

Beschleuniger

Inhalt

Speicherring DORIS III	67
Die Vorbeschleuniger	69
Freie-Elektronen-Laser FLASH	71
Die Synchrotronstrahlungsquelle PETRA III	75
Freie-Elektronen-Röntgenlaser European XFEL	79
Aktivitäten in Zeuthen	83
Arbeiten der Gruppen des Bereichs Beschleuniger	89
–MPY– Beschleunigerphysik und Beschleunigerkoordination	89
–MIN– Injektion/Ejektion	94
–MHF– Hochfrequenztechnik	100
–MCS– Control System	110
–MPS– Personen-Sicherheitssysteme	112
–MDI– Diagnose und Instrumentierung	114
–MSK– Strahlkontrollen	121
–MVS– Vakuum	124
–MKS– Kryogenik und Supraleitung	127

–MKK– Energieversorgung	136
–MPL– Maschinen Planung	141
–MEA– Aufbau von Beschleunigern und Experimenten	144
Strahlenschutz	149

Speicherring DORIS III

Nach der Weihnachtspause startete der Strahlbetrieb am 9. Februar. Da es keine Umbauten am Vakuumsystem gab, konnte die Strahllebensdauer auf 25 bis 35 Stunden gesteigert werden. Bis Ende April gab es bei DORIS lediglich eine größere Unterbrechung. Am 5. März trat ein Vakuumleck an einem Monitor zur Strahlstrommessung auf. Dieser wurde am 6. März ausgebaut, wofür die Belüftung eines Quadranten notwendig wurde. Die Strommessung wurde von einem Reservemonitor übernommen. Freundlicherweise trat dieses Problem in einer Serviceweche auf, so dass nach 3 Tagen Betrieb zur Verbesserung des Vakuums der Nutzerbetrieb wie geplant wieder aufgenommen wurde. Von diesem Ereignis abgesehen gab es bis zum Herbst nur wenige Störungen mit Unterbrechung von etwa einer Stunde.

Im September traten dann vermehrt Probleme bei der Injektion auf, als deren Ursache eine defekte Spule des Injektionsmagneten zu DORIS identifiziert werden konnte. Das Auswechseln dieser Spule gelang ohne das Vakuumsystem zu öffnen, daher konnte die sehr gute Strahllebensdauer von 20–30 Stunden beibehalten werden. In den darauffolgenden Wochen kam es dann sporadisch zu Strahlverlusten, die ihre Quelle an einem Dipolmagneten in DORIS hatten. Die Spulen dieses Magneten wurden am 9. November, zu Beginn einer Wartungsperiode, getauscht. Dies konnte nur durch Ausbau der Vakuumkammer geschehen. Da im Zuge dieser Arbeiten zusätzlich ein defektes Vakuumventil auftrat, welches zwei Abschnitte trennt, musste die Hälfte der Maschine belüftet werden. Dies führte dazu, dass der Nutzerrun erst mit einem Tag Verspätung beginnen konnte, da vorher die Lebensdauer für die Messungen nicht ausreichte. Der Windungschluss der Spule war vermutlich eine Spätfolge eines Wasserlecks das vor einigen Jahren den Magneten und die Spule befeuchtet hatte.

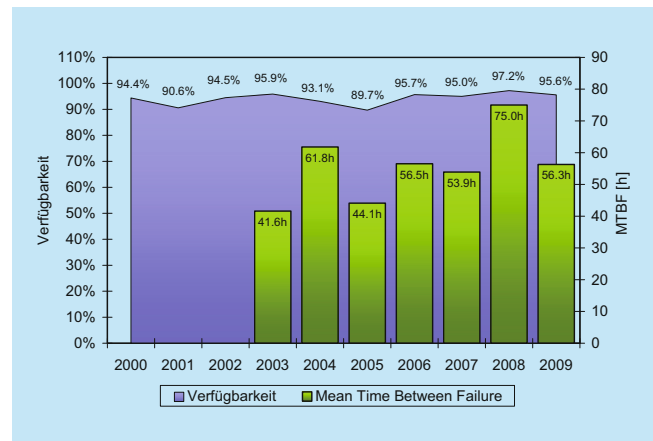


Abbildung 32: Verfügbarkeit von DORIS III und mittlere Zeit zwischen zwei Ausfällen seit 2003.

Im gesamten Jahr gab es 5409 Stunden Strahlzeit für Nutzer, dies entspricht einer Verfügbarkeit von 95.6%. Die mittlere Zeit zwischen zwei Ausfällen betrug 56.3 Stunden, hier machten sich die häufigen Störungen durch die defekte Dipolspule bemerkbar, die die bis dahin hervorragende Zuverlässigkeit beeinträchtigten. Die Verfügbarkeit der Maschine und die mittlere Zeit zwischen zwei Ausfällen seit 2003 sind in Abbildung 32 dargestellt.

Seit Anfang des Jahres ist eine schnelle Strahllagerregelung aktiv, die horizontale Strahlschwingungen im Bereich von bis zu 20 Hz wirkungsvoll dämpft. Diese Schwingungen haben ihre Ursache in den mechanischen Schwingungen der Magnete. Die Grundfrequenzen der mechanischen Oszillationen liegen bei 5–10 Hz und sind die Hauptursache für Lageschwingungen des Strahls. Dieses System arbeitet mit einem eigenen Satz von Luftspulen, die für schnelle Feldänderungen geeignet sind.

In der Wartungsperiode im August wurden die letzten alten Netzgeräte des DESY Synchrotrons durch neue Geräte ersetzt. In dieser Zeit erfolgte bei DORIS und den Vorbeschleunigern die jährliche Interlockprüfung. Im Anschluss wurden einige Tage zur Wiederinbetriebnahme sowie einige Studien bei niedriger Strahlenergie von 2.3 GeV durchgeführt. Diese Teilchenenergie wird gebraucht, wenn das zurzeit im Aufbau befindliche *Olympus*-Experiment in 2011/2012 seinen Betrieb aufnimmt. Hierbei handelt es sich um ein Kernphysik-

Experiment bei dem Elektronen und Positronen mit den Protonen in einem Gastarget kollidieren werden. Die bisherigen Studien zeigen, dass der Strahl auch bei niedriger Energie mit hoher Effizienz injiziert werden kann, ein Strahlstrom von 120 mA erreichbar ist und einige Stunden Lebensdauer möglich sind. Weitere Studien sind im Jahr 2010 geplant, um die erzielten Ergebnisse routinemäßig zu erreichen und u. U. weiter zu verbessern.

Die Vorbeschleuniger

LINAC II und PIA

LINAC II und PIA wurden im Jahr 2009 routinemäßig mit Positronen betrieben. Dies entsprach dem Bedarf der nachfolgenden Beschleuniger DORIS und PETRA. Auf eine Umschaltung der Betriebsart wurde verzichtet. Sie ist jedoch weiterhin jederzeit möglich.

Die Fertigung von Beschleunigerabschnitten als Reserve für den LINAC II ist im Berichtszeitraum endgültig abgeschlossen worden, die letzten zwei Abschnitte warten allerdings noch auf die Konditionierung am LINAC II.

Das in den vergangenen Jahren durchgeführte Testprogramm zur Entwicklung einer thermionischen RF-Gun für das Injektionssystem wurde eingestellt, da sich gezeigt hat, dass eine solche Strahlquelle die im Positronenbetrieb geforderte Intensität nicht zuverlässig genug liefern kann. Stattdessen wird jetzt intensiv an einem neuen Injektionssystem gearbeitet, welches auf einer konventionellen DC Trioden Gun gefolgt von einem kurzen Buncherabschnitt basiert.

LINAC III

Anfang 2009 wurde der LINAC III zu Demonstrationszwecken noch einmal erfolgreich mit Strahl betrieben.

Auf die Ende 2009 fällige Interlockprüfung wurde im Folgenden aber verzichtet. Der LINAC III darf also derzeit nicht mehr betrieben werden.

DESY II

Nach einer Wartungszeit, die am 22.12.08 begann, fand die Inbetriebnahme des Synchrotrons mit Strahl am 03.02.09 statt. Da sowohl DORIS wie PETRA Positronen wünschten, erfolgte auch der Strahlbetrieb für die Teststrahlen mit Positronen, wobei für alle Betriebsarten ein gemeinsamer Magnetzyklus (6.0 GeV oder 6.3 GeV) mit entsprechender Flankenextraktion bei Wunschenergie zum Einsatz kam.

Da sich die für 2008 geplante Erneuerung der Hauptnetzteile wegen verspäteter Lieferungen erheblich verzögerte, gab es in diesem Jahr mehrere Betriebsunterbrechungen, um die neuen Geräte sukzessive in Betrieb zunehmen und schon teilweise für den Strahlbetrieb zu nutzen (Mischbetrieb der alten und neuen Geräte). Am 10.08.09 ist dann gänzlich auf die neuen Geräte umgeschwenkt worden. Die Inbetriebnahme eines Universalgerätes, welches als Reserve/Ersatz für alle vier Hauptkreise dienen soll, muss noch erfolgen. Ebenso sind die Arbeiten an der Magnetstromregelung noch nicht abgeschlossen, die Magnetstromverhältnisse sind mit den neuen Netzteilen aber schon jetzt deutlich stabiler geworden.



Freie-Elektronen-Laser FLASH

FLASH

Im November 2007 begann bei FLASH die zweite Nutzerstrahlzeitperiode, die nach mehr als 7600 Stunden reiner Strahlzeit für Nutzerexperimente am 21. Sep. 2009 erfolgreich endete. Seitdem wird FLASH weiter ausgebaut, um für die nächsten Experimente optimal gerüstet zu sein. Wiederanlauf ist für Mitte April 2010 geplant.

Von den 6384 Stunden Strahlzeit, die 2009 zur Verfügung stand, wurden 2955 Stunden für Nutzerexperimente (46.3%) genutzt, 1880 Stunden (29.4%) für FEL-Studien und für Experimente und andere Messarbeiten an der Photonstrahlführung sowie an der Photon-diagnose und zur Vorbereitung der Nutzerexperimente (Abbildung 33a). Weiter fielen 10.4% (664 Stunden) der Strahlzeit auf Beschleunigerstudien, 13.9% sind für Wartungsarbeiten (4 Wochen plus 8 Stunden je Betriebswoche) genutzt worden.

Die Verfügbarkeit des Beschleunigers während der Nutzerzeit war mit 92% wieder hervorragend. Die gesamte Ausfallzeit betrug 8%. Der leichte Anstieg im Vergleich zu 2008 von fast 2 Prozentpunkten wurden durch den hamburgweiten Stromausfall im Juni 2009 und durch Ausfall der beiden alten HF-Stationen verursacht. Diese Stationen werden jetzt erneuert, so dass eine deutliche Reduzierung der Ausfallzeit zu erwarten ist. Während der Nutzerexperimentierzeit lieferte der Beschleuniger in 80% der Zeit Strahl an die Experimente, 10% wurden für die Feinabstimmung des FEL-Strahls und für Änderungen der Wellenlänge benötigt (Abbildung 33b). Das ist deutlich besser als im Vorjahr. Die Feinabstimmung geht jetzt zügiger voran, so dass den Nutzern trotz leicht erhöhter Ausfallzeiten häufiger Strahl geliefert wurde. Um die Effizienz zu erhöhen, wurde bei der Planung der Experimentier-

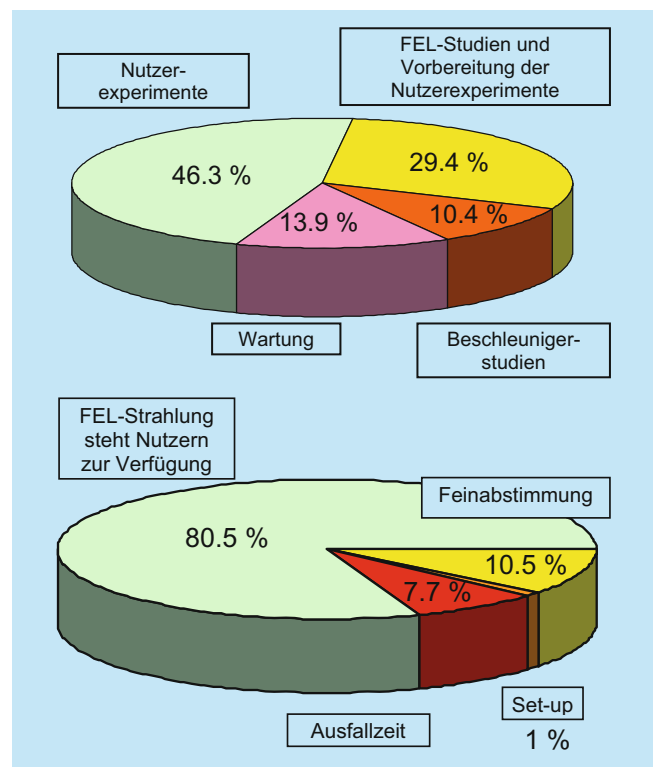


Abbildung 33: a) FLASH Strahlzeitverteilung 2009 (bis zum Beginn des Ausbaus im 21. Sept. 2009). b) Aufteilung der Strahlzeit während der Nutzerexperimente.

zeiten auch darauf geachtet, häufige Änderungen der Strahlparameter zu vermeiden.

Das experimentelle Programm der Nutzer deckte wieder ein weites Spektrum von Anwendungen im Bereich der Atom- und Molekularphysik mit einem Schwerpunkt auf ultra-schnelle Prozesse in Festkörpern ab. Die Zahl der wissenschaftlichen Publikationen ist weiter gestiegen: 2009 wurden weitere 30 Arbeiten veröffentlicht, die aus Experimenten bei FLASH entstanden sind. Damit ist die Zahl der Publikationen auf 68 gestiegen.

Wellenlängenbereich (erste Harmonische)	6.8 nm–47 nm
Mittlere Einzelpulsenergie	10 μJ–100 μJ
Pulslänge	10 fs–70 fs
Spitzenleistung	1 GW–5 GW
Mittlere Leistung (für 500 Pulse/s)	15 mW
Spektrale Breite	1%
Brillanz	1029 B–1030 B

(B = Photonen/s/mrad²/mm²/0.1%bw)

Tabelle 3: *Typische FEL-Strahlparameter von FLASH.*

Tabelle 3 fasst die typischen FEL-Strahlparameter während der 2. Nutzerperiode zusammen. Die Einzelpulsenergie der dritten Harmonischen beträgt etwa 0.5 bis 1% der fundamentalen ersten Harmonischen.

Mehr als 30 verschiedene Wellenlängen zwischen 6.8 und 40.5 nm sind während der zweiten Nutzerperiode nachgefragt und von FLASH geliefert worden, mehr als 140 Mal wurde die Wellenlänge geändert. Favoriten waren natürlich die kürzest mögliche Wellenlänge um 7 nm und zusätzlich auch 13.5 nm, für die häufig Spiegel zur Verfügung standen (Abbildung 34). Einige Experimente nutzten auch die dritte und fünfte Harmonische. Die kleinste eingestellte Wellenlänge war eine

fünfte Harmonische mit 1.59 nm für ein Experiment an magnetischen Strukturen.

In Zusammenarbeit mit internationalen Partnern wurde nach der offiziellen Nutzerperiode in zwei zusätzlichen Wochen ein Experiment durchgeführt, in FLASH einen Strahl mit voller Strahllast zu beschleunigen. Das ist zwar nicht ganz neu, jedoch wurde ein solches Experiment diesmal bei einer Strahlenergie von fast 1 GeV und mit einem Gespann aus drei zusammenhängenden Beschleunigermodulen durchgeführt, die bei sehr hohen Gradienten betrieben wurden. Dieses Experiment ist insbesondere für den ILC (International Linear Collider) aber auch für den European XFEL von hoher Bedeutung, da beide Beschleuniger regelmäßig mit voller Strahllast betrieben werden müssen. Im Zuge dieses Experiments wurde die Strahlführung zum Elektromagneten komplett erneuert und mit deutlich verbesserter Strahldiagnose ausgestattet. Das war auch eine Voraussetzung dafür, dass FLASH in Zukunft regelmäßig Strahl mit einigen hundert Pulsen pro Pulszug beschleunigen wird.

