavitäten. Die Transporte erfolgen vom Hersteller der Kavitäten zu den vertikalen Tests in der AMTF. Von dort aus werden die Kavitäten zum CEA Saclay/Frankreich zu

Modulmontage transportiert. Inwiefern sich ein solcher Transport auf die mechanischen und Hochfrequenz-Eigenschaften einer Kavität auswirkt, wurde am BFSV in Bergedorf mittels eines Transportsimulators untersucht. Um den späteren Gegebenheiten nahe zu kommen, wurden Kavitäten mit einem angeschweißten Tank ausgewählt. Zur Definition der maximal erlaubten Transportbelastung wurden die Kavitäten einer gezielten Untersuchung ausgesetzt, welche einer Frequenzanalyse zur Bestimmung der Resonanzen und eine Simulation der Schwingungen sowie Transportstöße auf einer LKW Ladefläche beinhaltete. Als Qualitätskontrolle diente eine kontinuierliche durchgeführte Hochfrequenz-Modenmessung, anhand derer geringste Verformungen sofort erkannt werden. Bei der mechanischen Frequenzanalyse wurden die Kavitäten bei einer konstanten Beschleunigung von 0.5 g verschiedenen Frequenzen in einem Frequenzbereich von 5 Hz...200 Hz ausgesetzt (DIN EN 60068-2-6). Bei der zweiten Messung handelt es sich um eine Vibrationsprüfung mit rauschförmiger Anregung in einem Frequenzbereich von 4...200 Hz und einer effektiven Beschleunigung a_{eff} von 0.51 g nach dem Zufallsprinzip (ASTM D4169-06). Die Schockprüfung simuliert nach DEF STAN 00-35 (Part 3) Stöße in Halbsinusform mit einer Dauer von 11 ms in vertikaler Richtung.

Die Amplituden der Beschleunigung wurden nach der Norm während des Tests schrittweise von 40 g auf 6.0 g erhöht. In weiteren Messungen mit Amplituden bis hin zu 15 g sollte die maximale Belastbarkeit der Kavitäten untersucht werden. Nach und während der gesamten Messungen konnte keine Verformung bzw. Veränderungen im Hochfrequenzspektrum (Mode-Messung) detektiert werden. In zukünftigen Messungen soll demonstriert werden, inwiefern sich der Transport auf den Feldgradienten einer Kavität auswirkt. Die Ergebnisse werden für die endgültige Konstruktion der AMTF-Transportrahmen berücksichtigt. Die Details der Rohrleitungstrasse zwischen der Heliumkälteanlage in Gebäude 54 und der AMTF wurden geplant und mit anderen DESY Gruppen abgestimmt. Der Anschluss der AMTF-Heliumtransferleitung und warmer Prozessleitungen an das bestehende Heliumverteilersystem wurden projektiert. Die Konstruktion der er-

forderlichen Anschlussbox an die ehemalige HERA-Transferleitung wurde begonnen. Die Anschlussarbeiten sollen im Shut-down des FLASH-Linacs Ende 2009 vorgenommen werden.

European XFEL Magnet Test Stand (XMTS)

Der Teststand wird zum Systemtest der Prototypen der supraleitenden European-XFEL-Magnete mit den zugehörigen Stromzuführungen benötigt. Auf diesem Teststand werden auch die Serientests der Magnete erfolgen. Der Teststand ist formal Teil der AMTF. Da er sehr frühzeitig benötigt wird wurde er in der ehemaligen Magnetesthalle in Gebäude 55 errichtet. Der Teststand wurde von der Firma DEMACO geliefert und im September in Betrieb genommen. Ein XFEL Prototyp Magnet inklusive XFEL-Stromzuführungen wurde bereits umfangreich getestet.

Bereits im Frühling 2008 wurde der für die Helium II Kühlung des XMTS Magneteststandes benötigte Helium-Pumpstand in Betrieb genommen. Dieser wurde von der Firma Leybold als schlüsselfertige Komponente geliefert. Die Steuerung und Überwachung dieser Anlage übernimmt eine SPS die über Profibus DP mit einem EPICS IOC kommuniziert der die Überwachung und Steuerung der gesamten Anlage überwacht. Über das Ethernet Kontrollnetz sind beide Anlagenteile mit dem EPICS Prozessleitsystem verbunden. Auch die weiteren Komponenten der Kontrollen wurden in Profibus PA Technik miteinander vernetzt. Eine Ausnahme ist der erstmals eingesetzte Durchflusstransmitter Micro Motion 2700 der Firma EMERSON. Das Durchflussmessgerät arbeitet nach dem Coriolis-Prinzip. Es besteht aus einer Sensoreinheit und einer Auswertelektronik. Die Sensoreinheit ist im kalten Bereich des Prozesses installiert. Die Auswertelektronik ist außerhalb des Prozesses, im warmen Bereich angeordnet. Diese Art der Heliumdurchflussmessung soll die bisher verwendeten unsicheren Methoden mit einer Differenzdruckmessung über Blenden oder Venturidüsen für die XFEL-Komponenten ersetzen. Die bisherigen Erfahrungen mit der Coriolismessung sind sehr ermutigend. Für die Auslesungselektronik der Heliumfüllstandsmessung wird eine neue Eigenentwicklung eingesetzt.

Die Steuerung und Kontrollen der gesamten Anlage erfolgt über das Prozessleitsystem EPICS und dem vor Ort installierten Input/Output Controller (IOC) welcher die Schnittstellen sowohl zum Profibus als auch zum CAN-Bus für das Tieftemperaturmesssystem bereitstellt.

Magnetpaket für den European XFEL

Für das European-XFEL-Projekt werden ca. 100 Magnetpakete mit Stromzuführungen benötigt, die in die Beschleunigermodule eingebaut werden. Jedes Paket enthält einen *super-ferric* Quadrupolmagneten, d.h. supraleitende Spulen auf einem feldformenden Eisenjoch mit einem Gradienten von 35 T/m bei 50 A. Direkt auf dem Strahlrohr sind zusätzlich zwei einlagige Dipol-Korrekturspulen mit 0.04 T bei 50 A zur horizontalen und vertikalen Strahlablenkung aufgebracht. Die Länge beträgt 30 cm. Der Magnet wird bei 2 K betrieben.

Insgesamt vier Prototypen eines Magnetpakets sind in Kollaboration mit CIEMAT (Madrid) in Spanien gebaut worden. Das spanische Institut CIEMAT übernimmt den Bau der Magnete als Beitrag zum European-XFEL-Projekt. Die zum Magnetpaket gehörenden Stromzuführungen basieren auf einem bei CERN benutzten Design. Zwei Prototypen sind in Kollaboration mit CERN fertig gestellt worden. Drei weitere Sätze werden in industrieller Fertigung bei einer Firma in Rom gebaut und im Januar 2009 bei DESY erwartet.

Der XMTS-Teststand (s.o.) erlaubt es, die verschiedenen Betriebsbedingungen zu simulieren und dabei die magnetischen Eigenschaften detailliert zu untersuchen.

Die Magnetfeldtests begannen mit einer Überprüfung der geforderten Feldqualität bei Raumtemperatur. Diese Tests beinhalten auch eine genaue Vermessung der Quadrupolachse und des Quadrupolrollwinkels. Der Magnet wird dabei solange verdreht, bis der Rollwinkel Null ist. Mittels einer genauen Wasserwaage wird diese Position dann auf den Magneten zur späteren Ausrichtung im Modul übertragen.