Im Laufe des Experiments wurde über mehrere Stunden ein Strahl mit 800 Pulsen einer Ladung von 3 nC pro Pulszug mit 5 Hz stabil bei fast 1 GeV beschleunigt (Abbildung 35). Für kurze Zeit konnte die Zahl der Pulse pro Zug auf 2400 mit Pulsabständen von 300 ns erhöht werden. Dabei kam auch ein spezieller Laser zum Einsatz, der zum ersten Mal Pulszüge von 3 MHz erzeugen konnte – ein wichtiger Schritt zu einem 5 MHz Laser für den European XFEL. Diese Ergebnisse versprechen, dass in der nächsten Nutzerperiode FLASH

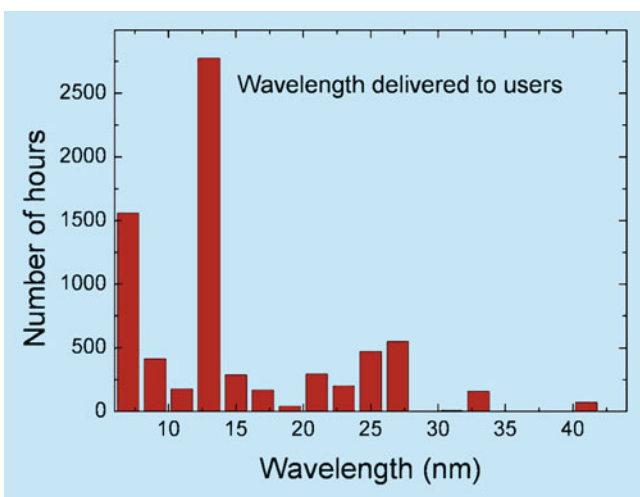


Abbildung 34: *Mehr als 30 verschiedene Wellenlängen sind während der zweiten Nutzerperiode eingestellt worden.*

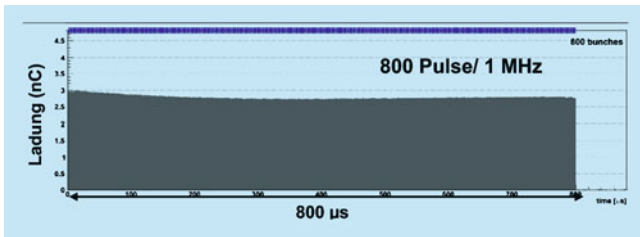


Abbildung 35: Pulszug bei FLASH mit 800 Pulsen pro Zug bei einer Pulsladung von 3 nC. Der Abstand der Pulse beträgt 1 μ s (1 MHz).

routinemäßig Pulszüge mit vielen hundert bis einigen tausenden Pulsen pro Sekunde liefern kann. Der Erfolg vieler Nutzerexperimente hängt von der hohen mittleren Brillanz der FEL-Strahlung ab. Durch die supraleitende Beschleunigertechnologie sind FLASH und insbesondere der European XFEL weltweit die einzigen Freie-Elektronen-Laser, die in der Lage sind, einige tausend Pulse pro Sekunde zu erzeugen.

Der Betrieb von FLASH ist für die Dauer des Ausbaus für fünf Monate unterbrochen. Nach der Inbetriebnahme, die Mitte Februar beginnt, wird der erste beschleunigte Strahl Ende April 2010 erwartet. Abbildung 36 zeigt die wichtigsten Ausbaumaßnahmen.

Es gibt zwei Hauptziele des FLASH Ausbaus: die Erhöhung der Strahlenergie von 1 auf 1.2 GeV und eine deutlich bessere Kontrolle über den longitudinalen Phasenraum der Elektronenstrahlen durch die Installation von Beschleunigungsstrukturen, die bei 3.9 GHz betrieben werden. Weiter wird neben vielen Maßnahmen zur Verbesserung der Zuverlässigkeit des Beschleunigers ein wichtiges Experiment aufgebaut: sFLASH, das Seeding-Experiment.

Die Erhöhung der Strahlenergie auf 1.2 GeV wird durch zwei Maßnahmen realisiert: der Einbau eines zusätz-

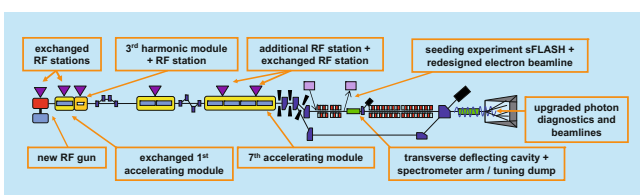


Abbildung 36: Ausbaumaßnahmen bei FLASH.

lichen neuen Beschleunigermoduls mit einem Energiegewinn von 200 MeV und der Austausch des ersten Moduls mit verbesserten Gradienten, um den Energieverlust durch die 3.9 GHz Cavities auszugleichen. Durch diesen Ausbau wird FLASH Wellenlängen unter 5 nm realisieren können und erreicht damit fast die K-Kante bei 4.2 nm. Mit der dritten Harmonischen des FEL-Strahls mit etwa 10^{10} Photonen pro Puls wird die L3-Kante der 3d-Elemente bis etwa 1.5 nm abgedeckt. Dies wird zum Beispiel weiter Studien zur schnellen Dynamik von magnetischen Systemen mit deutlich verbessertem Signal ermöglichen.

Abbildung 37 zeigt die Installation des neuen Moduls PXFEL1, ein Prototyp des European XFEL. Die kalte Masse des neuen supraleitenden Beschleunigermoduls wurde in China gefertigt. Tests des Moduls auf dem Modulteststand bei DESY zeigten außerordentlich hohe Gradienten von 30 MeV/m (gemittelt über alle 8 Cavities) bei niedriger Feldemission, so dass das Ziel von einem Energiegewinn von mindestens 200 MeV sicher erreicht werden kann.

Eine deutlich verbesserte Flexibilität in der Formung des longitudinalen Phasenraums des Elektronstrahls wird das neue Modul mit vier supraleitenden 3.9 GHz Cavities bieten. Abbildung 38 zeigt das neue Modul beim Einbau in FLASH. Es wurde im Fermilab (FNAL) gebaut und im April dieses Jahres geliefert. Die Mes-

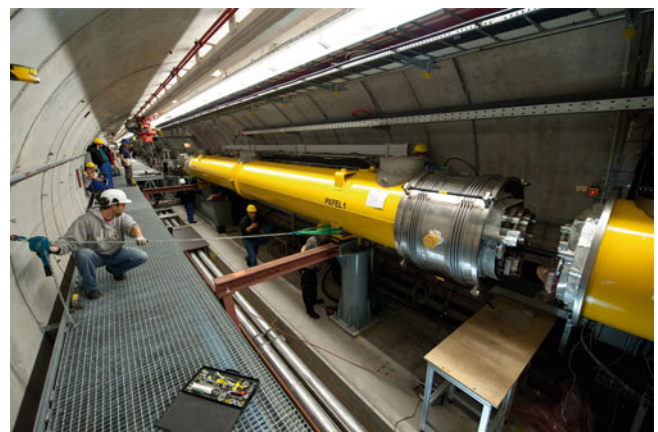


Abbildung 37: Das neue siebte Beschleunigermodul PXFEL1 während der Installation in den FLASH-Tunnel.



Abbildung 38: *Das neue Modul mit vier supraleitenden 3.9 GHz Cavities beim Einbau in FLASH.*

sergebnisse im Teststand sind vielversprechend: neben Gradienten weit über den Anforderungen bei kleiner Feldemission konnte auch gezeigt werden, dass die hohen Anforderungen an die Stabilität der Amplituden und Phasen der Feldgradienten erreicht werden.

Von den vielen Maßnahmen zur Verbesserung der Zuverlässigkeit des Beschleunigers seien hier insbesondere der Austausch der RF-Gun, die Erneuerung der HF-Stationen und der HF-Regelung aller Stationen sowie die Optimierung des Wellenleitersystems erwähnt.

Die neue RF-Gun ist ausgiebig bei PITZ getestet worden. Sie wurde mit der neuen CO₂-Reinigungstechnik bearbeitet und hat daher einen sehr kleinen Dunkelstrom. Die Messungen bei PITZ lassen erwarten, dass der Dunkelstrom etwa um den Faktor 10 kleiner sein wird. Die neue HF-Station für die RF-Gun ist jetzt für den Einsatz eines 10 MW Klystrons vorbereitet. Sobald ein solches Multibeam-Klystron zur Verfügung steht, wird es weit höherer Gradienten in der RF-Gun erlauben und damit die Strahlqualität weiter verbessern.

Parallel zum den Ausbaumaßnahmen von FLASH wird ein wichtiges Experiment bei FLASH installiert: das HHG-Seeding-Experiment sFLASH einschließlich einer eigenen Experimentierstation für hochauflösende Pump-Probe-Experimente. Dafür werden zurzeit etwa

40 Meter Strahlführung komplett umgebaut und mit vier neuen Undulatoren plus Diagnoseeinheiten und Strahlführungen für den Seed-Laser und die FEL-Strahlung bestückt. HHG bedeutet, dass mit einem konventionellen Laser höhere harmonische der Laserwellenlänge in einem Gastarget erzeugt werden. Diese HHG-Strahlung injiziert den FEL-Verstärkungsprozess in einem auf die Wellenlänge angepassten Undulator. Im Gegensatz zu SASE, bei der die Verstärkung von stochastischer Strahlung ausgehen muss, wird hier die Anregung definiert durch die höhere Harmonische des Seed-Lasers gegeben. Dadurch wird neben einer verbesserten Strahlqualität insbesondere der zeitliche Jitter zwischen Pump und Probe deutlich verbessert. Das Ziel wird sein, 10 fs zu erreichen. sFLASH wird von der Universität Hamburg zusammen mit DESY mit Unterstützung des BMBFs realisiert.

Weitere Maßnahmen zur Verbesserung der Strahlqualität und der Erhöhung der Zuverlässigkeit sind die Inbetriebnahme eines neuen modernen Lasersystems für den Photoinjektor, einen zweiten Master-HF-Oszillator, neue Korrekturmagnete mit sehr kleiner Remanenz im Injektor und vieles mehr.

Ein wichtiger Schritt zur Erhöhung der mittleren Brillanz ist die Erhöhung der Wiederholrate der Pulszüge von 5 auf 10 Hz. Auch die Photodiagnose wird verbessert: ein Online Spektrometer wird die Feinjustierung des Frequenzspektrums der FEL-Strahlung erheblich erleichtern. Auch wird es einen schnellen Spiegel geben, den Experimente nutzen können, um parallel an zwei Experimentierstationen zu arbeiten.

FLASH II

Eine Vorbereitungsphase für die im letzten Jahresbericht erstmalig erwähnte Erweiterung von FLASH um eine neue Undulatorstrahlführung, FLASH II, wurde offiziell genehmigt.

Neben der Bearbeitung von strahldynamischen Fragen wurden in Zusammenarbeit mit den technischen Gruppen Abschätzungen für den Ressourcenbedarf durchgeführt.

Die Synchrotronstrahlungsquelle PETRA III

Der Umbau PETRAs zu einer Synchrotronstrahlungsquelle war Mitte Februar abgeschlossen. Dazu musste unter anderem in den alten Achteln das Vakuumsystem der beiden Dämpfungswigglerstrecken komplettiert werden. Die 20 Dämpfungswiggler wurden alle in eine Parkposition gebracht, d. h. auf speziellen Vorrichtungen zur Ringinnenseite verschoben, so dass während der ersten Inbetriebnahmephase der Teilchenstrahl nicht von den Wigglern beeinflusst wurde. In der neuen Experimentierhalle wurden noch einige Girder sowie Undulatorvakuumkammern eingebaut und die üblichen Installationsarbeiten abgeschlossen. Darüber hinaus wurden 3 zwei Meter lange Undulatoren eingebaut.

Im Anschluss daran waren Anfang März noch umfangreiche Justagearbeiten notwendig, um die Girder mit der notwendigen Genauigkeit von 0.1 mm zueinander aufzustellen.

Ab Mitte März konnte dann das Personeninterlocksystem getestet und erfolgreich abgenommen werden. Aufgrund von Verzögerungen der Magnetstromtests konnte die Maschine zu diesem Zeitpunkt noch nicht in Betrieb genommen werden. Es war allerdings möglich Teilchen von DESY zu PETRA durch den Transportweg zu transferieren. Innerhalb von zwei Tagen war der Transportweg von DESY zu PETRA soweit optimiert, dass keine prinzipiellen Änderungen während des Jahres mehr notwendig waren. Die Magnetstromtests waren dann am 10.4.2009 abgeschlossen, so dass die Maschine vollständig in Betrieb genommen werden konnte. Nach drei Tagen hatte man den ersten Positronenstrahl mit einer Intensität von $20 \mu\text{A}$ gespeichert. In den folgenden Tagen wurden erste Untersuchungen der Maschine durchgeführt und sie soweit verbessert, dass am 22.4.2009 zum ersten Mal Teilchen akkumuliert werden konnten. Mit Hilfe des aus PETRA II stammenden transversalen Multibunch-Feedbacksystems war es

dann möglich bis zu 20 mA in 40 Bunchen zu speichern. Von da ab wurde parallel zur Inbetriebnahme der Druck im Vakuumsystem durch *Ausheizen* mit Synchrotronstrahlung während der Nachtschichten und an den Wochenenden sukzessive verbessert.

Zum Abschluss der ersten Betriebsperiode Ende April konnte auf einem Leuchtschirm in der zu Undulator 9 gehörigen Beamline zum ersten Mal Licht eines Undulators beobachtet werden.

Während der ersten Betriebsphase war schon sehr früh festgestellt worden, dass die horizontale Apertur der Maschine von ca. $8\pi \text{ mm mrad}$ deutlich kleiner als die Erwartung von $20\text{--}30\pi \text{ mm mrad}$ war. Die kleine Apertur führte zu erheblichen Strahlverlusten während der Injektion und diese wiederum zu einem relativ hohen Strahlungspegel in der neuen Experimentierhalle, der letztlich die Intensität des Teilchenstrahls im Speicherring limitierte. Ursachen für die kleine Apertur konnten sehr vielfältig sein, und eine genaue Untersuchung musste während der nächsten Phase durchgeführt werden. Darüber hinaus waren die Fortschritte während der ersten Phase noch nicht ausreichend, so dass der Speicherring auch in der zweiten Betriebsphase vom 20.5.2009 bis 22.6.2009 ohne Wiggler betrieben wurde.

Während der zweiten Betriebsperiode wurden die Prozeduren zur systematischen Untersuchung der Maschine wie z. B. Beam-Based Alignment zur Bestimmung der relativen Lage der Strahllagemonitore zum benachbarten Quadrupol, Orbit-Response-Matrix Messung zur Bestimmung der Optik des Speicherrings, ausgiebig getestet. Daraufhin war es dann möglich den Orbit sehr gut zu korrigieren und auch erste Ergebnisse hinsichtlich der Optik der Maschine zu erhalten. Während der ersten Phase wurde der Umfang bestimmt und die dazugehörige HF-Frequenz von 499 666 500 Hz

wurde jetzt eingestellt. Die dadurch erzielten Verbesserungen der Maschine führten allerdings nicht zu einer Vergrößerung der horizontalen Apertur. Obwohl die Ursache der kleinen horizontalen Apertur nach wie vor unklar war, hatte man zumindest einen Weg gefunden, die Strahlverluste deutlich zu reduzieren, indem man den Teilchenstrahlorbit in der Undulatorkammer der fünften DBA-Zelle, um ca. 6 nach innen legte. Damit war offensichtlich, dass das Problem im neuen Achtel lokalisiert war. Auf Grund der Strahlverschiebung in Zelle 5 waren die Strahlverluste niedrig genug, so dass man den Betrieb der Maschine mit Dämpfungswiggler in der folgenden Betriebsphase riskieren konnte.

Während der Betriebsunterbrechung vom 22.06.2009 bis 1.7.2009 wurden jeweils drei Wiggler im Westen und Norden aus der Parkposition in die Strahlposition bewegt.

Der Betrieb mit 6 Wiggler gestaltete sich völlig unproblematisch. Deshalb wurden zügig in zwei Schritten weitere Wiggler installiert. Am 22.7.2009 jeweils drei weitere im Norden und Westen und am 29.7.2009 weitere drei im Norden, so dass sich zum Ende dieser Betriebsperiode 15 Wiggler in Strahlposition befanden. Das Vakuumsystem in den Wigglerstrecken verhielt sich weitgehend wie erwartet. Nur die Temperaturerhöhung in Abhängigkeit des Strahlstroms war bei den beiden 4.5 m langen Absorbern im Westen wie im Norden stärker als erwartet. Bis zum Ende des Jahres konnte nicht mehr ermittelt werden, was zu dieser unerwartet hohen Erwärmung führt.

Der Ausbackbetrieb wurde jetzt im Mittel mit 30 mA durchgeführt und der bis dahin höchste Strom wurde am 30. Juli mit 48 mA erzielt.

Das Aperturproblem wurde weiter untersucht, und es wurde festgestellt, dass in allen geknickten DBA-Zellen die horizontale Apertur zu klein ist und die fünfte Zelle die kleinste Apertur aufweist. Des Weiteren stellte sich heraus, dass das Problem auf Höhe der Mitte der geknickten Undulatorkammern lokalisiert sein muss. Insofern konnte entweder ein Hindernis in der Vakuumkammer oder aber der in Mitte der geknickten Zelle befindliche Ablenkmagnet das Problem verursachen.

In der folgenden Betriebsunterbrechung Anfang August wurden deshalb Ersatzkammern vorbereitet, um eine geknickte Kammer auszubauen und im Detail auf ein Hindernis im Vakuumteil untersuchen zu können. Weitere Messungen wurden vorbereitet, um den Einfluss des oben erwähnten Ablenkmagneten auf die horizontale Apertur zu untersuchen. Während der Betriebsunterbrechung wurden die restlichen 5 Wiggler in die Strahlposition geschoben.

Der Wiederanlauf mit den zusätzlichen Wiggler gestaltete sich wie erwartet völlig ohne Probleme. Der Tausch der einen Undulatorkammer machte deutlich, dass das Aperturproblem nicht durch ein Hindernis im Vakuumsystem verursacht wird. Weitere Messungen zeigten allerdings, dass das Magnetfeld der kleinen Ablenkmagnete in der Mitte der geknickten DBA-Zellen eine sehr schlechte Qualität hat. Dies führte bei großen horizontalen Strahlauslenkungen zu so starken Änderungen des horizontalen Tunes, dass die ganze Zahl gekreuzt wurde und damit die Optik der Maschine zerstört wurde. Da teilweise die kleinen Dipolmagnete auch horizontal nicht genau genug aufgestellt worden waren, wurde das Problem der schlechten Feldqualität noch verschärft. Bis Ende September wurden diese Ablenkmagnete durch neue mit einer wesentlich besseren Feldqualität ersetzt. Danach betrug die gemessene Apertur ca. 25π mm mrad, was gut zu der Erwartung von $20\text{--}30 \pi$ mm mrad passt.

Von da an konnte die Maschine systematisch verbessert werden. Da parallel zu den Untersuchungen des Aperturproblems zahlreiche technische Komponenten in Betrieb genommen und Prozeduren getestet worden waren, konnten rasch Verbesserungen erzielt werden.

Zum einen ließ sich die Dispersion in der Maschine so weit korrigieren, dass mit Hilfe der Diagnosebeamline die horizontale Designemittanz von 1 nmrad nachgewiesen werden konnte. Die Optik der Maschine wurde in zwei Schritten korrigiert und die Störungen der Optik in der horizontalen Ebene waren danach kleiner als 3% und in der vertikalen kleiner als 2%. Diese Werte sind völlig ausreichend für den Routinebetrieb.

Des Weiteren wurde das neue Multibunch-Feedback-System mit einer Bandbreite von 60 MHz in Betrieb ge-

nommen. Durch die Stabilisierung des Strahls mit Hilfe des neuen transversalen Feedback-Systems konnte der Strahlstrom sukzessive gesteigert werden. Dabei stellte sich heraus, dass einige Synchrotronlichtabsorber und unter bestimmten Bedingungen auch einige Flanschverbindungen im neuen Achtel unerwartet heiß wurden, was den Strahlstrom auf ca. 60 mA begrenzte. Dieses Problem wurde durch Ersatz eines bestimmten Absorbertyps und durch Erhöhung des Wasserdurchflusses durch Austausch von Blenden im Wasserkühlkreis behoben. Bis zu Strömen von ca. 120 mA sollten die Vakuumkomponenten des neuen Achtel jetzt ausreichend gekühlt sein. Ende Oktober wurde auch noch das neue longitudinale Feedback in Betrieb genommen und es konnte ein Strom von 89 mA, der Designwert beträgt 100 mA, in 960 Bunchen gespeichert werden. Vermutlich wurden aber bei diesem Versuch mehr als die Hälfte der longitudinalen Feedbackverstärker beschädigt. Die Ursache für diesen Defekt konnte bis Jahresende leider nicht ermittelt werden.

Das Orbitfeedback, das zur Lagestabilisierung der Photonenstrahlen der Undulatoren notwendig ist, wurde im Oktober erfolgreich getestet. Die damit erzielte Lagestabilität des Positronenstrahls am Ort eines Undulators betrug horizontal etwa $2\ \mu\text{m}$ bei geforderten $14\ \mu\text{m}$ und vertikal $0.8\ \mu\text{m}$ bei geforderten $0.6\ \mu\text{m}$.

Studien zur Vorbereitung des Top-up Betriebs wurden ebenfalls durchgeführt. Die Steuerung des zeitlichen Ablaufs der entsprechenden Injektion und Ejektionen

wurde eingerichtet und erfolgreich getestet. Allerdings konnte der Top-up Modus bei geschlossenen Undulatoren nicht in Betrieb genommen werden, da das Streufeld des Septums zu erheblichen Orbitstörungen des gespeicherten Strahls bei Injektion führt, die oberhalb des durch das Orbitinterlock zulässigen Wertes liegen, so dass der Teilchenstrahl gedumpt wird. Aus diesem Grund wird das Septum während der Betriebsunterbrechung im Januar ausgetauscht. Weiterhin wird eine Elektronik entwickelt, die das Orbitinterlock während der Injektion für einige Millisekunden deaktiviert.

Im Laufe des vergangenen Jahres wurden nach und nach weitere Undulatoren installiert, so dass zum Ende des Jahres 10 von 14 Undulatoren eingebaut waren. Für drei Undulatoren konnte die erste Phase der Beamline Inbetriebnahme durchgeführt werden. Drei weitere Beamlines wurden vollständig in Betrieb genommen und an diesem wurden auch schon erste Experimente durchgeführt.

Zum Abschluss des Jahres wurde noch ein einwöchiger Probenutzerbetrieb durchgeführt. Dieser führte noch Probleme in der Bedienung der Maschine zu Tage und zeigte auch, dass es noch unverstandene Intensitätsschwankungen des Photonenstrahls gibt, die möglicherweise durch Lagebewegungen oder auch Strahlgrößen-schwankungen verursacht worden sein könnten. Leider reichte die Diagnostik bisher nicht aus, um sicher entscheiden zu können, was die Intensitätsschwankungen verursacht.



Freie-Elektronen-Röntgenlaser European XFEL

Übersicht

Das European XFEL-Projekt basiert auf einem supra-leitenden 20 GeV Elektronen-Linearbeschleuniger in der von der TESLA-Kollaboration erfolgreich entwickelten Technologie sowie dem SASE-FEL Prinzip zur Erzeugung von Photonenstrahlen extrem hoher Brillanz mit Wellenlängen im Ångström-Bereich. Sowohl die Beschleuniger-Technologie als auch das SASE-Prinzip sind an der VUV-FEL Anlage FLASH bei DESY (in kleinerem Maßstab und bei größeren Wellenlängen im Ultraviolett-Bereich) erfolgreich erprobt. Die XFEL Röntgenstrahlungsquelle der vierten Generation ermöglicht Untersuchungen mit räumlicher Auflösung im atomaren Bereich sowie zeitlicher Auflösung im Bereich der Dynamik chemischer Bindungen in Molekülen und wird einer Nutzer-Gemeinde aus zahlreichen wissenschaftlichen Disziplinen völlig neue Forschungsmöglichkeiten eröffnen. Die Finanzierung der Baukosten der Anlage liegt zu maximal 60% beim Bund und den Ländern Hamburg und Schleswig-Holstein, mindestens 40% sind von ausländischen Partnern zu erbringen.

Mit Unterzeichnung eines gemeinsamen Kommuniqués haben die Partnerstaaten am 5.06.2007 den offiziellen Start der XFEL-Anlage vollzogen und sich darauf verständigt, zunächst eine erste Ausbaustufe des XFEL mit Baukosten in Höhe von 850 Millionen Euro (Preisbasis 2005, verglichen mit 986 M€ für die im Entwurfsbericht TDR beschriebene Vollversion) zu errichten. Die Kostenreduktion bei dieser Start-Version wird durch eine anfängliche Reduktion von fünf auf drei Undulator-Strahllinien sowie eine Beschränkung des Beschleuniger-Ausbaus auf das für das Erreichen der Basis-Referenzparameter unbedingt erforderliche Maß erreicht (der TDR sieht auch Betriebsparameter

jenseits der Referenzwerte für den anfänglichen Betrieb vor). Ein späterer Ausbau der Anlage auf die TDR-Vollversion bleibt uneingeschränkt möglich.

Am 30. November 2009 unterzeichneten im Rahmen einer feierlichen Veranstaltung im Hamburger Rathaus 10 Partnerländer (Dänemark, Deutschland, Griechenland, Italien, Polen, Russland, Schweden, Schweiz, Slowakei und Ungarn) das Übereinkommen für den Bau und Betrieb der europäischen XFEL-Anlage. Damit ist auch die XFEL GmbH auf internationaler Basis etabliert. Frankreich und Spanien werden in den ersten Monaten des Jahres 2010 beitreten, China plant den Beitritt.

Baumaßnahmen

Die Trasse für den XFEL verläuft vom DESY-Gelände ausgehend in west-nordwestlicher Richtung bis zum



Abbildung 39: Blick auf die im Bau befindliche Halle für die Accelerator Module Test Facility (AMTF) im Herbst 2009.

neuen Forschungsgelände in Schenefeld über eine Länge von ca. 3,4 km und in einer Tiefe von ca. 10–30 m. Die im Januar 2009 begonnenen Tiefbauarbeiten sind weitestgehend plangemäß verlaufen und der Aushub der Baugruben für die verschiedenen Schachtbauwerke und die unterirdische Experimentierhalle ist bereits in erheblichem Umfang erfolgt. Im Juli 2009 erfolgte die Grundsteinlegung für die 4000 m² große Halle, in der später die Tests der supraleitenden Cavities, der kompletten Beschleunigermodule und der Hochfrequenz-Wellenleiterverteilung stattfinden. Zum Ende des Berichtszeitraums war die Errichtung der Halle bereits weit fortgeschritten (siehe Abbildung 39).

Entwicklungsarbeiten und Industrialisierung

Neben der Fortsetzung von Entwicklungsarbeiten rückt die Vorbereitung und Durchführung von Ausschreibungsverfahren für die Serienfertigung der Beschleunigerkomponenten zunehmend ins Blickfeld.

Im April 2009 wurde ein Modul-Kryostat Prototyp (äußerer Vakuumtank und innere sog. *kalte Masse* vom IHEP-Beijing an DESY geliefert und mit industriell gefertigten und bei DESY endbehandelten supraleitenden Resonatoren zu einem vollständigen Beschleunigermodul zusammengebaut. Dieses erste XFEL Prototyp-Modul (PXFEL1) zeigte bei Tests auf dem CMTB (*cryo module test bench*, siehe Abbildung 40) mit einem durchschnittlichen Gradienten von über 30 MV/m ausgezeichnete Resultate. Das PXFEL1 wurde später als siebtes Beschleunigermodul bei FLASH eingebaut und wird dort nach Ende des Shutdowns eine Energie-Erhöhung auf 1,2 GeV ermöglichen. Zwei weitere Modul-Kryostat Prototypen wurden von einer spanischen bzw. französischen Firma geliefert und werden im ersten Halbjahr 2010 zu vollständigen Modulen PXFEL2 bzw. PXFEL3 ergänzt und getestet.

Im Juli 2009 wurde das Ausschreibungsverfahren für die Fertigung und Oberflächenbehandlung der 800 Niob-Seriencavities eröffnet, die DESY gemeinsam



Abbildung 40: Der Beschleunigermodul-Prototyp PXFEL1 auf dem Teststand CMTB.

mit INFN Milano zum Projekt beiträgt. Die Angebote der beiden für diese anspruchsvolle Aufgabe qualifizierten Firmen wurden im November 2009 abgegeben. Zum Ende des Berichtszeitraums waren die Verhandlungen mit den Firmen über die Konditionen für eine Auftragserteilung noch nicht abgeschlossen.

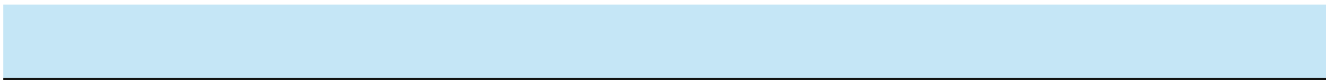
Beim Photoinjektor-Teststand (PITZ) in Zeuthen konnte mit dem vom Max-Born-Institut gebauten verbesserten Kathoden-Laser eine weitere Verbesserung der Elektronenstrahl-Qualität nachgewiesen werden. Diese Ergebnisse sowie die äußerst positive erste Betriebserfahrung bei der LCLS Röntgen-FEL Anlage beim SLAC lassen erwarten, dass beim XFEL eine Photonenstrahl-Qualität jenseits der ursprünglichen Entwurfsparameter möglich sein wird.

Beschleuniger-Konsortium

Während die XFEL GmbH die Gesamtprojektleitung und -überwachung sowie die Konzeption und den Bau der Photonenstrahl-Systeme und Experimentiereinrichtungen übernimmt, kommt DESY als Koordinator des *Accelerator Consortiums* bei der Organisation und Durchführung des Baus der Beschleunigeranlage eine besondere Rolle zu. Bei den Partner-Instituten im Konsortium gehen die vorbereitenden Arbeiten für die Erbringung ihrer Sachbeiträge zum Beschleuniger-

komplex gut voran. Einige Beispiele: Auf dem Gelände von CEA in Saclay wurde die Infrastruktur für den Zusammenbau der Cavity-Strings unter Reinraumbedingungen sowie die Endmontage der kompletten Module im November 2009 fertig gestellt. Beim LAL in Orsay befindet sich die Anlage für das Konditionieren und den Test der Hochfrequenz-Leistungskoppler im Aufbau. INFN/Milano ist mit dem Design des supraleitenden 3rd-harmonic Moduls betraut und CIE-

MAT/Madrid hat erste Prototypen für die supraleitenden Quadrupole des XFEL-Linacs hergestellt. Beim IHEP/Protvino, BINP/Novosibirsk sowie der Technischen Universität Wroclaw wurde mit Entwurfsarbeiten für kryogenische Komponenten begonnen. Beim PSI/Villigen schreitet in Zusammenarbeit mit DESY die Entwicklung für hochpräzise Strahlage-Monitore voran und Prototypen wurden bei FLASH eingebaut, um in 2010 Strahltests durchzuführen.



Aktivitäten in Zeuthen

PITZ

Die Arbeiten am Photo-Injektor-Teststand in Zeuthen im Jahr 2009 waren vor allem durch den Betrieb der Anlage dominiert. Schließlich konnte eine Vielzahl interessanter Ergebnisse erzielt werden, doch zunächst waren mehrere Probleme zu lösen. So zeigte sich z. B. während des Betriebes eine unsymmetrische Elektronenstrahlverteilung. Dieses Problem ließ sich nach einer Reihe von Messungen und Simulationen größtenteils auf magnetisierbare Anbauten und Schrauben zurückführen, die in der Folge abgebaut oder durch nicht-magnetisierbare Komponenten ersetzt wurden. Ein weiteres Hauptproblem war der Transport des Laserstrahls vom Lasersystem auf die Photokathode. Nach verschiedenen Studien konnte neben der Modifikation des transversalen Laserprofils durch Strahlteilerplatten insbesondere der gravierende Einfluss des Vakuuminnenspiegels festgestellt werden. Dieser Spiegel im Vakuumsystem ist die letzte Komponente, die den Laserstrahl auf die Photokathode umlenkt. Tests mit verschiedenen Laserspiegeln von verschiedenen Herstellern zeigten, dass die Qualität der Laserreflexion extrem unterschiedlich ist. Selbst Spiegel des gleichen Herstellers zeigten deutlich unterschiedliche Qualität. Nach dem Austausch des bisher verwendeten Vakuuminnenspiegels gegen den besten vorhandenen Spiegel konnte die Qualität des auf die Photokathode einfallenden Laserstrahls und damit die Elektronenstrahlqualität signifikant verbessert werden.

Ein weiteres wichtiges Problem ist die Hochfrequenzregelung für den Betrieb mit einem Beschleunigungsgradienten an der Photokathode von 60 MV/m. Bisher werden die bei DESY gebauten RF-Guns ohne RF-Pickup gefertigt, so dass die Amplitude und Phase der RF-Welle in der Kavität aus der Messung der ein- und

auslaufenden RF-Welle bestimmt werden muss. Während dies bei FLASH mit Beschleunigungsgradienten an der Photokathode von ca. 40 MV/m gut funktioniert, erfordert die Nichtverfügbarkeit von 10 MW HF-Vakuum-Fenstern die Verwendung eines T-Combiners (Kombination von $2 \times \leq 5$ MW aus den beiden Ausgangsarmen des 10 MW Klystrons) und zweier RF-Richtkoppler außerhalb des Vakuumsystems, um damit den Betrieb bei 60 MV/m zu ermöglichen. Aufgrund der fehlenden RF-Regelung mussten die Messungen im Jahr 2009 mit sehr starken Schwankungen der RF-Phase durchgeführt werden: z. B. wurden für 600 Messungen der RF-Phase Fluktuationen im Bereich von 10 bis 15 Grad Peak-to-Peak oder 2 bis 4 Grad RMS beobachtet. Darüber hinaus wurde auch eine Änderung der RF-Phase über den RF-Puls von etwa 5 Grad über 40 μ s festgestellt.

Im Berichtszeitraum wurde das Photokathodenlasersystem weiter ausgebaut, um Laserpulse mit flachem Pulsdach mit bis zu 24 ps FWHM zu erzeugen. Auch wurde eine Reihe von Untersuchungen unter Verwendung verschiedener Lyotfilter durchgeführt, um hochfrequente Fluktuationen auf dem flachen Pulsdach zu unterdrücken. Darüber hinaus wurde die Bedienbarkeit verbessert und die Laserstrahl Diagnose ausgebaut.

Im Jahr 2009 wurde auch das Verfahren zur Messung der transversalen projizierten Emittanz weiter verbessert. Insbesondere wurde die Messzeit signifikant reduziert. Aufgrund der großen Instabilität der RF-Phase hat diese Beschleunigung der Datennahme den wichtigen Effekt, die Vermischung der Phasenräume für verschiedene RF-Phasen innerhalb einer Messung zu reduzieren. Aufgrund der reduzierten Messzeit kann auch eine größere Statistik an Messungen gewonnen werden, und die neue Datennahmesoftware erlaubt es unmittelbar nach der Datennahme die Datenqualität

(Signal/Untergrund-Verhältnis, Sättigung des Signals) abzuschätzen und ggf. die Messung schnell mit einer größeren oder kleineren Anzahl von Photokathodenlaserpulsen zu wiederholen. Auch die Methode zur Bestimmung der Emittanz wurde überarbeitet und trotz konservativer Abschätzung konnte bei PITZ erstmals gezeigt werden, dass man die Zielparame-ter des European XFEL erreichen kann.