Das Magnetpaket und die Stromzuführungen wurden dann zusammengebaut und in den neuen XMTS einge-

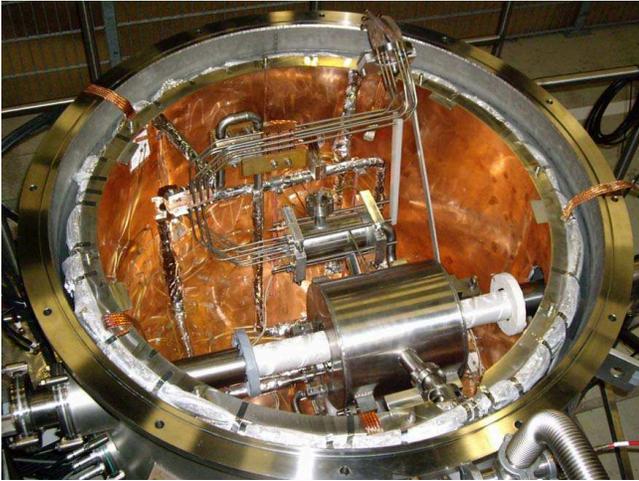


Abbildung 145: Prototyp des supraleitenden European-XFEL-Magneten nach Einbau in den neuen Testkryostaten XMTS.

baut (siehe Abbildung 145). Danach wurde der Magnet auf die Betriebstemperatur von 2 K abgekühlt.

Zunächst wurden die Stromzuführungen erfolgreich in einem Dauertest geprüft. Dabei wurde ein Dauerstrom

von 55 A (Nominalstrom ist 50 A) über mehrere Stunden eingestellt. Die gemessenen Spannungsabfälle lagen im eingeschwungenen Zustand im Bereich der erwarteten Werte. Danach wurden die magnetischen Eigenschaften des Magnetpaketes bei 2 K getestet. Abbildung 146 zeigt die normierten Multipole bei Nominalstrom von 50 A und bei 2 A. Die Dipolspulen zur Strahlagekorrektur zeigen bei kleinen Strömen deutliche Feldfehler aufgrund von Remanenz des Eisenjochs und auch durch supraleitende Wirbelströme. Der Magnet erreichte den Designstrom von 50 A, ohne zu quenchen.

Sonstiges

Kollaboration mit IHEP in Peking

Die Kollaboration mit den Kollegen beim Institute of High Energy Physics (IHEP) wurde mit Übergabe der letzten Komponenten und mit Unterstützung von Schwingungsmessungen am neuen Beschleunigers

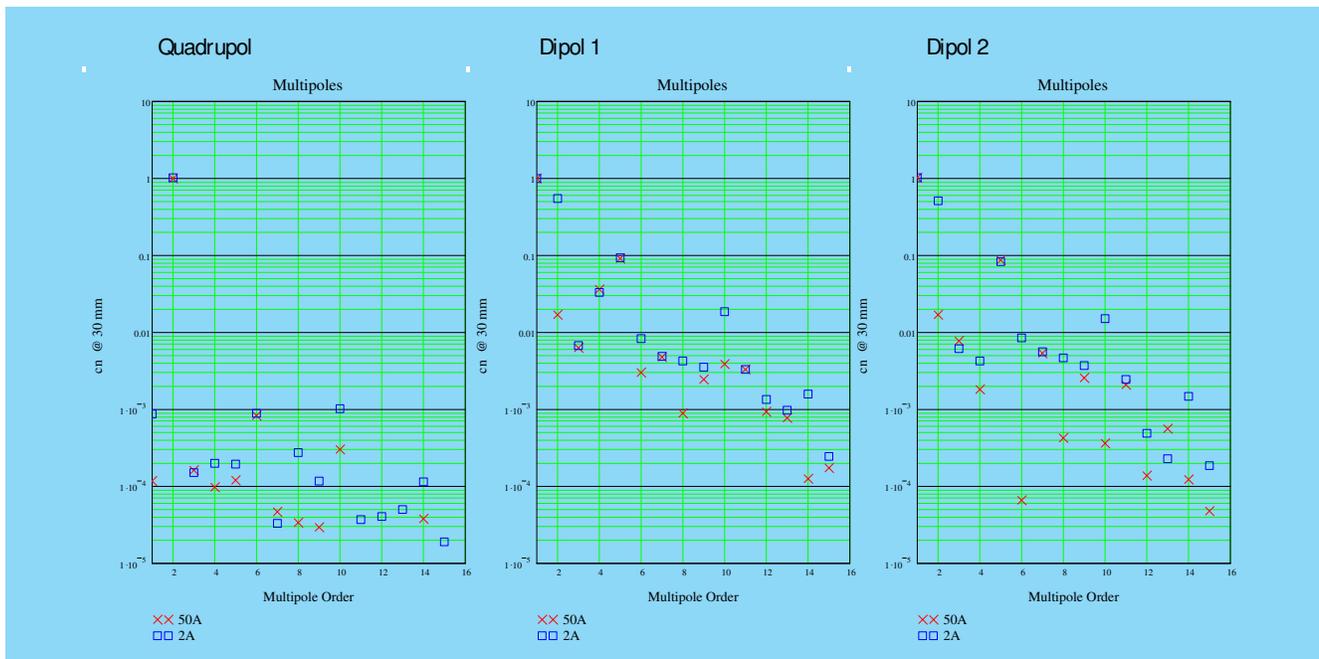


Abbildung 146: Die normierten Multipole eines XFEL-Magneten bei Nominalstrom von 50 A und bei 2 A.

BEPCII in Peking zunächst abgeschlossen. Im Gegenzug lieferte IHEP eine weitere Präzisions-Messspule zur Messung von Multipolen bei XFEL-Magneten. Sie wurde bei den Messungen der XFEL-Prototypen eingesetzt.

Energieversorgung –MKK–

Die Gruppe MKK betreibt die Energieversorgung bei DESY. Der Aufgabenbereich beginnt bei den drei 110 kV-Einspeisungen und den 10 kV-Schaltstationen für die Energieverteilung. Die Energieverteilung umfasst die Versorgung der gesamten Beschleunigeranlagen sowie die Niederspannungsanlagen für die Gebäudeversorgung. Ein weiteres großes Aufgabengebiet ist die Magnet- und Senderstromversorgung. Die gesamte Wasserkühlung, Kaltwasser- und Druckluftzeugung sowie die Beheizung und Belüftung der Gebäude, Experimente und Tunnel gehören ebenfalls zu den Aufgaben.

Die wesentlichen Aktivitäten werden im Folgenden dargestellt:

PETRA III

Allgemeine Stromversorgung –MKK1–

Schwerpunkt der Aktivitäten war auch 2008 das PETRA-III-Projekt. Wesentliche Arbeiten waren die Erneuerung der Stromversorgung in den alten PETRA-Hallen (Gebäude 41 bis 48), die Elektroinstallation in der neuen Experimentierhalle (Gebäude 47c) und im PETRA-Tunnel. Seitens der E-Werkstatt wurden für die Heizungs- und Lüftungsanlagen der alten PETRA-Hallen neue Steuerschränke gebaut, programmiert und in Betrieb genommen.

Wasserkühlung –MKK2–

Die neuen Pumpenhäuser in Gebäude 42b und 47d wurden komplett mit Rohrleitungen, Pumpen, Druckluft und Kaltwasser ausgerüstet. Im Sommer erfolgte

die Inbetriebnahme in PETRA Süd Gebäude 42b und im Herbst in PETRA Gebäude 47d.

Die Rohre im Tunnel wurden mit Gripkupplungen verbunden. Der Längenausgleich erfolgt durch metallische Flexschläuche. Dadurch entfällt das Verschweißen der Rohre.

Im Tunnel wurden die Magnete, Vakuumkammer und Cavities an die Unterverteiler vom Kühlwasser angeschlossen. In den PETRA-Versorgungshallen wurden die Hochfrequenzanlagen mit dem Kühlsystem verbunden und die Netzgeräte verschlaucht.

Die Inbetriebnahme der Sender mit Last und die Auslieferung der Netzgeräte verzögerte sich auf Ende 2008 bis Anfang 2009, so dass kein Betrieb unter Lastbedingungen gemacht werden konnte.

Heizung / Klima / Lüftung –MKK3–

Die Wärmeversorgungs-Klimaanlagen für die neue Experimentierhalle wurden errichtet und in Betrieb genommen. Die Klimaanlagen für den Beschleunigertunnel in der Experimentierhalle werden errichtet. Die Klimaanlagen zur Versorgung der Experimentierhütten in der neuen Experimentierhalle wurden ausgeschrieben.