Die beste Messung der transversalen projizierten Emittanz für eine Elektronenpaketladung von 1 nC ergab in 4 aufeinander folgenden Messungen im geometrischen Mittel der beiden transversalen Ebenen (x und y) und im statistischen Mittel der Messungen für 100% der gemessenen Ladung

$$\epsilon_{xy}(100\%) = (0.886 \pm 0.011) \text{ mm mrad.}$$

Wenn nur z. B. 10% der Ladung in den Ausläufern des transversalen Phasenraums entfernt werden, die wahrscheinlich nicht zum Lasing-Prozess des XFEL beitragen werden, dann verringert sich die Emittanz sogar auf

$$\epsilon_{xy}(90\%) = (0.681 \pm 0.010) \text{ mm mrad.}$$

Beide Werte liegen unter der Zielvorgabe von 0.9 mm mrad für die projizierte Emittanz im Injektor des European XFEL.

Auch bei kleineren Ladungen wurden ausgezeichnete Emittanz-Ergebnisse erzielt. Diese sind in Abbildung 41 zusammengefasst.

Festgelegt durch den Termin zur Bereitstellung der Gun 4.2 für FLASH begann am 19. Oktober 2009 der nächste große PITZ-Shutdown. Am 16. Dezember erfolgte der Transport der Gun 4.2 von Zeuthen nach Hamburg. Im Januar 2010 soll sie in FLASH eingebaut werden.

Als Austausch für die an FLASH gelieferte Gun wird in Zeuthen die Gun 4.1 installiert. Diese ist baugleich zu Gun 4.2 und mit Trockeneis gereinigt worden. Es wird sich nun experimentell zeigen, ob man erneut einen geringen Dunkelstrom messen wird, wie das bereits bei Gun 4.2 der Fall war. Eine entscheidende Ände-

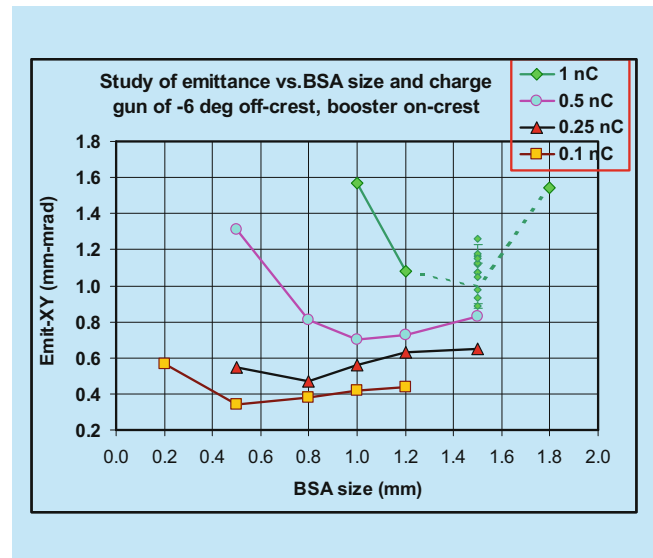


Abbildung 41: Die projizierte Emittanz als Funktion der Laserspotgröße auf der Photokathode für verschiedene Elektronenpaketladungen. Dargestellt sind die 100%-RMS-Messwerte. Die 90%-RMS-Messwerte liegen um ca. 20–25% niedriger.

rung gegenüber Gun 4.2 besteht bei Gun 4.1 darin, dass in das Vakuumzwischenstück zwischen T-Combiner und koaxialem RF-Koppler nun ein 10 MW Vakuum-Richtkoppler integriert ist. Dies ist ein weltweit einmaliger Prototyp der, falls er technisch funktioniert, erstmals eine RF-Regelung bei 60 MV/m im gleichen Stil ermöglichen sollte, wie diese bei FLASH für 40 MV/m realisiert ist. Mit dieser Änderung lassen sich im Jahr 2010 noch weitere Verbesserungen der Strahlqualität erwarten. Zum Jahresende 2009 war die neue Gun 4.1 bereits im PITZ-Tunnel eingebaut, mit Heißdampf ausgeheizt und zeigte sehr gutes Vakuum.

Aufgrund technischer Probleme bei der Fertigung hat sich die Lieferung des CDS-Booster über das Jahr 2009 hinaus weiter verzögert. Es ist geplant ihn im Februar 2010 nach Zeuthen zu transportieren, dort auszuheizen und dann anschließend bei PITZ einzubauen.

Die dritte große Komponente, die im Shutdown (2009/2010) eingebaut werden wird, ist das Phasenraum-Tomographiemodul.

FLASH

Schnelle Spiegelkammer für FLASH

Das bei FLASH erzeugte Laserlicht im Wellenlängenbereich von 6 nm bis 30 nm wird mit Hilfe verschiedener Spiegel, die in der Experimentierhalle von FLASH aufgestellt sind, auf die einzelnen Experimente verteilt. Soll nach Tagen oder Wochen eine andere Messstation bestrahlt werden, so ist eine zeitaufwendige Prozedur zur Einstellung der Siliziumspiegel nötig. Da viele Experimente auch mit einer niedrigeren Zugfrequenz als 10 Hz des Strahls zufrieden wären, wurde eine sogenannte *Schnelle Spiegelkammer* konzipiert (Abbildung 42).

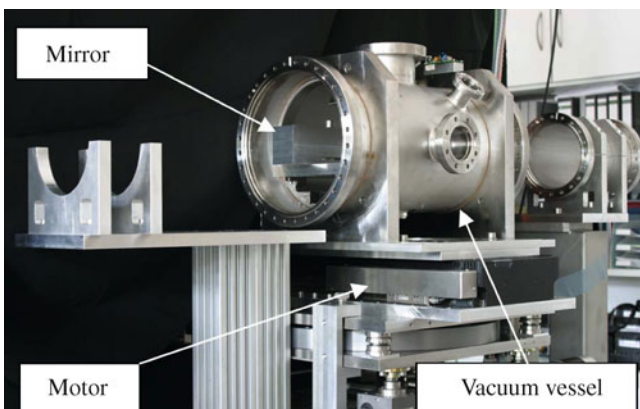


Abbildung 42: *Vakuumkammer mit Spiegel; zur besseren Anschauung wurden die Bälge und Flansche entfernt.*

Hierbei wird die gesamte Vakuumkammer mit innerem Spiegel bis zu 2.5 Hz mit einem Hub von 30 mm periodisch bewegt.

Die eigentliche Herausforderung liegt in der hochpräzisen Steuerung der Spiegelbewegung. Der Endpunkt, an dem der Strahl um insgesamt sechs Grad abgelenkt wird, muss zeitlich und örtlich genauestens getroffen werden. In Abbildung 43 wird die Genauigkeit der Endposition beschrieben, die unter einem μm gehalten werden kann.

Nachdem unter realistischen Bedingungen im Labor die erforderlichen Genauigkeiten der Spiegellage erreicht

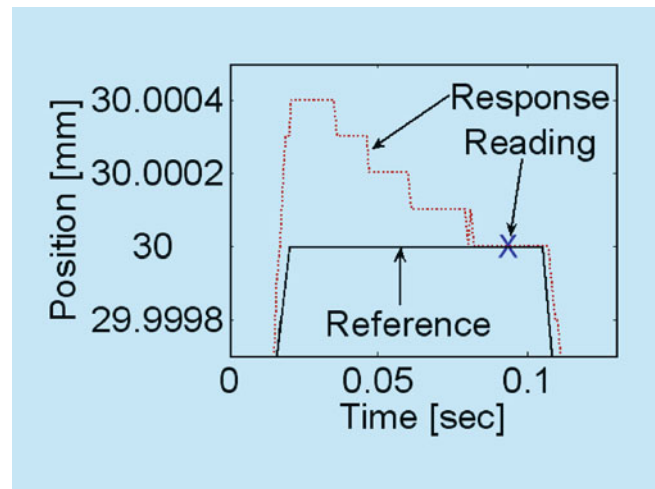


Abbildung 43: *Fehler der Endlage des Spiegels.*

wurden, wird im Januar 2010 die Schnelle Spiegelkammer am Beschleuniger FLASH eingebaut.

Bestimmung der Strahlparameter mit einem Ionisation Profile Monitor

Die genaue Kenntnis der Strahlage und des Strahlprofils ist eine grundlegende Forderung, die an einem Beschleuniger entlang der gesamten Strahlführung erfüllt werden muss. Mit einem Ionisation Profile Monitor (IPM) ist eine mögliche Detektorvariante, die zu realisieren. Das Grundprinzip dieses Detektors basiert auf der durch den Teilchenstrahl erfolgten Ionisation des Restgases, das sich auch im Ultrahochvakuum der Strahlröhre befindet. Die dabei entstehenden Ionen werden in einem homogenen elektrischen Feld seitlich auf eine Mikrokanalplatte beschleunigt. Das Abbild des Strahls auf dem Phosphorschirm der Mikrokanalplatte wird mit einer CCD Kamera aufgenommen, in einen Rechner eingelesen und weiter ausgewertet. Auf diese Weise gestattet der IPM die Messung der Strahlparameter ohne Beeinflussung des Strahls und somit eine Optimierung bzw. Anpassung der Maschinenparameter im laufenden Betrieb. Dies wurde am Beschleuniger FLASH in Hamburg erfolgreich getestet. Am Teststand PITZ soll ein IPM im Jahre 2010

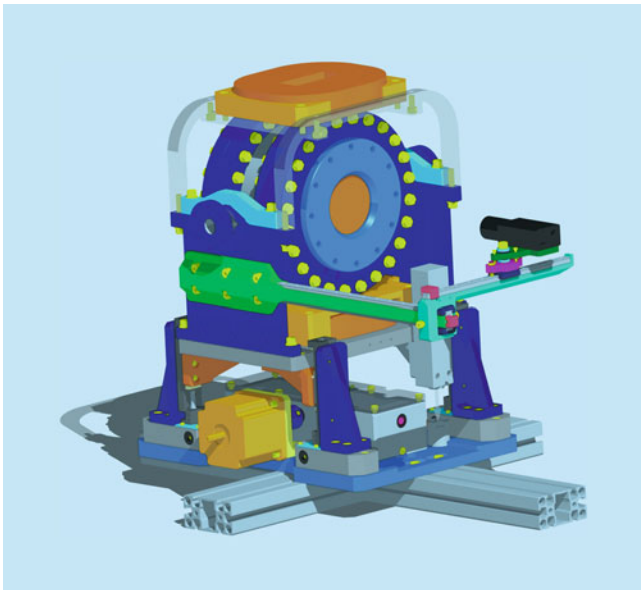


Abbildung 44: *Hubtisch mit Ionisation Profile Monitor.*

eingebaut werden. Hierfür war eine modifizierte Konstruktion erforderlich. Es wurde mit einem speziellen Programmpaket der elektrische Feldverlauf berechnet, um optimale Feldverteilungen zu erreichen. Um verschiedenen Strahlpositionen zu simulieren, soll der IPM in einer eigens dafür konstruierten Hubvorrichtung (Abbildung 44) installiert werden.

Die hohe Verstellgenauigkeit von besser als ein μm gestattet es, durch eine vertikale Variation der Detektorlage bei fixiertem Elektronenstrahl einer Elektronenröhre die Relation *Ort des Strahls* gegen *Abbildung des Strahls* auf der Multikanalplatte zu bestimmen.

Test eines UHV tauglichen Motors

Es wurde ein neuartiger, UHV (Ultra-Hoch-Vakuum) tauglicher Linearmotor getestet. Beim Einsatz derartiger Motoren werden der Motor und andere bewegliche Teile im Vakuum aufgebaut. Die Wartungsintervalle verlängern sich dadurch um ein Vielfaches. So muss der Motor nur alle 22 000 Betriebsstunden gewechselt werden. Bei der herkömmlichen Technik werden Bewegungen mittels Wellbälgen in den Vakuumbereich

übertragen, daher muss der Balg alle 500 000 Hübe (ca. 140 Stunden bei 1 Hz) gewechselt werden. Die Ergebnisse der Versuche waren positiv. Sie haben gezeigt, dass es prinzipiell möglich ist, mit entsprechendem technischem Aufwand konstante, hohe Geschwindigkeiten zu erreichen.

Modulator Test Facility (MTF)

Nach der Verlegung HV-Pulskabels ($4 \times 627 \text{ m}$) und der erfolgreichen Installation des Modulators Ende 2008 begannen umfangreiche Testarbeiten, wobei unter anderem das Zusammenspiel von THOMSON Modulator und 5 MW Klystron untersucht wurde.

Im Juli wurden die Tests mit dem 5 MW Klystron abgeschlossen, im Oktober erfolgte der Umbau der Testanlage für den Betrieb mit dem 10 MW Klystron (siehe Abbildung 45).

Die Untersuchungen zum Betrieb des THOMSON Modulators mit einem 5 MW Klystron haben gezeigt, dass:

1. der von Thomson Multimedia entwickelte und gebaute Prototyp erfüllt die geforderte Spezifikation bei 5-MW-Ausgangsleistung bis zu einer Pulsrate von 10 Hz.
2. der Modulator-Prototyp funktioniert auch bei angeschlossenem Pulskabel von 675 m Länge (XFEL-Setup) im Rahmen der Spezifikation

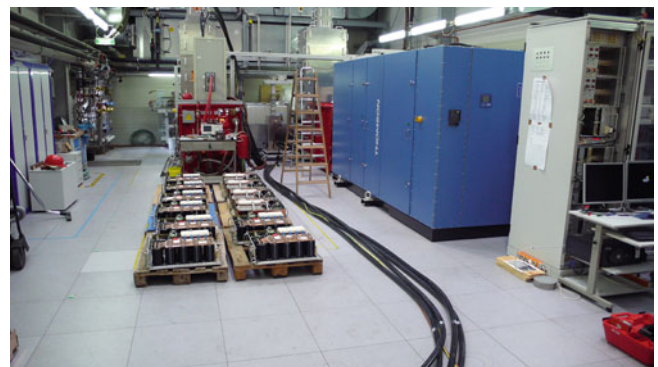


Abbildung 45: *Umsetzen des THOMSON Modulators zur Vorbereitung der Tests mit dem 10 MW Klystron.*

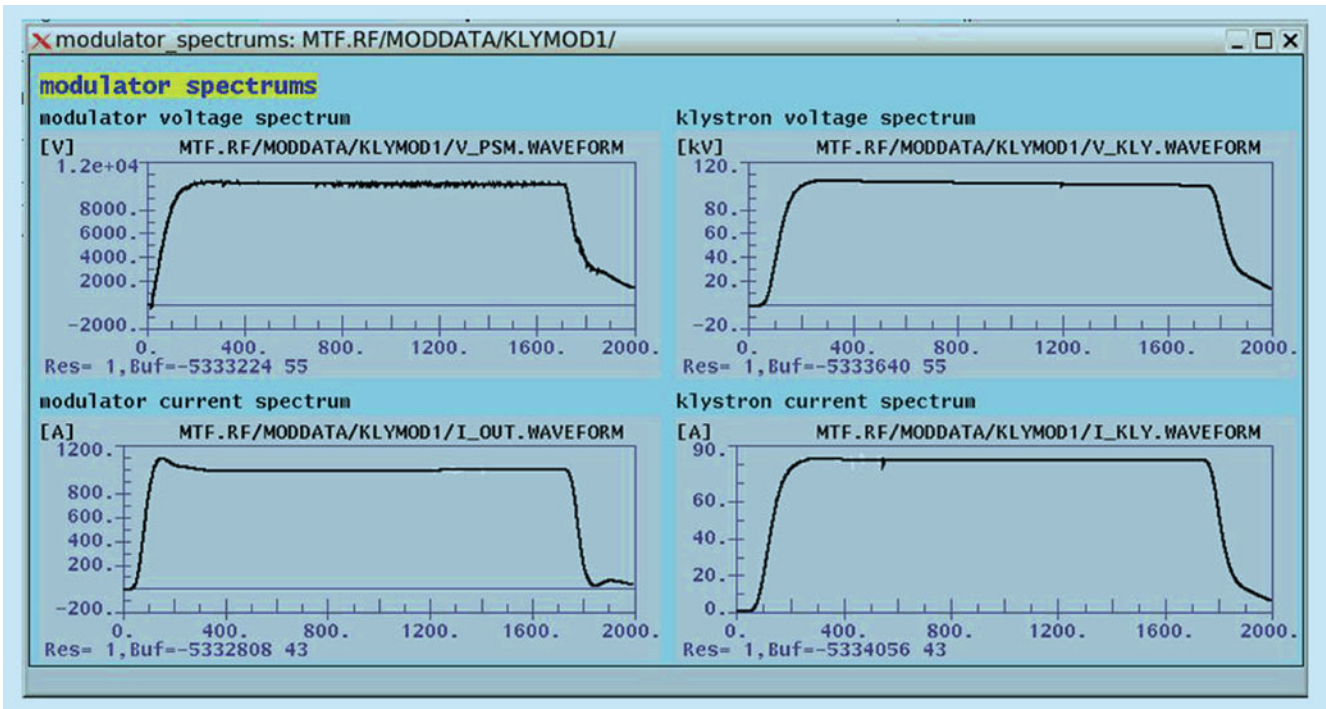
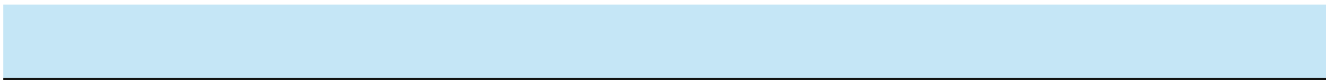


Abbildung 46: Messergebnisse mit einem 5 MW Klystron.