Die Lüftungsanlagen mit Lufttrocknungsfunktion für die alten Tunnelabschnitte wurden erneuert. Die Tunnellüfter wurden gegen Rauchgasventilatoren ausgetauscht.

Die Klimaanlagen zur Versorgung der Hallen SL und SR, zur Magnetstromversorgung in NO und NL, im DESY-Pumpenhaus, im Pumpenhaus NO sowie zur Versorgung der Feedbackhütten wurden installiert.

Automation –MKK4–

Im Rahmen des PETRA III-Neubaus wurden die Kühlwasserversorgungen in PETRA-Süd und der Experimentierhallen I und II erneuert. Eine Kühlwasserversorgung für die Experimentierhalle Gebäude 47 wurde neu installiert. MKK4 hat dieses Aufgabenpaket

mit einer neuen Mess-, Steuer- und Regelungstechnik (MSR-Technik) versehen sowie die Automation und Anbindung an die Leittechnik modernisiert. Dazu wurden die Schalt- und Steuerungsanlagen, die elektrischen Verkabelungen und Anschlüsse aller wesentlichen Komponenten einer Kühlwasserversorgung, Pumpen, Klappen, Sensoren, externe Anlagenteile wie Kühltürme und Kältemaschinen in einem Ausschreibungsverfahren vergeben und die Arbeiten ausgeführt. Es wurden insgesamt für 30 Kühlwasserkreise 50 m Schaltschränke auf 8 Standorte verteilt, mit Steuerungstechnik ausgerüstet, aufgestellt und angeschlossen.

Alle Kühlwasserversorgungen übertragen ihren Anlagenzustand und eventuelle Störmeldungen an die MKK-Leittechnik. Diese wurde um die neuen Anlagen erweitert. Grafische Displays unterstützen das Bedienpersonal, Messwerte werden archiviert und können zur Optimierung der Regelkreise herangezogen werden. Alarmhandler geben den Operateuren Hinweise auf technische Probleme. Die im Hintergrund notwendigen Datenbanken wurden auf die neu installierten Gateway-Rechner geladen und sind über Ethernet auf Glasfasertechnik mit den Kühlanlagen verbunden.

Entwicklung / Magnetstromversorgung –MKK5 / MKK6–

Die Verkabelung der Netzgeräte zu den Magneten wurde erneuert. Einige Serienkreise mussten für die neue Optik von PETRA aufgetrennt werden und erhielten neue Netzgeräte. Die Korrekturnetzgeräte wurden entsprechend der Interlockgebiete neu aufgeteilt. Sie wurden nach dem Shutdown wieder in Betrieb genommen.

PETRA Umbau

Nachdem die Beschaffungen im Vorjahr gestartet waren, wurden in diesem Jahr weitere Komponenten geliefert. Dies sind:

- Elektronikschränke
- Leistungsteile ± 60 A
- Leistungsteile 600 A

- Restlieferung der Umschalter für das Redundanzsystem
- Bauteile für die 200 A Chopper

Die Entwicklung der Leistungsteile 200 A wurde abgeschlossen und in die Fertigung gegeben. Die Lieferung erfolgt Anfang 2009.

Die Entwicklung der digitalen Regelung sowie der Korrekturnetzgeräte wurde abgeschlossen. Die Geräte wurden erfolgreich einem EMV-Test unterzogen. Die Serienfertigung hat begonnen und die ersten 50 Regelungen wurden geliefert, eingebaut und in Betrieb genommen.

Die gesamte Magnetverkabelung zwischen den Magneten und den Netzgeräten ist installiert. Die Länge addiert sich zu ca. 130 km.

Die Elektronikschränke mit den Diodengeräten und Erdungsanlagen wurden in den Hallen aufgebaut und die Anlagen verkabelt. Die SPS für die Durchflusswächter- und Pilothermüberwachung wurde in Betrieb genommen.

Senderstromversorgung –MKK7–

Die Arbeiten für die Senderstromversorgung konzentrierten sich überwiegend auf die Fertigstellung der zwei neuen Senderstromversorgungsanlagen für die PETRA-III-HF-Sender.

Die neu errichteten Hochspannungsräume wurden mit den erforderlichen Komponenten vollständig ausgerüstet. Die Überwachungsfunktionen wurden erstmalig durch eine FPGA-basierte Hardware realisiert. Die Mittelspannungs-Schaltanlage wurde an ihrem neuen Standort komplett verkabelt und fristgerecht in Betrieb genommen.

DORIS

DORIS hatte wegen der Modernisierungsarbeiten an den Vorbeschleunigern LINAC II und DESY II einen Shutdown in der ersten Jahreshälfte, der für Wartungsarbeiten an Stromversorgungen, am Kühlsystem und bei der Klimatisierung genutzt wurde.

Einige Thyristorgeräte wurden gegen Geräte von PETRA II ausgetauscht, die sich in einem technisch besseren Zustand befinden. Seit dem Wiederanlauf liefen die Geräte sehr zuverlässig.

DESY II

Die Versorgungsanlagen von DESY II wurden im ersten Halbjahr zum großen Teil erneuert.

Die NS-Verteilungen für die Netzgeräte im blauen Gleichrichterhaus Gebäude 20 und die NS-Verteilungen in den Hallen 1 und 2 wurden erneuert.

Das neue Pumpenhaus Gebäude 16d wurde komplett neu ausgerüstet und in Betrieb genommen.

Zur Klimatisierung des Kondensatorraumes in Gebäude 16 wurden neue Ventilatoren installiert und die MSR-Technik erneuert.

Die Tunnellüftungsanlage wurde abgestellt. Dadurch lassen sich erhebliche Betriebskosten einsparen. Nach dem Wiederanlauf gab es keine Probleme mit der Tunnellufttemperatur.

Entwicklung / Magnetstromversorgung –MKK5 / MKK6–

Die Resonanzdrosseln sowie Anpasstransformatoren für die Resonanzregelung der Quadrupole wurden im Budker Institut in Novosibirsk gefertigt und geliefert. Der Einbau erfolgt zu einem späteren Zeitpunkt.

Bei der Fertigung der neuen Netzgeräte durch eine Fremdfirma gab es erhebliche Schwierigkeiten. Bisher konnten lediglich die neuen Sextupolnetzgeräte erfolgreich getestet werden. Das Regelungsverhalten sämtlicher Stromkreise wurde simuliert. Die Regelung wurde gemeinsam mit der Gruppe MSK entwickelt und in Betrieb genommen. Der Betrieb von DESY II erfolgt bis auf Weiteres mit den alten Netzgeräten.

Die Überwachung der Außenanlagen wird jetzt von einer Siemens S7 SPS übernommen. Die Außenanlagen wurden überholt.

LINAC II

Die 10 kV-Schaltanlage und die NS-Schaltanlagen im Keller sowie in der Modulatorhalle wurden erneuert. Der 10 kV-Trafo für das Pumpenhaus Gebäude 24c musste ausgetauscht werden.

Die Wasserkühlung wurde komplett erneuert. Die Pumpstände für die LINAC-Abschnitte wurden aus der Modulatorhalle in den Keller verlagert.

Es wurden Wartungsarbeiten durchgeführt und Störungen behoben. In Gebäude 24 wurde ein Klimagerät zur Versorgung des Pumpenraumes installiert.

Die Netzgeräte wurden im Rahmen des PETRA III-Umbaus in einem Raum zusammengefasst. Alle Geräte für den LINAC II, PIA und den Strahltransportweg befinden sich jetzt im Keller von Gebäude 24. Die Geräte des Strahltransportweges wurden durch neuere Geräte aus HERA ersetzt. Zwei Magnetkreise erhielten größere Geräte.

FLASH

Die zweite Kältemaschine wurde erneuert. Für den Shutdown in 2009 wurden Vorbereitungen getroffen.

An den Klimaanlagen wurden Wartungsarbeiten durchgeführt und Störungen behoben.

Die Geräte von FLASH liefen sehr zuverlässig. Es wurde ein separates Diodengerät, auf das die Strahlfreigabe wirkt, mit vier Choppern aufgebaut. Dadurch wurde eine Entkopplung der sicherheitsrelevanten Netzgeräte von anderen Geräten erreicht. Dies erhöht die Flexibilität der Arbeiten.

HERA

Die Zahl der Pumpen für das Tunnelkühlwasser wurde auf zwei Stück reduziert. Die Temperatur des Kühlwassers stellte sich auf 26°C ein. Dadurch liegt die Tunnellufttemperatur zwischen 20°C und 22°C. Die Luftfeuchtigkeit stieg im Sommer bis auf 90 % an. Bis

zum Winter sank sie aber wieder auf 50 %. Korrosionsschäden wurden nicht bemerkt.

European XFEL

Wasserkühlung –MKK2–

Detail-Planungen für die Hallen und die Tunnel wurden durchgeführt. Außerdem wurden Daten für die Zusammenstellung von Kühlleistungen aufbereitet.

Für die AMTF wurden die Antragsunterlagen für die GMSH erstellt. Die Ausschreibungen wurden vorbereitet.

Heizung / Klima / Lüftung –MKK3–

Die Entwurfsplanung der Wärmeversorgungs-, Klima- und Lüftungsanlagenanlagen mit Kostenberechnung für die AMTF Halle, Pumpenhaus, Kompressor- und Kontrollgebäude ist erstellt. Die Ausführungsplanung wird vorbereitet. Die Entwurfsplanung für den Injektor ist zu 75 % fertig.

Für die Schachtgebäude und die Experimentierhalle wird das Brandschutzkonzept in den Vorentwurf eingearbeitet und die Platzhalterplanung für SE erstellt.

Entwicklung / Magnetstromversorgung –MKK5 / MKK6–

Die Kosten wurden erneut geprüft.

Planungen für den Aufbau der Netzgeräte wurden ausgeführt und das Raumbuch mit den entsprechenden Daten aufbereitet.

Die Puls Kabel werden im XTL-Tunnel in zwei geschoteten Kammern unter dem Fußboden verlegt. Für das neue Tunnel layout wurden die Temperaturen berechnet, die sich in einem späteren Betrieb einstellen werden und ein Kühlungskonzept mittels 18-gradigem Kühlwassers erarbeitet.

Infrastruktur

Allgemeine Stromversorgung –MKK1–

Für das Rechenzentrum wurden die Batterien für die 800 kVA-USV erneuert. Die ausrangierten Batterien wurden für die USVen des BKR verwendet. Die beiden 10 kV-Transformatoren des Rechenzentrums wurden gegen größere Gießharztrafos ausgewechselt, um den vergrößerten Leistungsbedarf in Zukunft zu decken.

Wasserkühlung –MKK2–

Entsprechend der Auflage der Umweltbehörde wurden Abschlämmwassermengenzähler an verschiedenen Kühltürmen installiert.

Das Sickerbecken 2 wurde entschlammt.

Heizung / Klima / Lüftung –MKK3–

Die Wärmeversorgungs-, Klima- und Lüftungsanlagenanlagen werden von MKK3 betrieben, geplant und ausgeschrieben. Mit der E-Werkstatt von MKK1 wird die Mess-, Steuer und Regeltechnik (MSR) abgestimmt. Kleine und zeitkritische MSR-Schränke werden in der E-Werkstatt gefertigt. Um die Einbindung in das MKK-Kontrollsystem kümmert sich das Automationslabor MKK4. MKK3 übernimmt die Bauüberwachung und macht abschließend die Endabnahme mit den beteiligten Gewerken. Wegen der großen Anzahl von fast 500 RLT-Anlagen bei DESY bringt diese Zusammenarbeit eine erhebliche Kosten- und Personaleinsparung. Im Weiteren arbeitet MKK3 eng mit der Bauabteilung ZBAU zusammen. MKK und ZBAU führen halbjährlich ein Koordinierungsgespräch über mittel- und langfristige Planungen von Gebäudeneu- bzw. -umbauten.

In 2008 wurde ca. 80 raumlufttechnische (RLT) Anlagen geplant, gebaut oder erneuert. Hier die Auflistung der Projekte in 2008:

- Planungen zur Versorgung und Klimatisierung des Anbau Gebäude 48e an die PETRA III-Halle
- Installation von Kleinanlagen für Serverräume, Laserräume, Experimentiergebiete

- Versorgung der Erweiterung Gebäude 49 für Bio- und Laserlabore
- Inbetriebnahme der Erweiterung der Kaltwasseranlagen DESY Rechenzentrum
- Planung und Ausschreibung Klimatisierung Lasergebäude FLASH-Gebäude 28h
- Erweiterung der Klimatisierung Lasergebäude FLASH-Gebäude 28g
- Planungen für HGF-Sanierungsanträge (Wärmeversorgungsnetz, Sanierung Gebäude 1)

Automation –MKK4–

Es wurden diverse neue Klimaanlage visualisiert und in das MKK-Kontrollsystem eingebunden. Der in der Gebäudeautomation bekannte Kommunikationsstandard Bacnet wird für neue Klima- und Heizungsanlagen auch bei MKK eingesetzt. Die ersten Anlagen wurden mit dieser Methode an das MKK Leitsystem angebunden. Das IT-Datennetz wird zur Übertragung verwendet, MKK eigene Datennetze werden damit reduziert.

Maschinen Planung –MPL–

Beschleunigeraufstellungen

Für folgende Maschinen wurden Berechnungen, Konstruktionen und Fertigungsunterlagen erstellt:

PETRA III

Draufsichten als Übersichtszeichnungen der 7 alten Oktanten und des neuen Achtels für PETRA III wurden fortlaufend bearbeitet. Sie zeigen die Aufstellungskoordinaten der Magnete, anderer Komponenten und die Betonsteinpositionen. Neben einer Dokumentationsmappe der neuen PETRA III-Maschine wurden 30 Aufstellungspläne für Anrisse von Boden- und Betonsteinbohrungen aller in der neuen PETRA-Maschine

zu installierenden Komponenten erstellt, sowie 16 Ansichtszeichnungen der Maschine von der Ringinnenseite.

European XFEL

Bunchkompressor 1 und Bunchkompressor 2 Verschiedene Entwürfe stehender Versionen als Studien für die Aufstellung der Komponenten auf Girdereinheiten wurden in Kombination mit Betoneinhausung für Elektronik-Racks gezeichnet. Für den Bunchkompressor 2 (BC2) stehen drei Varianten zur Verfügung. Für die senkrecht im BC2 stehenden schmalen 4.2 Tonnen schweren BB-Magnete wurde ein Edelstahlrahmen in Kombination mit einer Stahlkonstruktion als Unterbau mit Lenkerjustage konstruiert. Bedingt durch die Strahlablagen in den Schikanen gibt es drei höhenunterschiedliche Ausführungen. Ein reinraumtauglicher Bunchkompressor-Testträger mit Lenkerjustierung wurde konstruiert und Fertigungsunterlagen erstellt. Der Träger ist ein Vollmaterialbalken (450 × 120 × 4600 mm) der neben dem Komponenten-Support auch als Teil der Abschirmung dienen soll. Konstruktions- und Fertigungsunterlagen für ein QC-Justiergestell, desgleichen für ein kleines M6-Lenker-Justiergestell zum Testen zur Aufnahme von leichten, kurzen Komponenten, wie evt. BP Monitore wurden ebenfalls erstellt. Alle Teile sind in der Fertigung.

Tunnelabschnitte T3 und T4 Entwürfe für mögliche Aufstellungen von verschiedenen Quadrupol-, Dipol-, Sextupol- und Korrekturmagneten, etc. an ca. 50 Aufstellungsorten auf Betonsteinen stehend oder von der Tunneldecke abhängig wurden untersucht und gezeichnet.