3. die *Flatness* der Strom- und Spannungspulse (gemessen an der Kathode des angeschlossenen Klystrons) ist besser als $\pm 0.3\%$ und erfüllt damit ebenfalls die Spezifikation. Da die Phase des im Klystron verstärkten HF-Pulses von der Genauigkeit der Hochspannung am Klystron abhängt,

ist die Einhaltung dieses Parameters besonders wichtig.

Nach Umbau des Teststandes müssen im Jahre 2010 alle diese Messungen bei 10 MW Pulsleistung und bei einer Pulsrate bis 30 Hz wiederholt werden.



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.

Erste experimentelle Überprüfung des Impedanzmodells von PETRA III

Nach der Inbetriebnahme der Synchrotronlichtquelle PETRA III bot sich die Gelegenheit das Impedanzmodell, das in den vergangenen Jahren entwickelt worden ist, zum ersten Male einer experimentelle Überprüfung zu unterziehen. Dazu wurde die Abhängigkeit der Betatron tunes von der Einzelbunchintensität gemessen. Abbildung 47 zeigt die Messwerte, sowie eine Ausgleichsgrade durch die Messpunkte vom 14.08.2009.

Die Messung ergab eine Tuneverschiebung von 0.23 kHz/mA in der horizontalen Ebene und von 1.05 kHz/mA in der vertikalen Ebene. Damit wurde verifiziert, dass die Impedanz von PETRA III die vorgegebenen Spezifikationen erfüllt und Einzelbunchströme von 2.5 mA gespeichert werden können. Die theoretische Vorhersage für die Betatron tuneverschiebung stimmt relativ gut mit den experimentellen Ergebnissen überein (13% bzw. 23% Abweichung).

Strahldynamik des 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 (Montag, 14:00, Raum 459, Geb. 30b). Beiträge, Tagesordnungen und weiteres befinden sich auf der Web-Seite: <http://www.desy.de/xfel-beam>.

FLASH

Start-to-End Simulationen für FLASH

Nach dem Anlauf im Frühling 2010 mit dem neuen 3.9 GHz HF-System werden sich die Strahlen longitudinal kontrollierter komprimieren lassen und ein wesentlich größerer Teil der Teilchen wird zur Erzeugung des Röntgenlaserlichts beitragen. Die Optimierung dieser Betriebsart verlangt Simulationen des Strahltransports von der Kathode der Elektronenkanone bis zum Undulator (Start-to-End Simulationen). Diese Rechnungen (Abbildung 48) sind für geringere Einzel-Bunch-Ladungen bei FLASH als die nominellen 1 nC durchgeführt worden (0.5 nC bis 20 pC), mit denen die Erzeugung äußerst kurzer Photonenpulse möglich ist (30 fs bis 2 fs).

Untersuchungen zum Einfluss der Koppler-Kicks bei FLASH zeigen eine teilweise Kompensation der Aufweitung der effektiven Strahlgröße im ersten HF-Modul und dem 3.9 GHz-System (Abbildung 49).

Die Stärke der Micro-Bunching-Instabilität bei FLASH ist berechnet worden. Im niederenergetischen Bereich

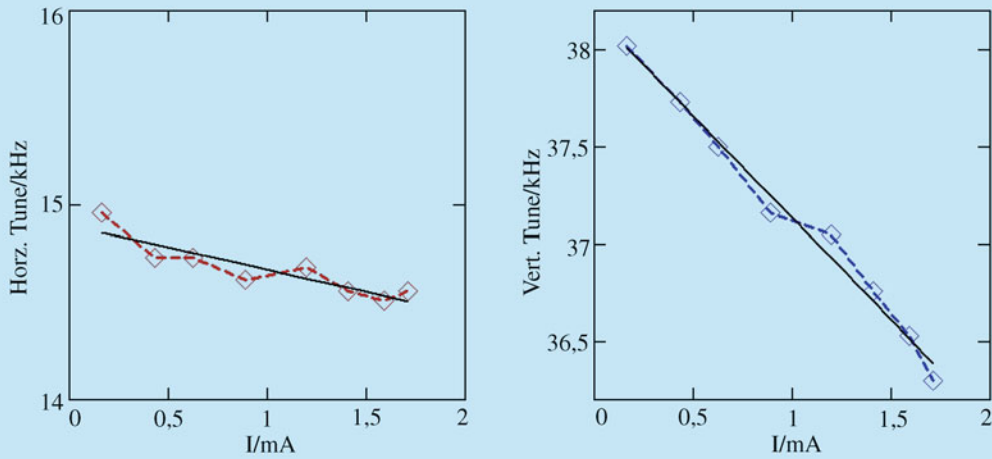
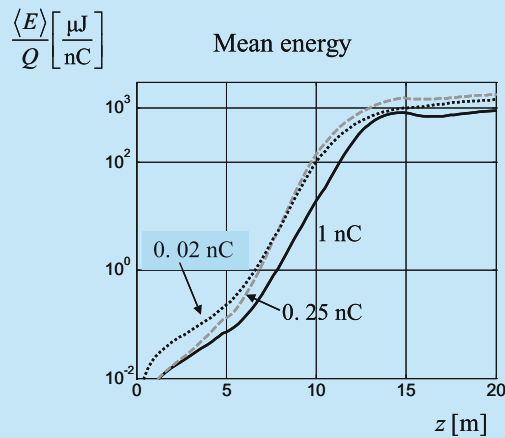


Abbildung 47: Horizontale (links) und vertikale (rechts) Tuneverschiebung in Abhängigkeit des Einzelbunchstroms.



Bunch Ladung [nC]	1	0.5	0.25	0.1	0.02
Mittlere Photonenpuls-Energie [mJ]	1000-1400	700	500	200	30
Photonen-Puls-Dauer (FWHM) [fs]	70	30	17	7	2

Abbildung 48: Oben: Mittlere Energie im Photonenpuls pro Ladung entlang des Undulators bei FLASH für verschiedene Bunch-Ladungen (1 nC, 0.25 nC und 20 pC). Der SASE-Laserprozess erreicht nach exponentieller Verstärkung auf etwa der halben Undulatorlänge das stabile Sättigungsregime. Darunter eine Tabelle mit Photonenpuls-Energie und Photonenpuls-Dauer.

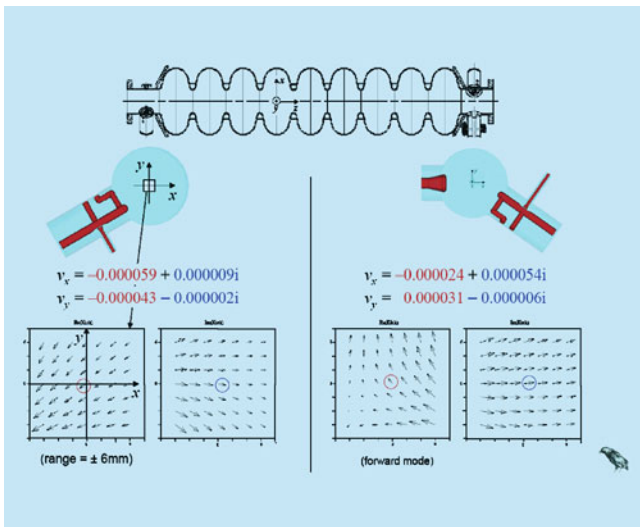


Abbildung 49: Wirkung der elektromagnetischen Felder auf den Strahl im Bereich der HF-Einkoppler und der HOM-Koppler.

werden Strahl-Intensitäts-Modulationen bedämpft, was etwa die mögliche Verstärkung im hochenergetischen Bereich kompensiert (Abbildung 50).

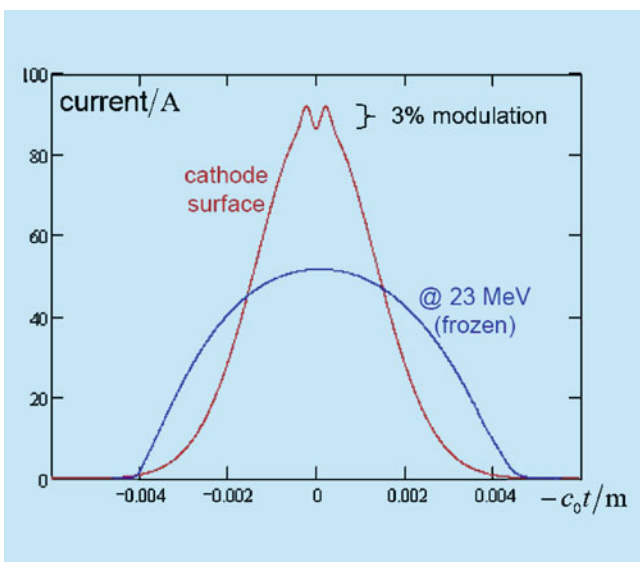


Abbildung 50: Simulation der Beschleunigung eines Strahls mit anfänglicher Modulation (3%) bei FLASH: beim Erreichen einer Strahlenergie von 23 MeV ist die Modulation verschwunden (blaue Kurve).

Untersuchungen zur Elektronenstrahldispersion in FLASH

Eine Doktorarbeit, die die Entstehung von Elektronenstrahldispersion, ihren Einfluss auf den SASE-Prozess und ihre Korrektur untersucht, ist fertiggestellt worden. Die folgende Grafik zeigt die Simulation einer bei FLASH angewandten Methode zum Feinjustie-

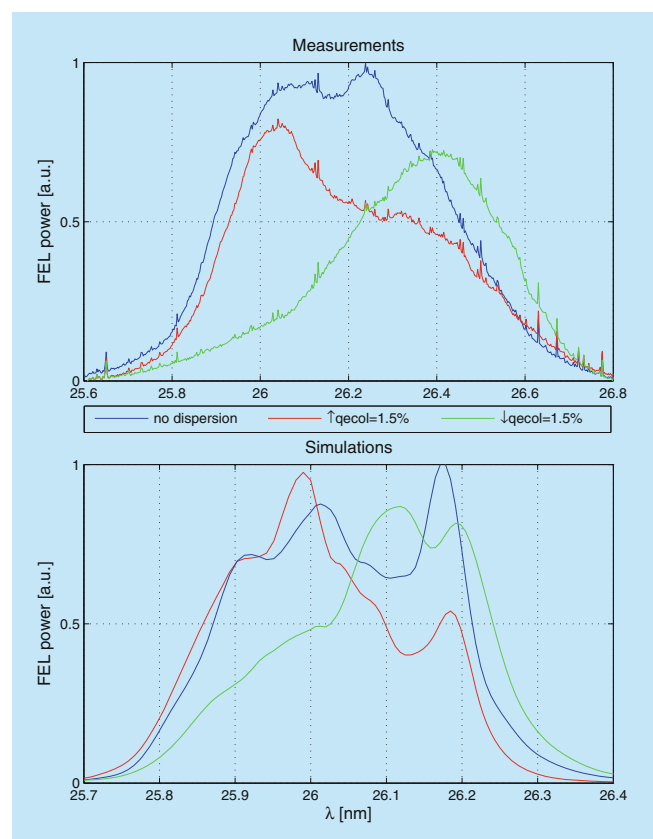


Abbildung 51: Messung (oberes Bild) und Simulationsergebnisse (unteres Bild) für die Abhängigkeit des SASE-Spektrums bei FLASH von der Stärke eines Quadrupolmagneten (QECOL) in der sogenannten dogleg-Sektion. Auf der horizontalen Achse ist die Laser-Wellenlänge aufgetragen, auf der vertikalen die SASE-Intensität in relativen Einheiten. Für die blaue Kurve hat der Quadrupolmagnet seinen Sollwert und die Dispersion am Ende der dogleg-Sektion ist exakt abgeschlossen. Die rote und grüne Kurven sind Spektren, die man bei Abweichungen der Magnetstärke vom Sollwert ($\pm 1.5\%$) erhält.

ren der Wellenlänge: durch Änderung der Stärke eines Quadrupolmagneten in einer dispersiven Sektion (dem sogenannten *dogleg*) wird die Stördispersion in den nachfolgenden Undulatormagneten beeinflusst und so die Laser-Wellenlänge verschoben.

Dieser Effekt würde bei einem idealisierten Gaußförmigen Strahl nicht auftreten; es konnte jedoch im Rahmen der Doktorarbeit gezeigt werden, dass für realistische, durch sogenannte *Start-to-End* Simulationen berechnete Strahlverteilungen die Messungen bei FLASH (Abbildung 51, oberes Bild) durch die Simulation des SASE Laserprozesses gut vorhergesagt werden (Abbildung 51, unteres Bild).

FLASH II

Für die Verwendung von FLASH II im sogenannten seeding mode ist die Optimierung unter Berücksichtigung der Effekte, die von kohärenter Synchrotronstrahlung (CSR) herrühren, weitergeführt worden. Prinzipielle optische Lösungen, die die Emittanzaufweitung durch CSR-Effekte genügend begrenzen, sind entwickelt worden; der elektronenoptische Übergang vom FLASH Linac in den Bogen steht noch aus.

European XFEL

Untersuchungen zur elektronenstrahlbasierten Ausrichtung der Undulator-Sektionen

Die extremen Aufstellgenauigkeitsanforderungen an die Strahlführungsmagnete der Undulator-Sektionen können mit klassischen Methoden der optischen Vermessungen nicht erreicht werden und erfordern elektronenstrahlbasierte Methoden.

Hierzu wird die Energie des einlaufenden Strahles verändert und die damit verbundene Änderung der Strahlposition – gemessen an den Strahlpositionsmotoren – beobachtet. Ein perfekt aufgestelltes Strahlführungssystem zeigt hierbei selbst bei großen Ener-

gieänderungen keine Variation der Strahlposition, oder anders herum aus einer Änderung der Strahlposition kann auf eventuell nicht perfekt aufgestellte Strahlführungselemente geschlossen werden. Die erreichbare Genauigkeit hängt vom Auflösungsvermögen der Strahlpositionsmonitore und der Amplitude der Energieänderung ab, während die benötigte Genauigkeit von der Effektivität des SASE Prozesses bestimmt wird.

Hierzu wurden numerische Studien zusammen mit der Strahldynamik Gruppe des CANDLE Institutes in Armenien durchgeführt. Dabei wurden zum einen die erwarteten Aufstellgenauigkeiten der Elemente sowie das Auflösungsvermögen der Monitore berücksichtigt und zum anderen den Effekt auf den SASE Strahl simuliert. Dies führte zu Spezifikationen für das Monitorsystem sowie die nötige Energieänderung.

Optimierung der Elektronen-Strahlverteilung

Kicker-Septum System

Eine der besonderen Eigenschaften des European XFEL ist die Möglichkeit der schnellen Verteilung von Elektronenpaketen zu verschiedenen Undulatoren. Diese Verteilung wird mit einem so genannten Kicker-Septum Schema realisiert. In einem internen Review wurde die Technologie-Entscheidung für ein robustes Lambertson-Septum getroffen. Die mit dieser Lösung verbundenen strahldynamischen Schwierigkeiten konnten im Laufe des Jahres gelöst werden. Allerdings mussten dazu neue numerische Werkzeuge entwickelt werden, die zum einen die Komplexe horizontal und vertikal gekoppelte Geometrie berücksichtigen, und außerdem gedrehte Multipole korrekt behandeln.

Optimierung der Strahlführungsbögen

Berechnungen der Micro-Bunching-Instabilität zeigten, dass die longitudinal Dispersion (R56) der Bögen im Strahlverteilungssystem möglichst null sein sollte. Die Bögen sind daraufhin mit dem gewünschten Ergebnis überarbeitet worden.

Der Einfluss der kohärenten Synchrotronstrahlung in den Bögen auf die Energieverteilung im Strahl ist untersucht worden. Es wird ein nichtlinearer *chirp* von wenigen MeV induziert, der klein gegen die vorhandenen Energieablagen zum Beispiel durch Wake-Felder ist, aber sich auch nicht durch Optimierung von Magnetverteilung und Dispersion signifikant reduzieren lässt.

Injektor

Stärkere Beschleunigung im ersten HF-Modul

Die anfängliche Beschleunigung des Strahls in den ersten vier Kavitäten erfolgte bisher bei relativ niedrigen Gradienten, bestimmt durch ein Kriterium dass mit dem Erreichen optimaler Strahlgröße verknüpft zu sein schien. Eine Studie zeigt, dass aus anderen Gründen erwünschte höhere Beschleunigungsgradienten möglich sind, ohne dass die Strahlqualität leidet, lediglich die Population der *Schwänze* der Strahlverteilung steigt geringfügig an.

Chromatische Optimierung der Injektor-Strahlführung

Im dreistufigen Bunch-Kompressionssystem muss der Injektor in der Lage sein, Strahlen mit Energieunterschieden der Teilchen von bis zu 2% (RMS) ohne Einbuße von Strahlqualität zu transportieren. Nach sorgfältiger Optimierung der Optik konnte das Anwachsen der effektiven Strahlgröße auf 5% beschränkt werden.

Datenbank für ein Impedanz-Budget

Die Datenbank wird weiterhin mit den Wake-Feldern der Komponenten der XFEL Vakuumkammer gefüllt. Auf der Homepage www.desy.de/xfel-beam/ der FEL-Beam-Dynamics-Gruppe ist der Link auf die Datenbank angegeben. Wenn man Office 2007 benutzt, muss man statt ‚XFEL.mdb‘, ‚XFEL_2007.accdb‘ eingeben. Dort kann man die Datenbank einsehen und

z. B. in Erfahrung bringen, wie groß der mögliche relative Einfluss einer Designänderung einer Vakuumkomponente sein könnte. In Abständen werden SASE-Rechnungen durchgeführt, die die Summe aller Wake-Felder der Datenbank berücksichtigen.

Berechnung von Wake-Feldern

Im Rahmen einer Doktorarbeit ist in das Programm *Echo*, ein Algorithmus zur Berechnung von *resistive wakes*, also Wake-Feldern, die durch den elektrischen Widerstand der Kammerwände erzeugt werden, eingebaut worden. Die dadurch mögliche gleichzeitige Berechnung geometrischer und resistiver Wake-Felder erhöht die Genauigkeit der Feldbestimmung.

Parallel rechnendes ASTRA

Ein entscheidendes Programm für Start-to-End-Simulationen ist Astra. Die originale Version ist für diese Zwecke zu langsam. Das parallelisierte Astra ist so modifiziert, dass es Berechnungen auf mehrere Rechner (Cluster) verteilt. Regelmäßig wurde die parallele Version an die Änderungen des physikalischen Modells der originalen Version angepasst. Beide Versionen erzeugen vergleichbare Ergebnisse, was durch regelmäßige Tests bestätigt wird. Die parallele Version hat eine umfangreiche interne Überarbeitung erfahren, die die Rechenzeit nochmals halbiert.

Das Programm ist auf der Homepage der FEL-Beam-Dynamics-Gruppe www.desy.de/xfel-beam/ unter Links and Codes zu finden.

Optik-Server

Für die Flash-Beam-Optimierungen im BKR wird eine *Optic-Toolbox*, die in Matlab geschrieben wurde, genutzt. Für eine Anbindung an das Kontrollsystem (DOOCS) existiert ein Optik-Server der die Toolbox global ohne Matlab nutzbar macht. Der Server wurde nach Maßstäben der modernen Softwareentwicklung vollständig überarbeitet und getestet.

Spezielle Kapitel aus der Beschleunigerphysik

Kollektive Phänomene spielen eine große Rolle beim Betrieb von Beschleunigern. Insbesondere möchte man die Mechanismen verstehen, die zur diffusiven Verschlechterung der Strahlqualität führen wie Emitanzwachstum, Haloformation oder Depolarisation des Teilchenstrahls. Ein Beschleuniger stellt ein kompliziertes Vielteilchensystem dar, das sich unter dem Einfluss verschiedener elektromagnetischer Felder, Strahlungseinflüssen und expliziten Rauscheffekten befindet. Neben direkten Vielteilchensimulationen ist es auch wichtig analytische Konzepte und Methoden aus der statistischen Physik zum besseren Verständnis heranzuziehen wie Liouville-, Vlasov oder die Fokker-Planck-Gleichung. Die stochastische Liouville-Gleichung wurde z. B. erfolgreich benutzt, um das longitudinale Strahlecho in Proton-Speicherringen zu behandeln. Ziel der weiteren Arbeiten ist es, diese Konzepte auch auf andere Fragestellungen anzuwenden wie kinetische Theorie der Depolarisation oder das Emitanzwachstum in raumladungsdominierten Beschleunigern unter dem Einfluss expliziter Rauschterme.

Ein weiterer Schwerpunkt der Arbeit war die Behandlung von Quanteneffekten in Beschleunigern. Typische Quanteneffekte sind der Polarisationsaufbau via Spin-Flip-Synchrotronstrahlung in Elektron-Speicherringen (Sokolov-Ternov-Effekt) oder der quantenmechanische Rückstoß, den Elektronen bei der Emission der Strahlung im Speicherring erleiden. Die Strahldynamik wird dann z. B. durch die Abraham-Lorentz-Dirac-Langevin-Gleichung, einer stochastischen Differentialgleichung, beschrieben. Außerdem ist es interessant komplementär zur klassischen Behandlung eines FEL auch die Eigenschaften eines Quanten-FEL's zu untersuchen, insbesondere Analogien zwischen FEL and Atom-Lasern. In diesem Zusammenhang sollen Arbeiten, die im Rahmen einer Dissertation begonnen wurden, fortgeführt 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 Injektions- und Ejektionselemente in allen DESY Beschleunigern und Speicherringen. Hinzu kommen weiterhin diverse Aufgaben in Zusammenhang mit dem Betrieb von FLASH und dem Aufbau des XFEL LINAC. Der Schwerpunkt liegt hier im Bereich der Injektionssysteme und in der Koordination des FLASH Betriebes.

Elektronen/Positronen LINAC II und PIA

In 2009 wurden fast ausschließlich Positronen geliefert. PETRA III befand sich überwiegend im Test- und Ausbackbetrieb mit vergleichsweise häufigen und unregelmäßigen Füllungen. Daher wurde auch im Teststrahlbetrieb meist auf eine Umschaltung der Teilchenart verzichtet.

Im Oktober wurde eine erste, kleinere Reparatur am Konverter notwendig. Dabei zeigte sich, dass die Modifikation des Konverters in den letzten Jahren die Strahlenbelastung während Wartungsarbeiten so wie vorgesehen deutlich verringert. Schon nach wenigen Tagen Strahlzeitunterbrechung während einer Wartungswoche war die Ortsdosisleistung so weit abgeklungen, dass die Arbeiten bedenkenlos durchgeführt werden konnten.

Auch der Umbau der Modulatoren auf größere Thyratrons führte wie erwartet zu einer größeren Betriebszuverlässigkeit. Die Lebensdauer der Thyratrons ist deutlich länger als zuvor, wenn auch die Statistik für eine abschließende Beurteilung noch zu gering ist.

In Zusammenhang mit dem geplanten Aufbau eines neuen Injektionssystems für den Linac II wurde die Idee einer RF-Gun mit thermionischer Kathode verworfen. Es zeigte sich, dass bei höherer Intensität eine Selbstverstärkung der Emission auftritt, die zu Instabilität des Betriebs führt. Stattdessen wird jetzt ein Injektor mit DC Gun entwickelt. Als Kathode soll ein Standardtyp mit Steuergitter benutzt werden (Eimac Y-796). Eine Buncherstruktur mit verkürzter Einfangzelle soll für ein effektiveres Bunching sorgen, ein Energiefilter bei ca. 5 MeV soll die Aktivierung von Komponenten reduzieren.

Kickerlabor

Die um Vorjahr auf größere Thyratrons umgebauten und mit einer zusätzlichen Regelung des Timings ausgestatteten PIA-Pulser liefen im Berichtszeitraum ohne jeden Ausfall. Somit erwies sich der Umbau als sehr erfolgreich.

Bei DESY II war das Jahr geprägt von einigen Pulser-Ausfällen: Der verwendete Halbleiterschalter erwies sich als sehr empfindlich gegen elektromagnetische Einstrahlungen; die Ansteuerung im Halbleiterschalter wurde wiederholt zerstört. Gelöst wurde das Problem schließlich durch den Einsatz eines anderen Schaltertyps. Des Weiteren wurde für Testzwecke die Strompulsübertragung von einem koaxialen System auf ein Twisted-Pair System umgestellt, dies mit dem Ziel Störungen zu eliminieren.

Bei DORIS wurde ein Halbleiterpulser der neuen Generation installiert, der den alten Thyatronpulser ersetzt. Für PETRA III wurde mit Unterstützung der Gruppe MCS die Schnittstelle zwischen der Hardware und Software komplett von SEDAC auf CAN Bus umgestellt; dies betraf ca. 40 Module (Kick.- Trigger.- Longdelay Multiplexer Dio.- und Zyklusmodul usw.). Die Software wurde umgestellt auf Java womit auch die Serviceprogramme für Kicker und Septa neu geschrieben wurden. Kabelpläne wurden neu erstellt und dokumentiert. Im Frühjahr wurde PETRA III wieder erfolgreich in Betrieb genommen mit komplett neuer

Verkabelung, Schnittstellen, Software, Pulsern und HV Netzgeräten. 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.

Bei den transversalen Feedbackkickern gab es fertigungsbedingte Probleme mit Rückständen von Flussmitteln, wodurch mehrere Faltenbalge undicht wurden. Nach dem dieser Fehler behoben wurde, konnte das transversale Feedbacksystem erfolgreich in Betrieb genommen werden.

Für den FLASH Umbau wurden drei neue Kickermagnete entwickelt und gefertigt, sowie vier Pulser der neuen Generation gebaut. Bei einem Pulser kann der Pulsstrom umgepolt werden. Dieser Pulser soll auch für die DESY II-Ejektion zu DORIS verwendet werden, wenn DORIS für das Olympus Experiment umgebaut wird.

Wie schon im letzten Berichtszeitraum berichtet, stellt der in der FLASH Elektronen-Quelle entstehende Dunkelstrom ein Problem beim Betrieb Linac dar. Deshalb wurde der sogenannte Gun-Bereich so umgebaut, dass der Dunkelstromkicker vor dem ersten Beschleunigungsmodul Platz findet. Messungen haben gezeigt, dass sich der Dunkelstrom so um ca. 70% reduzieren lässt; somit wurde der Kicker in den Standardbetrieb integriert. Aufgrund einer beobachteten Drift des Kicker-Timing wurde eine Regelung auf gebaut um diese zu eliminieren.

Für den PIZ Strahlfänger wurde ein Sweeper-System entwickelt. Dieser Magnet besteht aus einem horizontalen und vertikalen Leiter, der jeweils von einem Pulser angesteuert wird. Dadurch wird der Bunchzug nach einer Lissajousfigur auf dem Dumpblock verteilt. So kann eine punktuelle Temperaturerhöhung verhindert werden. Das komplette System wurde im Sommer nach DESY Zeuthen geliefert und steht somit zum Einbau bereit.

Septum-Labor

LINAC II

Die kompakte Geräteanordnung aus Steuerung/Ladegerät/Konverter-Pulser wurde in zwei Teile aufgespalten: Die Steuerung und das Ladegerät wurden ausgegliedert und in eine für Steuerung und Kontrollen vorgesehene Schrankreihe integriert, während der Pulser als Leistungsschalter für den Betrieb der Konverterspule an seinem ursprünglichen Standort verblieben ist (Abstand ~ 25 m). Wesentlicher Vorteil dieser Trennung ist eine deutliche Verringerung der Störungen auf der Steuerleitung, welche hauptsächlich durch die Zündimpulse für die Thyristoren verursacht wurden. Nach dem Shutdown 2009/2010 soll ein neuer Prototyp des Konverterpulsers in den Testbetrieb gehen. Bei ihm wurden die bisher wassergekühlten Thyristoren sowie ein Vorschaltwiderstand durch luftgekühlte Komponenten ersetzt. Dies senkt den Arbeitsaufwand bei einer Reparatur deutlich, denn das für den Ausbau des Thyristorblocks benötigte Hebezeug kann entfallen. Der Ausbau des schweren Thyristorblocks hatte sich in den vergangenen 5 Betriebsjahren als zu aufwendig herausgestellt.

PETRA III Injektions-Septum

Das in PETRA installierte Inj.-Septum wurde ausgebaut und gegen das Reserve-Septum getauscht, welches eine zusätzliche magnetische Abschirmung in Strahlrichtung besitzt. Der ausgebaute Magnet soll im Anschluss mit der gleichen Abschirmung nachgerüstet werden und dient dann seinerseits als Reserve.

REGAE

Im Rahmen der Besetzung einer Professur am Institut CFEL wurde der Aufbau des Experiments REGAE (Relativistic Electron Gun for Atomic Experiments) beschlossen. Dabei handelt es sich um einen Elektronenlinac bestehend aus einer RF-Gun und einem Bunchercavity. Dieser kleine Linac soll ultrakurze Elektronenpulse für Diffraktionsexperimente liefern. MIN

hilft beim Design der Cavities, dem Aufbau und der Herrichtung der Infrastruktur und der Beschaffung der HF-Stationen. Bis Ende 2009 wurden die Räume des ehemaligen Linac I dafür ausgeräumt.

FLASH Linac

Die Gruppe MIN betreut den Betrieb des FLASH Beschleunigers. Darüber hinaus betreibt die Gruppe die stete Weiterentwicklung des Injektors, und betreut technisch viele Komponenten dieses Injektionssystems wie z. B. den Laser, das Kathodensystem und die RF Gun selbst. Weiter koordiniert MIN den Aufbau eines 3.9 GHz HF-Systems zur Linearisierung des Beschleunigerfeldes, inklusive 3.9 GHz HF-Station und das System zur Messung sehr kurzer Elektronenbunche (LOLA).

An der Koordination des weiteren Ausbaus von FLASH beteiligt sich MIN federführend. Mitte September 2009 starteten umfangreiche Ausbaumaßnahmen: Einbau von neuen Beschleunigermodulen, einer neuen RF-Gun, des 3.9 GHz Systems und vieles mehr. Ziel ist es, die Strahlenergie auf 1.2 GeV zu erhöhen, mehr Flexibilität in der Einstellung der longitudinalen Strahlparameter durch den Einbau des 3.9 GHz Moduls zu erreichen und im Allgemeinen einer Verbesserung der Zuverlässigkeit durch viele kleine aber wichtige Maßnahmen.

Lasersystem des Photoinjektors

Die Elektronenbunche werden über den Photoeffekt an speziellen Photokathoden mit Laserpulsen erzeugt. Das besondere am Injektorlaser bei FLASH ist die Erzeugung von langen Pulszügen: bis zu 800 Einzelpulse mit einem Abstand von 1 μ s mit einer Wiederholrate von 5 Hz (Abbildung 52). Die Zahl der Pulse ist frei wählbar. Auch die Abstände der Pulse zueinander sind 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

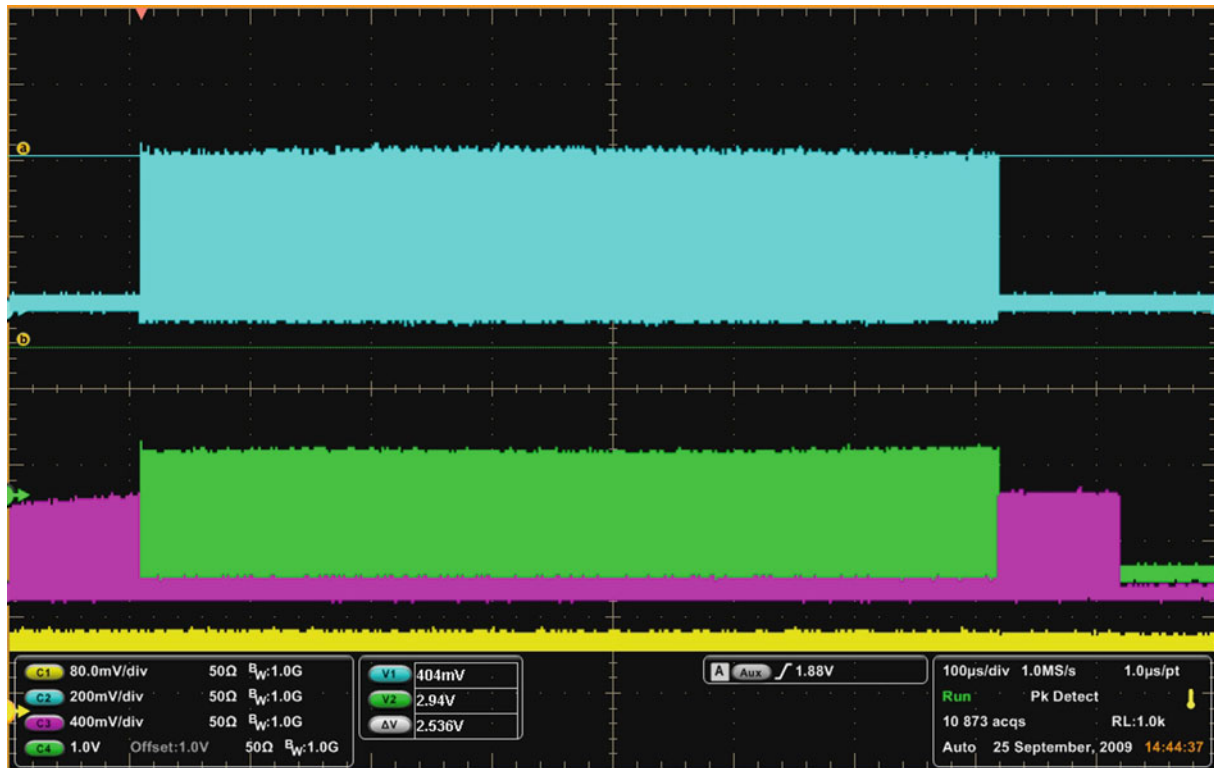


Abbildung 52: Pulszug von 2400 Elektronenpaketen gemessen am Ausgang des neunten Lasersystems im UV bei einer Wellenlänge von 262 nm (Cyan). Die Pulsabstände im Pulszug sind 330 ns (3 MHz), die Pulslänge ist 800 μ s, die Wiederholrate 5 Hz. Messung mit einer UV-Photodiode. Die Auflösung des Oszilloskops in dieser Zeitskala ist nicht ausreichend, um Einzelpulse zu unterscheiden. Der entsprechende Pulszug bei 523 nm (Grün) und bei 1048 nm (Magenta) sind ebenfalls dargestellt.

von 262 nm im Bereich von einigen μ J. Die Stabilität der Pulsenergie liegt zwischen 1 und 2% rms.