Injektion XTIN Für einen im Tunnel stehenden Kryostat-Unterbau für Modul 1 wurden Fertigungsunterlagen konstruiert und erstellt. Der Kryostat wird über je zwei senkrechte Träger an den Feedcap- und den Endcapflanschen aufgenommen; diese sind auf jeder Seite mit einem unter dem Tank liegenden Ausleger verbunden. Der Unterbau ist ähnlich wie bei FLASH,

musste aber auf eine andere Strahlhöhe angepasst werden. Entwürfe für mögliche Aufstellungen von verschiedenen Quadrupol-, Dipol- und Korrekturmagneten, auf Betonsteinen als Unterbau, wurden für die gesamte Injektionsstrecke gezeichnet, in den Varianten: 1. als reiner Beton-Einzelstein-Aufbau 2. als Girder-version mit 3.7 m langen justierbaren Stahlträgern auf jeweils 2 Betonsteinen aufgelegt in Kombination mit Einzelsteinen.

Resonatoren-Fertigung und Werkstoffuntersuchungen

FLASH

Die Fertigung von 15 Resonatoren bei der Fa. ACCEL wurde betreut.

European XFEL-Aufgaben (im Rahmen des WP4, SC Cavity)

Das Material für die Vorserie (30 Resonatoren) ist bestellt und teilweise geliefert worden.

Eine Spezifikation für die mechanische Serienfertigung der XFEL-Resonatoren mit dem Heliumtank ist ausgearbeitet worden.

Die HF-Ergebnisse an neunzelligen Resonatoren aus Großkristall-Niob Scheiben sind akzeptabel. Acht neue neunzellige Resonatoren aus dem großkristallinen Material sind bei der Fa. ACCEL gebaut worden.

Qualifizierung neuer Niob-Lieferanten. Nach Prüfungen von Niob-Blechen und einzelligen Resonatoren sind zwei Firmen im Rennen geblieben. Die Fa. Plansee SE (Österreich) ist als Niob-Lieferant für den European XFEL qualifiziert worden. Drei neunzellige Resonatoren aus dem Material der Fa. Ningxia (China) wurden gebaut und befinden sich in der Vorbereitung für die HF-Prüfungen.

Drei Prototypen der 3.9 GHz Resonatoren sind bei der Fa. ZANON bestellt worden. Die Lieferung sollte 2009 erfolgen

CARE/JRA1-Aufgaben

In Zusammenarbeit mit der Fa. WSK wurde der Prototyp einer SQUID - Scannvorrichtung der Nb-Bleche für den European XFEL entwickelt, gebaut und Ende 2007 an DESY geliefert. Es wird geprüft, ob eine Apparatur dieser Art der Wirbelstromapparatur überlegen ist.

Die Fertigung von 9-zelligen Resonatoren aus dreizehnligen Einheiten durch Hydroforming wurde im Rahmen des CARE Programms entwickelt und patentiert. Der weltweit erste 9-zellige Resonator ist erfolgreich durch Hydroforming hergestellt und bei der Fa. E. ZANON komplettiert worden. Der HF-Test wurde nach der für die XFEL-Prototypen üblichen Behandlung durchgeführt (Elektropolitur EP 170 μm , Spülen mit Ethanol, Glühen bei 800°C, EP 48 μm und Hochdruckspülen). Der maximale Beschleunigungsgradient von $E_{\text{acc}} = 30.3 \text{ MV/m}$ wurde erreicht und damit die XFEL-Spezifikation mit guter Sicherheitsmarge erfüllt. Die Modemessungen zeigten maximale Felder zwischen 30 MV/m und 39 MV/m. Normalerweise erhöhen sich die Q- und E_{acc} -Werte durch das Backen bei ca. 120°C. Leider hat es in diesem Fall nicht richtig funktioniert (siehe Abbildung 147).

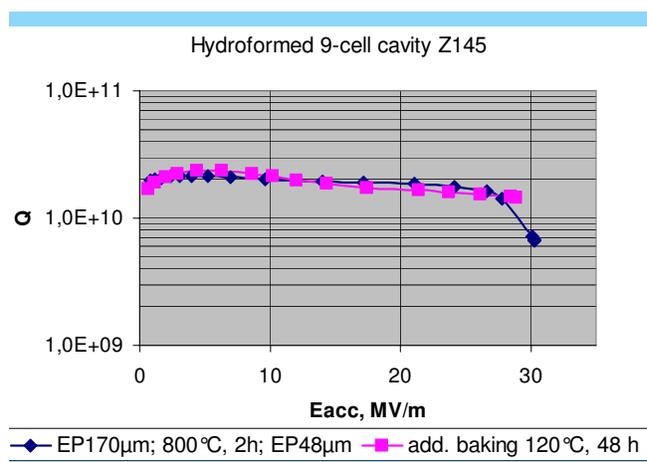


Abbildung 147: $Q(E_{\text{acc}})$ des ersten 9-zelligen durch Hydroforming gebauten Resonators.

Labor für Materialuntersuchungen

- Qualitätskontrolle an Niob Blechen und Niob Halbzeugen für Resonatoren
- Analyse der Proben von Resonatoren mit beschränkter Leistungsfähigkeit
- Zerstörungsfreie RRR-Messungen an Resonatoren in der Halle 3
- Analyse der Verteilung von Verunreinigungen in Niob- und NbTi-Schweißverbindungen.
- Materialdiagnose

Internationaler Linear Collider ILC

Bei MPL wurde eine Methode zur Herstellung von ein- und mehrzelligen Einkristall-Resonatoren in der ILC oder XFEL-Größe entwickelt und patentiert.

Bei Abwesenheit von Korngrenzen in Einkristallen konnte eine spiegelglatte Oberfläche durch einfache chemische Behandlung erreicht werden. Es sind drei einzellige Einkristall-Resonatoren der TESLA-Form auf diese Weise gebaut und nur durch Beizen präpariert worden. Die Präparation und die HF-Tests wurden bei Jefferson Lab. gemacht. Nach 100-200 μm Abtrag und in situ Backen bei 120°C für ca. 12 Stunden wurde an allen drei Resonatoren ein Beschleunigungsgradient von 39-41 MV/m erreicht. Die Ergebnisse bestätigen das hohe Potential der Einkristalloption.

Aufbau von Beschleunigern und Experimenten –MEA–

Die Gruppe MEA beteiligt sich an der technischen Projektierung neuer Beschleuniger und Experimente sowie der Unterhaltung der vorhandenen Anlagen. Dazu gehören die Planung, Koordination und Terminverfolgung der Aufbau-, Umbau- und Wartungsarbeiten. Beim Betrieb der Beschleuniger und Experimente werden in festgelegten Intervallen Wartungs- und Reparaturarbeiten ausgeführt. In diesem Jahr waren die Beschaffung und Montage neuer Magnettypen sowie

die geodätische und magnetische Vermessung aller PETRA III-Strahlführungsmagnete ebenso aktuelle Arbeitsschwerpunkte wie die Planung und Erstellung von Hallenwarnanlagen und Laser-Interlocksystemen für die Synchrotronstrahlungsnutzer. Die Vorbereitungsarbeiten für den europäischen Röntgenlaser European XFEL innerhalb der drei Projektarbeitspakete *Warme Magnete*, *Geodäsie* und *Tunnelinstallation* für den Aufbau des Beschleunigerkomplexes sind aktuelle Aufgaben der Gruppe.

Beschleuniger

PETRA III

Zu Beginn des Jahres waren von den Beschleunigerabschnitten bereits 2 Oktanten vollständig mit Strahlführungsmagneten ausgerüstet und vorjustiert, 4 weitere mit Dipolmagneten bestückt. Die alten Achtel sind im Berichtszeitraum 2008 mit Magneten komplettiert und im Rahmen der geforderten Messgenauigkeit auf die Sollpositionen justiert worden.