In 2009 wurde ein neues Lasersystem in Betrieb genommen, das bis zu 2400 Pulse mit einer Folgefrequenz von 3 MHz in einem Pulszug von 0.8 ms Länge bei 5 Hz erzeugen kann (Abbildung 52). Dieses Lasersystem wurde erfolgreich während des High-Beamloading-Experiments eingesetzt und erzeugte stabil einen Elektronenpulszug von 9 mA, d. h. 2400 Pulse mit einer Ladung von 3 nC mit einem Abstand von 330 ns zwischen den Pulsen.

Eine wichtige Neuerung dieses Lasers ist der Ersatz der Blitzlampen-gepumpten Laserköpfe des Verstärkers mit

voll Dioden-gepumpten Laserköpfen. Damit wurde die Energiestabilität der Einzelpulse um den Faktor 2 verbessert und die Effizienz elektrische Leistung – Laserleistung um etwa den Faktor 10.

Eine regelmäßige Wartung des Systems ist notwendig, um die Ausfallraten klein zu halten. Die Lebensdauer der Blitzlampen des alten Lasersystems liegt im Bereich von nur 10^7 Schuss. Das macht einen regelmäßigen Tausch im monatlichen Rhythmus notwendig. Dennoch tragen unerwartete Ausfälle der Blitzlampen deutlich zu den Ausfallzeiten von FLASH bei. Daher wird in 2010 auch das alte Lasersystem durch eine moderne Version ersetzt.

Photokathoden

Die Photokathoden für die Elektronenquellen von FLASH und PITZ werden am INFN-LASA in Mailand hergestellt und bei Bedarf zum DESY geliefert. Auch dieses Jahr sind wieder vier Transporte durchgeführt worden, so dass immer frische Kathoden für die Beschleuniger zur Verfügung standen. Vier der Transporte gingen an PITZ und zwei zum FLASH. Begünstigt durch die momentan sehr guten Vakuumbedingungen beträgt die Lebensdauer der Photokathoden im Moment mehr als 100 Tage. In diesem Jahr wurde nicht eine Kathode aufgrund einer zu geringen Quanteneffizienz (QE) gewechselt.

Die Untersuchungen von Kathodeneigenschaften wurden fortgesetzt. Neben der regelmäßigen Messung der Quanteneffizienz (Abbildung 53) wurde auch der Dunkelstrom routinemäßig untersucht. Dabei zeigte sich, dass der Hauptteil des Dunkelstromes nicht von den Kathoden, sondern von der Gun selbst emittiert wird.

Die Vorbereitungen für die Inbetriebnahme des neuen Kathodenlabors sind im vollen Gange. Das neue Präparationssystem ist im Mai von INFN-LASA nach Ham-

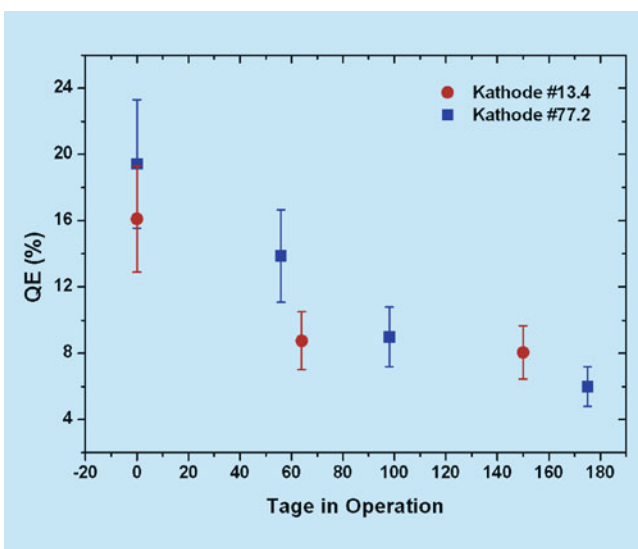


Abbildung 53: Zeitlicher Verlauf der Quanteneffizienz zweier Photokathoden. Die Lebensdauer beträgt deutlich mehr als 100 Tage.

burg transportiert worden. Nach ersten Funktionstests und einiger notwendiger Adaptionen ist die Produktion erster Kathoden für das erste Quartal 2010 geplant. Eine alte XPS-Anlage der Universität Hamburg sowie ein Rasterelektronenmikroskop zusammen mit einem neuen EDX-System sind im Umbau, so dass sie für die Analyse von Kathodenmaterialien im nächsten Jahr zur Verfügung stehen werden.

3.9 GHz System

Zur Verbesserung der Strahlqualität der komprimierten Buche und zur Erhöhung der Effektivität der Komprimierung wird ein System bei der 3. Harmonischen der 1.3 GHz Grundfrequenz des Linacs aufgebaut.

Im Januar wurde beim Fermilab der String von vier Cavities im Reinraum vollends komplettiert und es erfolgte anschließend die weitere Modulmontage. Für einzelne Montageschritte reisten DESY Mitarbeiter immer wieder zum Fermilab, um bei der Montage und auch bei der Cavity Justage mitzuarbeiten und auch beratend tätig zu sein. Ende März war das Modul ACC39 dann transportbereit fertig gestellt. Am 27. April nahm eine kleine Gruppe von Fermilab und DESY Mitarbeitern das Modul im Frachtbereich des Pariser Flughafen Charles de Gaulle in Empfang, überprüfte Schock- und Vakuumsensor-Daten und eskortierte den LKW Transport nach Hamburg und zu DESY.

Eingehende Untersuchungen zeigten keinerlei Auswirkungen des Transports auf das Modul und die Lage der Cavities im Modul. Trotzdem wurde entschieden, die Position der Nadellager, welche zur Vermeidung von Biegekräften beim Abkühlen des Moduls dienen, zur Sicherheit nochmals nachzujustieren. Die Montage der warmen Teile der Koppler erfolgte Ende Juni. Nach dem Umbau des CMTB, welcher im August begonnen wurde und schneller als ursprünglich erwartet wenige Wochen später abgeschlossen war, konnte der Einbau des Moduls beginnen.

Die Fertigstellung und Inbetriebnahme der Hochfrequenzstation, bestehend aus Klystron, Modulator, Hochspannungsversorgung und Regel- und Steuerelektronik erfolgte parallel zu den Arbeiten am Modul, ebenso die

Verlegung der Hohlleiter, die Vorbereitungen bei der Hochfrequenzregelung, der Tunermotorsteuerung und der Interlockelektronik.

Im Oktober war das gesamte System soweit fertig gestellt, dass nach der warmen Konditionierung der Koppler das Modul das erste Mal kalt gefahren werden konnte. Die Resultate der anschließenden Tests einzelner Cavities und auch aller Cavities zusammen, übertrafen die Erwartungen und auch die Spezifikationen, ebenso die beobachteten Stabilitäten der Hochfrequenzfelder beim Test der Hochfrequenzregelung.

Nach einer erneuten Überprüfung der Lage der Cavities im Modul wurde es mit dem Kran Anfang Dezember in den FLASH Tunnel auf seine endgültige Position gebracht und mit dem Schließen der Verbindungen des Strahlvakuum und der kryogenischen Prozessleitungen begonnen.

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 Strahldiagnose 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 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. Ein Prototyp eines solchen Systems soll bei PITZ zum Einsatz kom-

men. Deshalb konzentrieren sich die Aktivitäten derzeit auf den Aufbau dieses Systems.

Mitarbeit im Arbeitspaket 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 2009 wurde vor allen Dingen die Planungen zur Ausstattung der Räume und zu Verläufen von Laserbeamlines, Hohlleitern und Strahlführung verfeinert.

Koordination des Arbeitspaketes WP46 (3.9 GHz System)

In Bezug auf die Position der dreifach-harmonischen HF für den XFEL wurde Ende 2008 das Design geändert. Das bisherige Design mit drei Modulen mit jeweils acht Cavities vor dem ersten Bunchkompressor im Linac Tunnel wurde zugunsten eines einzelnen Moduls mit acht Cavities im XFEL Injektor und dort unmittelbar nach dem ersten 1.3 GHz Modul abgeändert. Diese Änderung wurde durch Anpassungen der warmen Sektion zwischen Injektor und dem Linac ermöglicht und reduziert die Kosten des 3.9 GHz Systems. Diese Designänderung hatte auch eine Überarbeitung des inneren Modul Designs des 3.9 GHz Moduls zur Folge. Der Quadrupol wanderte an den Modulanfang was Modifikationen bei der Magnetstromzuführung erfordert, andere Komponenten wie z. B. spezielle BPMs mit kleinerem Strahlruhrdurchmesser werden dafür nicht mehr benötigt. Auf der organisatorischen Seite erforderte die Verschiebung der dreifach-harmonischen HF in den Injektor eine eingehende Überarbeitung des Zeitplans, da der Injektor wesentlich früher fertig gestellt und in einen Testbetrieb gehen soll als der restliche XFEL Linac.

Die drei bei der Firma Zanon gebauten und von unseren Kollegen von INFN Mailand betreuten Prototyp Cavities wurden dieses Jahr mechanisch vollends fertig gestellt, unter Betreuung der Mailänder Kollegen getunt, beim DESY mechanisch vermessen und auch gegläht. Sie sind bereit zur chemischen Oberflächenbehandlung bei Zanon und sollen Anfang 2010 in Mailand vertikal getestet werden.

Zum DESY Beitrag des 3.9 GHz Arbeitspaketes gehören die Koppler und auch die Hochfrequenzstation. Vier Koppler, welche für die geplanten Horizontaltests der drei Prototyp Cavities benötigt werden, wurden beschafft und trafen im Herbst bei DESY ein. Aufgrund unvorhergesehener Verzögerungen bei der Beschaffung des 3.9 GHz Modulators entschieden wir, das Angebot von Fermilab anzunehmen, die Koppler dort zu konditionieren und zu testen. Die Koppler wurden daraufhin zum Fermilab geschickt. Die Lieferung des 3.9 GHz Klystrons erfolgte dahingegen termingerecht. Dieses Klystron dient aber vorerst als Ersatz für ein defektes Klystron beim 3.9 GHz System von FLASH. Ein weiteres Klystron ist bestellt.

Allgemeine organisatorische Arbeiten bezogen sich auf das Erstellen von Entwurffassungen der Technischen Anhänge zu den XFEL Konsortium Vereinbarungen, in denen die Beiträge der teilnehmenden Labore zu den einzelnen Arbeitspakete festgelegt werden.

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 Europäischen XFEL. Die Hochfrequenzsysteme für die 1.3 GHz Klystrons und Modulatoren bei TTF/FLASH werden von der dritten Unter-

gruppe, 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 Koppler für Moden höherer Ordnung (HOM Koppler). Weiterhin werden die HF-Messstände für diese Komponenten betreut und alle erforderlichen supraleitenden HF-Messungen durchgeführt. Dies waren 2009: 44 vertikale Cavity Messungen und 3 Modulmessungen, darunter erstmalig ein Modul bei der harmonischen Frequenz 3.9 GHz.

European XFEL

Industrialisierung der Cavity Fertigung

Im Jahr 2009 konnte die Beschaffung der supraleitenden Cavities für den European XFEL ausgeschrieben werden. Dazu wurden wesentliche Beiträge von der Gruppe MHF-sl im Rahmen des Work Packages 4 (WP4) geleistet:

Die Ausarbeitung und Fertigstellung der Technischen Spezifikation zur Fertigung und Präparation der supraleitenden Cavities konnte unter der Führung von MHF-sl und unter der Beteiligung der Experten aus den verschiedenen Fachgruppen abgeschlossen werden. Für die mechanische Fertigung konnte dabei auf frühere Erfahrungen zurückgegriffen werden. Der die Cavity Präparation betreffende Teil musste jedoch komplett neu erstellt werden.

Umfangreiche Arbeiten waren nötig, um die verschiedenen CAD Daten des Cavities und des Helium Tanks zusammenzuführen. Da die Cavities von den Herstellern für den vertikalen HF-Test bei tiefen Temperaturen ausgeliefert werden sollen, mussten auch alle CAD Daten der Anbauteile wie: Einkoppelantennen, HOM An-

tennen, Feldantennen sowie der Transport- und Messrahmen integriert werden.

Die Freigabeprozesse für die Zeichensätze des Cavities im Heliumtank wurden erstmalig im DESY Engineering Document Management System (EDMS) durchgeführt.

Für die Begleitung der Cavity Fertigung wurde im EDMS eine Dokumentenstruktur für die Verwaltung aller Ausschreibungs- und Fertigungsdokumente entwickelt und implementiert. Diese Dokumentenstruktur soll beispielgebend auch für andere XFEL Work Packages sein.

Der Prototyp der automatischen HF-Messeinrichtung zur Frequenzmessung der Niob Halbschalen und Hanteln hat sich im Einsatz bei mehreren Cavity Herstellern während der Fertigung von Cavities für FLASH bewährt und konnte ohne jegliche Einschränkungen eingesetzt werden. Die Betriebssoftware wurde perfektioniert und um die Berechnung der notwendigen mechanischen Korrekturdaten ergänzt. Dabei war auch die Hilfe von Kollegen der Faculty of Physics and Applied Computer Science at AGH-University of Science and Technology, Krakow, Poland sehr hilfreich.

Zwei weitere Anlagen sind im Bau und kurz vor der Fertigstellung.

Im Rahmen einer Kollaboration mit FNAL (Chicago, USA) und KEK (Tsukuba, Japan) werden vier neuartige, halbautomatische Maschinen (*Tuningmaschinen*) zur Frequenz- und Längenkorrektur sowie zur Messung der Exzentrizität an neunzelligen Cavities gefertigt. Im Jahre 2009 konnte der maschinenbauliche Teil von zwei Tuningmaschinen an FNAL ausgeliefert werden. Zwei weitere Tuningmaschinen wurden bei DESY aufgestellt. Diese beiden Maschinen werden an die Herstellerfirmen der XFEL-Cavities ausgeliefert, sobald das Firmenpersonal während der Herstellung der Vorserien-Cavities in der Bedienung ausgebildet wurde. Die Entwicklung der Software und der Bau der Elektronik für alle vier Maschinen durch FNAL haben substantielle Fortschritte gemacht, so dass alle Maschinen 2010 fertig gestellt werden können.

Eine besondere Herausforderung stellte die Anwendung des CE Konformitätsverfahrens gemäß Maschinenrichtlinie 2006/42/EG für die HF-Messeinrichtung, die Tuningmaschine und die Cavity Lifter dar. Dieses Verfahren ist wegen der geplanten Auslieferung dieser Maschinen an die Cavity Herstellerfirmen notwendig und wurde erstmalig bei DESY für Maschinen angewandt. In Zusammenarbeit mit einem externen Unternehmen konnte das Verfahren für den Cavity Lifter abgeschlossen werden. Es wurde sichergestellt, dass die am FNAL gebaute Elektroniksteuerung den Europäischen Normen entspricht, so dass auch der Zertifizierung der Tuningmaschinen nichts entgegensteht.

Zwei weitere Niob Scanning Maschinen wurden in Auftrag gegeben. Die Maschinen werden für die notwendige Überwachung der Qualität der Niobleche für die XFEL Cavity-Fertigung eingesetzt.

Hochleistungskoppler

In enger Zusammenarbeit mit dem französischen Institut IN2P3 als In-Kind Verantwortlicher für die Hochleistungskoppler konnten 2009 die Ausschreibungsunterlagen vervollständigt werden. Ein erstes internes Review Meeting wurde durchgeführt und letzte Korrekturen in die Zeichnungen und Spezifikationen eingearbeitet. Die Ausschreibung der XFEL-Hochleistungskoppler kann Anfang 2010 nach bestandener Production Readiness Review stattfinden.

Für die Entwicklung des 3.9 GHz Moduls des XFEL-Injektors wurden 4 Hochleistungskoppler bestellt und die Fertigung durch MHF-sl begleitet (siehe auch DESY Jahresbericht 2008, Seite 192–194). Der Entwurf stammt vom 3.9 GHz FLASH-Modul, der bei FNAL, Chicago, entwickelt und gebaut wurde.

Die HF Leistungstests und das HF Konditionieren werden wiederum in enger Kollaboration mit MHF-sl bei FNAL durchgeführt.

AMTF

In der XFEL-Cavity und Modul Testhalle (AMTF) werden alle supraleitenden Cavities und Module für den

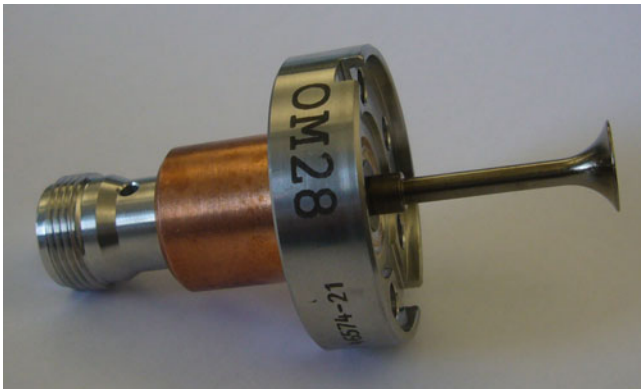


Abbildung 54: Industriell gefertigte HOM Koppler Durchführungen mit erhöhter thermischer Belastbarkeit. Der Entwurf beruht auf einer Entwicklung beim TJNAF.