Die große Experimentierhalle für die Synchrotronstrahlungsnutzer erstreckt sich über einen Oktanten von PETRA. Während der Bauphase hat MEA2 den Setzungsprozess und die thermische Ausdehnung der Bodenplatte überwacht. Bei verschiedenen Temperaturen der Bodenplatte sind geodätische Koordinaten gemessen und mittels Koordinatentransformation auf den stationären Fall einer Gleichgewichtstemperatur von 22°C mit verschiedenen Modellansätzen berechnet worden. Nach Freigabe des Hallenbauwerks durch den Bauträger sind die Anrisse für Abschirmung, Sockel, Untergestelle für Girder und Undulatoren sowie Vakuumkammerhalterungen genauso wie die Anrisse der Experimentieraufbauten der Synchrotronstrahlungsnutzer erstellt worden. Zügig wurde mit dem Einbau von Beschleunigerkomponenten sowie dem Aufbau technischer Halleninfrastruktur begonnen. Die bisher eingebauten justierbaren Komponenten in der Experimentierhalle sind gemäß den Anforderungen vermessen und auf die Sollpositionen gestellt worden.

Für das neue Achtel in der PETRA III Experimentierhalle wurden alle 34 Magnetträger (Girder), deren Lieferung im Jahr 2007 begonnen hatte, vom Hersteller bereitgestellt. Die gruppenübergreifende Zusammenarbeit bei der Bestückung der Girder mit Magneten, Vakuumkammern, Absorbern, Diagnosekomponenten, Mikromovern, Strom- und Wasserverteilungen und diverser Elektronik wurde von MEA organisiert und die projektbezogene Terminverfolgung übernommen. Die vollständig bestückten Girder sind in einer Klimakammer auf 22°C temperiert worden, um abschließend eine Feinjustage der Quadrupole mit höchstmöglicher Genauigkeit von $\sigma < 30 \mu\text{m}$ durchführen zu können. Dem Montagekonzept folgend sind die Magnetfüße kraftschlüssig mit dem Girder, durch Verkleben mit Epoxydharz, starr verbunden. Im letzten Arbeitsschritt der Montage wurden die Girder an den Sollpositionen aufgestellt.

Die ferngesteuerten Mikromover auf den Untergestellen der Girder erlauben die Lageoptimierung der Magnetachsen während des Strahlbetriebs. Wegen der mechanischen Toleranzen von maximal $\pm 800 \mu\text{m}$ darf eine Verschiebung nur innerhalb dieses Toleranzfeldes möglich sein. Die relativen Positionsänderungen der Girder untereinander oder auch gegenüber anderen ortsfesten Komponenten dürfen ein als Grenzwert festgelegtes Maß von $\pm 300 \mu\text{m}$ nicht überschreiten. Zur Kontrolle dieser relativen Lageänderungen der Girder hat MEA ein System mit optischen Grenzwertschaltern installiert. Um die sehr empfindlichen Vakuumkammern in den Magneten nicht zu gefährden, lösen die optischen Grenzwertschalter einen Nothalt der Antriebe aus. Kernstück dieses Nothaltssystems ist ein Netzwerk von Profibusmodulen, das mit einem Industrie-Rechner auch eine Anbindung an das Ethernet erhalten wird. Das räumlich verteilte System befindet sich im Aufbau und die Installation wird in 2009 abgeschlossen.

Die professionelle technische Ausrüstung der Experimentierhalle ist Grundlage für den Forschungsbetrieb bei PETRA III. Die Konzepte für Warnanlagen, wie Rauchmelder oder die Interlocksysteme zum Schutz von Experimentatoren und Photonenstrahlkomponenten und deren Not-Aus-Schaltkreise sind komplex. Die ausgedehnte Halle mit den unterschiedlichsten

Photonen-Beamlines hat zur Folge, dass eine hohe lokale Dichte an Funktionalität verknüpft ist mit einer großen Anzahl von Subsystemen verteilt über einen Oktanten des Beschleunigers. MEA3 arbeitet an neuen Konzepten für die Personensicherheit der Experimentatoren und die technische Sicherheit der Photonenstrahlkomponenten in den Beamlines. Ferner wurde im Gebäude 43d und im Tunnelabschnitt PETRA Süd-West Links für die Gruppe MDI ein Laserinterlock konzipiert, installiert und nach einer Sicherheitsprüfung mit dem Betreiber und D5 für das Experiment freigegeben.

Mitte des Jahres hat das Projektmanagement die MEA6-Expertise zum Aufbau von Reinstgasversorgungen mit verschiedenen technischen Gasen hinzugezogen. In Zusammenarbeit mit dem Hallenkoordinator ist die technische Spezifikation für die Stickstoffreinstgasversorgung im Tunnel erstellt und der Aufbau des Systems an eine Firma vergeben worden. Die Installation von 10 Entnahmestellen, die über 260 m an der Tunnelwand des Beschleunigers im neuen Achtel verteilt sind, dauerte vier Wochen und war im Oktober abgeschlossen. Eine Ausschreibung für die Stickstoffgasversorgung der Optik-, Experimentier- und Kontrollgebiete sowie für die Laborräume ist ebenso in Vorbereitung wie die technische Auslegung der Flüssigstickstoffversorgung mit den Entnahmestellen an den Kryokühlern der Monochromatoren. Anfang 2009 ist die Installation beider Gasversorgungssysteme geplant.

Alle eingebauten *warmen* Magnete bei PETRA III wurden auf dem MEA-Magnetmessplatz zum Zweck der Qualitätssicherung magnetisch und elektrisch geprüft. Diese Messungen wurden durch eine Vielzahl von speziellen Untersuchungen an ausgesuchten Referenzexemplaren der einzelnen Magnettypen ergänzt. Fragestellungen zum Remanenz- und Hystereseverhalten sowie die Sättigung bei Betrieb mit Netzteilen unterschiedlicher maximaler Stromstärken sind untersucht worden. Außerdem wurde für jeden Magnettyp mit einer rotierenden Spule eine feinstufige Erregungskurve gemessen. Durch Vergleichsmessungen am selben Magneten mit einer Hallsonde kann die Erregungskurve mit einer absoluten Genauigkeit im 10^{-4} Bereich bestimmt werden.

Da die Dokumentation der im Transportweg zwischen DESY und PETRA (e-Weg) verwendeten, teilweise sehr alten Magnete, unvollständig oder unklar war, sind systematisch für alle Typen die betriebswichtigen Parameter messtechnisch neu ermittelt worden. Von den tragbaren Korrekturdipolen bis zu Magneten der 10 t Gewichtsklasse wurden verschiedenste Typen überprüft. Für alle diese Messungen kam die bewährte Danfysik 3D Hallsonden-Messmaschine zum Einsatz. Die 26 QL-Quadrupole in der Vorbeschleunigerkette vom LINAC II bis zu PETRA III sind 1967 gebaut worden. Die Montagewerkstatt MEA4 hat eine technische Überholung der Kühlkreisläufe und Übertemperatur-Schutzschalter (Pilotheime) dieser Magnete durchgeführt. Die Leckagen an den Spulen sind durch Lötungen vor Ort beseitigt worden. Der Austausch von Pilotheimen erforderte eine neue elektrische Verkabelung an den Magneten. Durch Strahlenschäden war die alte Verkabelung nicht mehr zuverlässig. Den Zustand der QL-Kupferspulen mit den angelöteten Verschraubungen konnte man exemplarisch an defekten Spulen überprüfen. Sowohl Röntgenaufnahmen als auch Schliffbilder dokumentieren eine Auswaschung der Lötstellen. Um einen langfristigen ungestörten Betrieb der Magnete zu gewährleisten, sind für die Vorbeschleunigerkette neue Spulen bestellt worden. An fünf Dipolen im e-Weg sind Basisplatten für die Transfermessung angebaut worden. Hierfür mussten Gewinde- und Passbohrungen in die Magnete eingebracht werden. Der Injektordipol IME 186 wurde mit einer neuen Spule bestückt, wobei die Wasseranschlüsse wegen unterschiedlicher Rohrdurchmesser modifiziert werden mussten.

MEA1 hat weiterhin das CAD Gesamtmodell der PETRA III Anlage betreut und aktualisiert. Externe Komponenten und Anlagenteile, wie z. B. der Apple Undulator von BESSY, wurden ins Modell eingefügt. Für MEA2 (Vermessung) wurden umfangreiche Arbeiten durchgeführt, um die generierten Daten von Markierungen und Anrisse für sämtliche Komponenten redundant zu überprüfen.

DORIS

Die Umsetzung der Sicherheitsanforderungen des Strahlenschutzes für die Synchrotronstrahlungsnutzer von DORIS hat auch dieses Jahr wieder umfangreiche Planungen und Installationsarbeiten erforderlich gemacht. Für den redundanten oder sogenannten „zweiten“ Sicherheitskreis der Personeninterlockanlagen der Experimentierplätze und der Hallenwarnanlage wurden neue Elektronikeinschübe für HASYLAB 3, HASYLAB 4 und HASYLAB 5 entwickelt und gebaut. Im Wartungsintervall 2008 sind die Fächer D bis F bei HASYLAB 3, die Strahlen BW 1 bis BW 4 bei HASYLAB 4 sowie die Strahlen BW 5 bis BW 7, K und L bei HASYLAB 5 mit neuen Personeninterlocksystemen ausgerüstet, mit einer Interlockprüfung abgenommen und dem Nutzerbetrieb übergeben worden.

Den Aufbau der neuen Warnanlagen in den HASYLAB Hallen 3 bis 5 führte MEA 3 durch. Die Arbeiten umfassten die Programmierung der Steuerung, die Profibus Vernetzung der Warnanlagen mit den Kontrollsystemen des Technischen Notdienstes und der Gruppe FS-BT. In diesem Zusammenhang hat MEA6 Umbauarbeiten an den Gasschränken inklusive Zuleitungen durchgeführt. Die Anlagenteile wurden geprüft und durch die beteiligten Gruppen in Betrieb genommen.

Im Rahmen einer Machbarkeitsstudie zum Einbau des Olympus-Experimentes bei DORIS hat MEA1 zum Jahresende den Arbeitsaufwand und den Personalbedarf der Gruppe abgeschätzt. Der Abbau des ARGUS-Detektors inklusive PR-Ausstellung war ebenso Gegenstand der Betrachtung wie das Versetzen der Abschirmsteine zum MHF-SL Labor, die Bauarbeiten in der Experimentiergrube und die Montage- bzw. Transportlogistik des gesamten Vorhabens.

MEA4 hat an 23 DORIS-Dipolmagneten jeweils 24 Haltebänder mit Lagen aus Vulkollan erneuert und im Zuge dieser Arbeiten die Wasseranschlüsse der Spulen geprüft und Leckagen beseitigt.

DESY-II-Teststrahlen

Die von MEA3 entwickelten und gefertigten Fächer-einschübe für Anwendungen bei HASYLAB sind auch für das Interlocksystem der Teststrahlen 21, 22 und 24 zum Einsatz gekommen. Das neue Interlocksystem wurde nach Fertigstellung mit einer Interlockprüfung abgenommen und dem Nutzerbetrieb übergeben. Das überarbeitete und erweiterte Not-Aus-System am Teststrahl 24/1 bewirkt jetzt eine Abschaltung der Stromversorgung des Beschleunigers. Dieses Sicherheitsmerkmal wird im Jahr 2009 auch an den anderen Teststrahlgebieten eingeführt.

Für den supraleitenden EUDET-Magnet im Teststrahl 24/1 hat der Gaseservice MEA 6 das bestehende Rückführungsleitungssystem für gasförmiges Helium erweitert. Während der Abkühlung des Magneten kann das entstehende Heliumgas nun vollständig aufgefangen und wiederverwertet werden. Der Gasschrank für die Versorgung der TPC-Kammer im Magneten wurde umgebaut und mit einer Hochdruckwechselstation ergänzt. Die TPC-Kammer kann nun sowohl mit brennbaren als auch mit nichtbrennbaren Gasgemischen versorgt werden.

FLASH

Für den nächsten Umbau SFLASH werden im niederenergetischen Injektorbereich kleine Korrekturmagnete benötigt. Ein Prototyp ist bei MEA 4 gebaut worden und erfüllt die Spezifikation. Eine kleine Serienfertigung von 20 Magneten ist in Vorbereitung. Der Magnettyp ähnelt dem TCA 40, hat jedoch nur eine Eisenjochlänge von 20 mm. Ferner soll ein PETRA-Undulator mit variablem Polabstand in SFLASH eingebaut werden. Der Polabstand im Magneten und das resultierende Feld wurden bei verschiedenen Stromstärken präzise am MEA-Magnetplatz vermessen. Für den späteren Einbau bei FLASH hat MEA 2 eine Transfermessung durchgeführt. Bei MEA 4 wurde das Undulatorgestell mit der Antriebstechnik zum Variieren des Polabstandes modifiziert und verbessert.

Die regelmäßigen MEA 3 Servicearbeiten für FLASH liefen auch in diesem Jahr. Das Laserinterlock für den

FIR-Undulator erhielt einen weiteren Betriebsmodus. Diese Änderung war mit erheblichem Aufwand verbunden. Für SFLASH muss das Laserinterlock in Gebäude 28g bzw. 28h erweitert werden. Für den Aufbau hat die Beschaffung der Komponenten im November begonnen. Ferner wurde für eine Lasereinkoppelung der Anriss der Sockel aus dem Tunnel bis zum Gebäude 28g erstellt. Ein Aufmass der Grube und der Verbindungsrohre wurde ebenfalls durchgeführt.

In der nächsten Wartungsperiode wird das Modul 3** an der Position ACC1 eingebaut. Hierfür wurden zuerst die 8 HF-Beschleunigerstrukturen des Moduls im String einzeln justiert und anschließend der String zum Modultank justiert. Um ein weiteres Klystron im Gebäude 28 betreiben zu können, hat der Gaseservice MEA6 die SF₆ Versorgung erweitert. In diesem Zusammenhang wurde eine weitere Entnahmestation für Stickstoff installiert, die das SF₆ in den Hohlleitern mit Stickstoff verdünnt. Darüber hinaus wurde mit thermodynamischen Berechnungen untersucht, wie oft die Hohlleiter vor dem Öffnen evakuiert und mit Stickstoff gespült werden müssen, damit toxische Produkte, erzeugt durch HF-Überschläge, unterhalb der MAK-Grenze für das Gebäude bleiben. Die Studien zur Entwicklung von Fokussier- und Ablenkmagneten mit extrem geringer Remanenz haben 2006 begonnen und wurden auch 2008 fortgesetzt. Die Messungen zeigten, dass mehrere Materialien, insbesondere Reinst Eisen, die gestellten Anforderungen gut erfüllen. Das beste Preis/Leistungsverhältnis hat das sogenannte Relaiseisen. Für Vergleichszwecke mit den bisherigen TQA Magneten ist ein weiterer Prototyp aus Relaiseisen in Vorbereitung.

In Zusammenarbeit mit der Firma GESO, dem IPHT Jena und MEA1 wurde eine Diplomarbeit mit dem Thema *Verteilte Faseroptische Temperaturmessung mittels Raman-DTS am Freie-Elektronen-Laser FLASH* erstellt. Die Arbeit hatte zum Ziel, eine Elektronik (Raman OTDR-DTS) zu installieren und zu betreiben, welche an einer Faser angeschlossen ist, mit der die Temperatur entlang der Faser in Abstandänden von einem Meter gemessen wird. Es zeigte sich, dass die größte Robustheit und Messgenauigkeit das beidseitige Messverfahren hat, welches ein entsprechendes aus-

gerüstetes OTDR-DTS voraussetzt. Das vorhandene Gerät wird nun so umgebaut, dass ein routinemäßiger Einsatz bei FLASH nach dem nächsten großen Wartungsintervall möglich ist. Erst dann kann der Einsatz dieser Messtechnik an anderen Beschleunigern (z. B. European XFEL) beurteilt werden.

MEA1 hat das Zukunftsprojekt FLASH II in der Entwurfsphase mit der Erstellung von CAD-Zeichnungen und technischer Expertise bei der Tunnelausrüstung, Magnetbestückung und Montage- bzw. Transportlogistik unterstützt.

European XFEL

Im Arbeitspaket 33 *Tunnelinstallation* des europäischen Röntgenlaserprojekts European XFEL arbeitete MEA1 an der detaillierten Tiefbauplanung mit, insbesondere bei der Festlegung von Transportflächen und Installationen.

Nach einer Serie von technischen Besprechungen wurde das Spezialfahrzeug zum Transport von Modulen, Magneten und Pulstransformatoren von der Fa. TEC-Hünert gebaut und im September in Betrieb genommen. Das Fahrzeug besteht aus einem Steuer-/Energiefahrzeug und zwei Plattformwagen, auf denen Scherenhubtische mit einer Lastbrücke aufgesetzt werden können. Die unzureichende Funktionalität der Scherenhubtische hat die Auslieferung des Fahrzeugs bis in den Dezember verzögert. Die Feinabstimmung der Steuerung, die Übergabe an DESY und die endgültige Abnahme ist für Anfang 2009 vorgesehen. Weiterhin wurde die Konstruktion eines Undulatortransporters begleitet.

Im XFEL-Testtunnel wurden Traversen für die Modulaufhängung an die Betondecke montiert. Es zeigte sich, dass man auch unter den engen Verhältnissen noch gut schweißen konnte. Ein Probetank mit Halterung ist installiert. Die Schwingungsmessungen der Gruppe MPY zeigten, dass die Resonanzen des Gesamtsystems aus Traverse, Halterung und Modultank oberhalb von 10 Hz liegen und damit unkritisch für den Elektronenstrahl sein sollten, da Bodenbewegungen mit größeren

Amplituden im Wesentlichen bei Frequenzen unterhalb von 10 Hz auftreten.

Im Arbeitspaket 12 *Warme Magnete* sind die existierenden Magnetentwürfe im Hinblick auf günstigere Herstellungskosten und spätere Betriebskosten vom russischen EFREMOV-Partnerinstitut überarbeitet worden. Die große Anzahl der verschiedenen Korrekturmagnete verringerte sich auf vier Typen. Eine energieeffiziente und robuste Lösung für die Verteilung des Elektronenstrahls im Fächer wird mit einem Lambertson-Septum gelöst. Die 3D-Magnetfelduntersuchungen sehen vielversprechend aus. Ein endgültiges Design ist in Vorbereitung. Für den Dipolmagneten in der Bunch-Compressor Sektion, dessen Feldhomogenität besser 100 ppm in einem Feldbereich von $40 \times 40 \text{ mm}^2$ sein soll, sind umfangreiche Simulationen durchgeführt worden. Aus den Rechnungen ergibt sich, dass man die hohe Feldqualität mithilfe von Eisenbeilagen (Shims), die quer zu den Stirnflächen des Magneten angeordnet sind, erreichen kann. Das Konzept für diesen Magneten ist ausgearbeitet. Mit dem Bau eines Prototyps kann begonnen werden. Insgesamt werden 9 Magnete dieses Typs gebraucht.

Die Injektor- und Undulatorsektion benötigt Quadrupolmagnete mit niedriger Remanenz. Außerdem darf sich die magnetische Achse bei unterschiedlicher Erregung des Magneten nur wenige Mikrometer bewegen. Aus den Ergebnissen der im Jahre 2007 und 2008 durchgeführten Materialuntersuchungen wird deutlich, dass Relaiseisen wegen des Preis- / Leistungsverhältnisses und der Materialeigenschaften zu bevorzugen ist. Für die Undulatorsektion wird im nächsten Jahr ein Prototyp aus diesem Material gefertigt.

Experimente

ILD-Detektor

An der Machbarkeitstudie des ILD Detektors für den International Linear Collider (ILC) hat MEA die technische Koordination der DESY-Arbeiten zum Machine-Detector-Interface übernommen. Im Wechselwirkungspunkt des Linearbeschleunigers sollen zwei Großdetek-

toren abwechselnd benutzt werden. Die Ausarbeitung des Push-Pull Konzeptes umfasst sowohl die Justierung der Final-Fokus Magnete der Experimente im Mikrometerbereich mit dem von MEA2 und der Universität Oxford entwickelten MONA-LISA Laservermessungssystem als auch die zu bewegende Abschirmung für den Strahlenschutz. MEA1 arbeitet an einem Entwurf des Rückflußjoches für die supraleitende Solenoidspule des ILD-Detektors. Die Gesamtdicke des Eisenjochs muss so ausgelegt werden, dass das zentrale 4T-Solenoidfeld in 15 m Abstand von der Magnetachse nur Streufelder kleiner 50 mT erzeugt. Zur Bestimmung der Feldqualität im TPC-Volumen, der Streufelder außerhalb des Rückflussjoches und der magnetischen Kräfte auf die Eisenstruktur des Jochs bei vorgegebener Spulenkonfiguration und vorgegebenen Spulenströmen sind 3D Rechnungen mit dem Programm CST EM-Studio durchgeführt und die Jochparameter variiert worden. Abbildung 148 zeigt die Streufeldverteilung einer Jochvariante für ein Solenoidfeld von 4 T. Weiter wurden 3D Rechnungen durchgeführt, um den Einfluss der Streufelder auf benachbarte Eisenkonstruktionen (wie z. B. eine Stahlarmierung in der Detektorplattform) und die Rückkopplung auf die Feldverteilung im TPC-Volumen zu untersuchen.

ZEUS-Experiment

Der Abbau des ZEUS Experimentes bei HERA wird sich bis ins Jahr 2009 verlängern. Wegen der ausstehenden Transportgenehmigung von abgereicherten Uranbauteilen des Detektors verzögerte sich der Abbau von 48 F/RCAL Uranmodulen bis zum März. Ende August war der Abbau von 32 BCAL Uranmodulen abgeschlossen. In 60 Containern wurden die Uranmodule verpackt und in die USA verschifft. Der Transport der Backing-Kammern nach Polen wurde vorbereitet. Der Abbau des ZEUS-Eisenjochs erforderte eine Brenngasanlage mit Absaugung und die Fertigung spezieller Anschlagmittel. Bis Mitte November war das Unterjoch abgebaut. Anschließend begann der Abbau der großen Haubenhalschalen (Clamshells).

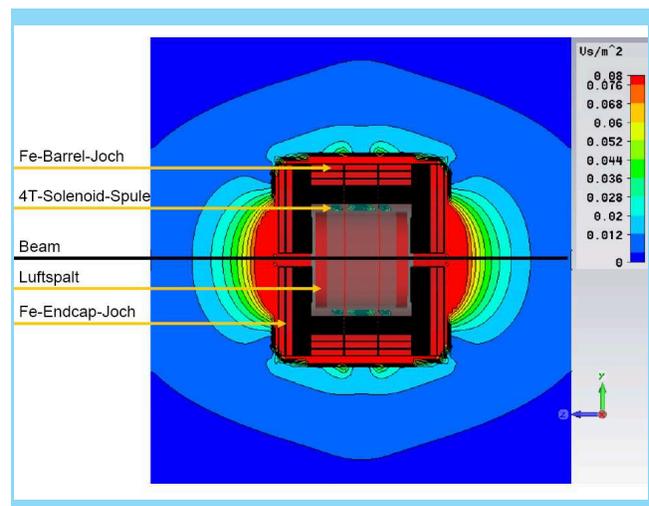


Abbildung 148: ILD-Detektor im Querschnitt mit magnetischer Streufeldverteilung. Im Zentrum des Detektors erkennt man die Projektion der Solenoidspule. Zwischen Solenoid und Eisenjoch befindet sich auf jeder Seite ein Luftspalt (roter vertikaler Balken). Das Fe-Barrel Joch und Fe-Endcap Joch ist geschlitzt. Die Skalierung der Magnetfeldstärke ist auf 80 mT begrenzt. Feldbereiche über diesem Wert (bis 4 T) sind rot gefärbt.