XFEL getestet. Die Cavities sind zu diesem Zeitpunkt bereits mit weiteren Komponenten wie HOM Koppelerantennen und Helium Tank ausgerüstet. Auf Grund von unvorhersehbaren hohen Leistungsbelastungen der HOM Antennen bei dem Cavity CW Test wurden neue Untersuchungen nötig. Die Entwicklung eines geeigneten Messverfahrens mit geringerer Leistungsbelastung wurde gestartet.

Der Entwurf der neuen HOM Koppler Durchführungen beruht auf einer beim TJNAF, Newport News, USA, entwickelten Durchführung für erhöhte thermische Belastungen. (siehe Bild) Um die für den XFEL nötige hohe Stückzahl fertigen lassen zu können, wurde die Herstellung auf die Industrie übertragen.

Die Prototypfertigung der technischen Interlocks für die Messung der Module und Cavities in AMTF wurde in 2009 abgeschlossen. Umfangreiche Tests wurden durchgeführt und weitere Verbesserungen werden implementiert. Die Fertigung des technischen Interlocks für AMTF konnte begonnen werden.

Module

Die ersten Prototypmodule PXFEL1 und 2 wurden montiert. MHF-sl zeichnet verantwortlich für die Hochleistungskoppler sowie die elektrische Verkabelung.

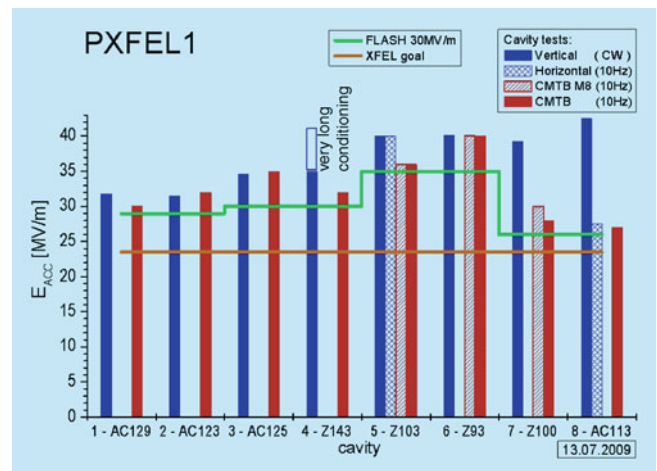


Abbildung 55: Darstellung der Beschleunigungsgradienten des XFEL Prototyp Moduls. Die Einzelergebnisse für die Cavities sind dargestellt. Die grüne Linie demonstriert die nutzbaren Gradienten der Cavities bei Nutzung einer angepassten Leistungsverteilung.

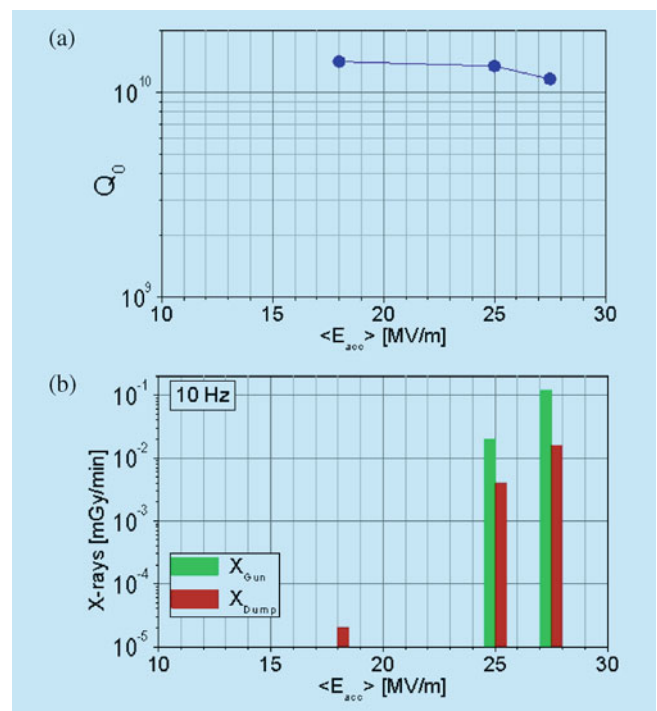


Abbildung 56: Darstellungen der Güte und der Feldemission des Moduls PXFEL1 über den Gradienten. Die roten und grünen Balken zeigen die durch Feldemission emittierte Gammastrahlung in die beiden Beschleunigungsrichtungen des Moduls an.

Die Vermessung der elektrischen Moduleigenschaften wie Cavity Feldstärken und Cavity Güten wurde auf dem Modulteststand durch MHF-sl durchgeführt.

Das Modul PXFEL1 weist Gradienten zwischen 27 und 36 MV/m auf. Durch die Nutzung einer auf die einzelnen Cavities abgestimmten Leistungsverteilung ist es möglich, mit einem durchschnittlichen Gradienten von 30 MV/m zu beschleunigen. Dies ist der höchste jemals in einem Modul erreichte Beschleunigungsgradient. Die Ergebnisse sind in Abbildung 55 dargestellt. Die Güte des Gesamtmoduls liegt bei 27 MV/m immer noch deutlich über $1 \cdot 10^{10}$ (Abbildung 56a), und die durch Feldemission emittierte Gammastrahlung erreicht nur $1 \cdot 10^{-1}$ mGy/min (Abbildung 56b, rechts). Das Modul wurde in Position ACC7 in FLASH eingebaut.

FLASH

Im Rahmen des FLASH Upgrades wurden die Module ACC7 und ACC39 installiert. Umfangreiche Arbeiten waren für den Aufbau der dafür notwendigen technischen Interlocks notwendig.

Nach dem erfolgreichen Transport des Moduls ACC39 von FNAL Chicago zu DESY in Hamburg wurden die Hochleistungskoppler montiert und die elektrische Verkabelung beim DESY komplettiert. Der Modulteststand wurde für die mechanischen, kryogenischen und elektrischen Bedingungen des ACC39 umfangreich umgebaut. Die gemessenen Gradienten des Moduls sind in Abbildung 57 zusammengefasst. Für den Betrieb in FLASH wird ein Beschleunigungsgradient von 15 MV/m benötigt. Alle Cavities überschreiten diese bei weitem. Die durch Feldemission emittierte Gammastrahlung liegt bei einem Betriebsgradienten von 15 MV/m unterhalb der Messgrenze (Abbildung 58).

Reinigung von Gun-Cavities mit dem CO₂-Schneeverfahren

In 2009 wurden wiederum zwei Kupfercavities für die Photoemissionsgun von FLASH mit dem CO₂-Schneeverfahren erfolgreich gereinigt. Die CO₂-Rei-

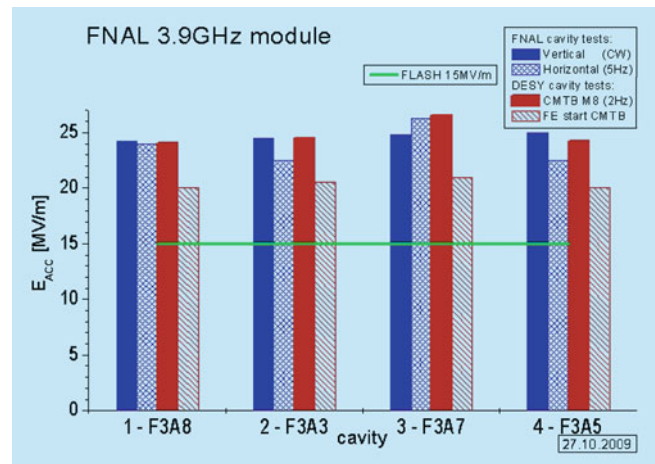


Abbildung 57: Darstellung der Beschleunigungsgradienten des Moduls ACC39. Die verschiedenen Balken der einzelnen Cavities zeigen die Gradienten gemessen im vertikalen Test, horizontalem Test und Modultest. Der schraffierte Balken zeigt die Feldemission der Cavities. Die grüne Linie zeigt den Betriebsgradienten in FLASH.

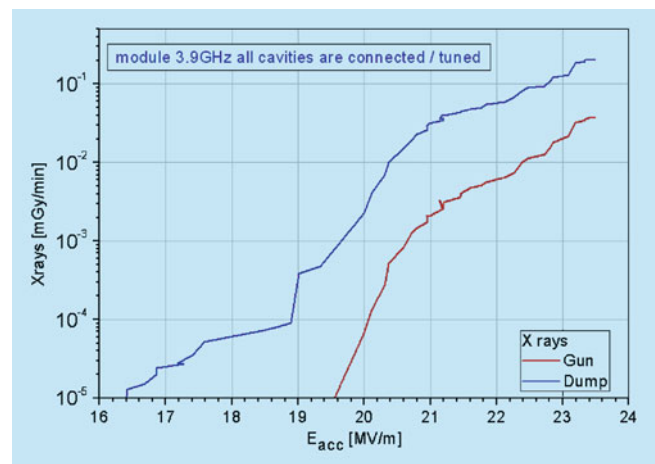


Abbildung 58: Darstellung der durch Feldemission emittierten Gammastrahlung des Moduls ACC39 über dem Beschleunigungsgradienten. Die Linien zeigen die Ergebnisse für die beiden Beschleunigungsrichtungen an. Für den Betrieb bei 15 MV/m liegt die Gammastrahlung unterhalb der Messgrenze.

nigungsinfrastruktur wurde um eine effektive Handpistole zur Abreinigung ergänzt.

Auswertung von Cavity Testergebnissen

In Vorbereitung der XFEL Cavity Produktion und anderer Cavity Massenproduktionen wie z. B. für den geplanten ILC wurden die Cavity Testergebnisse der letzten Jahre (ca. 50 neunzellige Cavities) hinsichtlich des maximalen und nutzbaren Gradienten analysiert. Die durchgeführten Analysen flossen sowohl methodisch als auch statistisch signifikant in die ILC Vorbereitungen ein, was die Bedeutung der FLASH und XFEL Cavity-Arbeiten für das ILC Projekt einmal mehr bestätigt.

Als Parameter der Analyse dienen der Cavity-Hersteller, der Ort der Haupt-Elektropolitur (EP) (DESY oder Industrie), die Endbehandlung (40 μm EP oder 10 μm kurze BCP) sowie die Präparationsstrategie (Cavity Test mit oder ohne Heliumtank). Zusätzlich wurde der Effekt einer Nachbehandlung von Cavities mit hoher Feldemissionsbelastung durch zusätzliche Hochdruckspülung mit Reinstwasser untersucht.

Als Beispiel für die durchgeführten Analysen wird in Abbildung 56a und 56b der maximale und nutzbare Gradient des letzten Cavity-Vertikaltests vor der Verwendung im Modul hinsichtlich der Oberflächenbehandlungen *Final EP* (Elektropolitur) und *Final BCP* (chemische Beizbehandlung) verglichen.

Die Erfolgsrate aller betrachteten Cavities für einen Beschleunigungsgradienten von 23.6 MV/m – Designgradient des Europäischen XFEL – beträgt etwa 70%–80%. Begrenzt wird die Erfolgsrate durch Cavities eines Herstellers mit niedrigem Gradienten durch thermischen Feldzusammenbruch (*Quench*) sowie – der nutzbare Gradient – durch mehrere stark feldemissionsbelastete Cavities. Dass mehr Cavities dieses Herstellers eine abschließende Elektropolitur erhalten haben, erklärt die niedrigere Erfolgsrate der *Final EP* um 20 MV/m. Für maximale Gradienten oberhalb (25–30) MV/m ist die Erfolgsrate nach *Final EP* signifikant besser. Da die Belastung durch Feldemission nach wie vor eine Reihe von Cavities bei hohen Gradienten begrenzt, gleicht sich der nutzbare Gradient für beide Endbehandlungen eher an. Dies ist in Übereinstimmung mit der Vorstellung, dass beide Endbehandlungen hin-

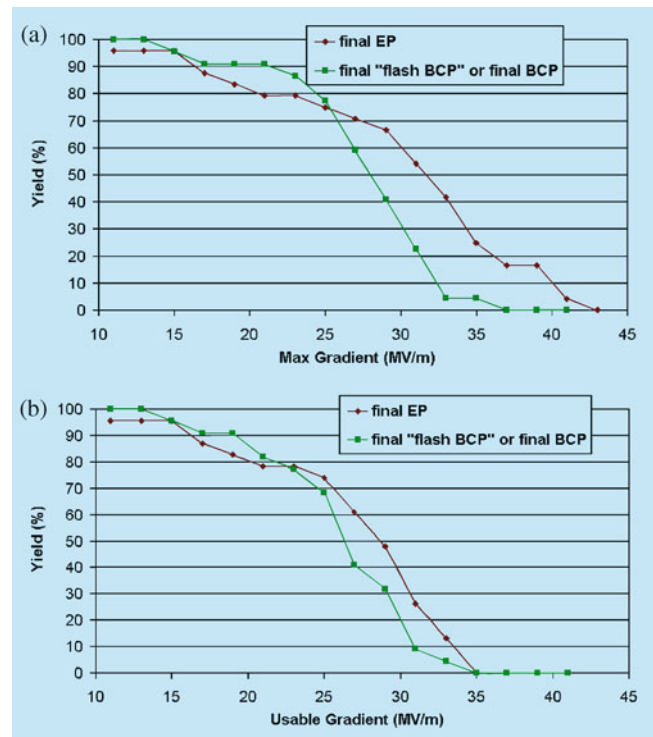


Abbildung 59: Erfolgsrate des maximalen Gradienten (oben) und nutzbaren Gradienten (unten) in Abhängigkeit von der Oberflächenbehandlung vor dem letzten vertikalen Cavitytest

sichtlich der Feldemissionswahrscheinlichkeit in erster Näherung gleichwertig sind und die Feldemissionsbelastung vor allem durch die abschließenden Spül- und Montageprozesse verursacht wird.

14th International Conference on RF Superconductivity

Für die Gruppe MHF-sl ist die International Conference on RF Superconductivity das wichtigste Forum, um die eigenen Ergebnisse im internationalen Umfeld vorzutragen, zu vergleichen und zu diskutieren. 2009 fand die 14th International Conference on RF Superconductivity in Berlin und Rossendorf statt. Dies gestattete uns die Teilnahme mit überdurchschnittlich vielen Mitarbeitern der Gruppe MHF-sl. Mehr als 15 eingeladene Vorträge und Poster wurden präsentiert.

Normalleitende Beschleunigungsstrecken für Elektronen/Positronen –MHF-e–

Die Gruppe MHF-e betreibt die 500 MHz HF-Systeme der Elektronen-Ringbeschleuniger DESY II, DORIS III und PETRA III sowie deren longitudinale Feedback-Systeme

HF-Betrieb für DESY II

DESY II muss für den Betrieb von PETRA III nur noch Teilchen mit einer Energie von 6 GeV liefern. Die dafür erforderliche HF-Leistung ist nur etwa halb so groß, wie für den früheren 7 GeV-Betrieb. Im Februar wurde deshalb die Senderanlage vom 2-Klystron-Betrieb versuchsweise auf 1-Klystron-Betrieb umgestellt. Die Maßnahme war erfolgreich, so dass der 1-Klystron-Betrieb zur Senkung der Betriebskosten beibehalten wurde.

DESY II wurde bis Ostern nur drei bis viermal pro Tag kurz zur Füllung von DORIS oder für Maschinenstudien eingeschaltet. Seit Ostern lief die Maschine aber nahezu durchgehend für PETRA. Im gesamten Betriebsjahr wurden 14 Störungen des HF-Systems registriert, von denen sich aber nur fünf während des Strahlbetriebs ereigneten.

HF-Betrieb für DORIS III

DORIS verfügt über zwei Senderanlagen und zwei Cavity-Gruppen mit jeweils vier fünfzelligen Cavities. Nachdem im Vorjahr nur die Senderanlage Süd-Rechts *SR* in Betrieb war und alle acht DORIS Cavities speiste, sollte der Strahlbetrieb in diesem Jahr gemeinsam mit der Senderanlage Nord-Links *NL* starten. Für Maschinenstudien sollte die Möglichkeit geschaffen werden, die HF-Phasenlage zwischen den beiden Cavity-Gruppen zu variieren.

Bereits nach einer Woche musste der Betrieb allerdings wieder auf die Anlage *SR* umgestellt werden, da es in der Senderanlage *NL* immer wieder zu Hochspan-

nungsüberschlägen kam, die zusätzlich auch andere Elektroniken beschädigten und deren Ursache innerhalb einiger Stunden nicht gefunden werden konnte.

Im März trat wiederholt an einem koaxialen HF-Absorber der Fa. BIRD ein Wasserleck auf und es liefen ca. 500 Liter Kühlwasser in den Koax-Hohlleiter-Transformator. Ein ähnlicher Vorfall im November 2008 hatte große Bereiche des Hohlleitersystems geflutet. Nach dem Vorfall wurden an allen Koax-Hohlleiter-Transformatoren prophylaktisch Entwässerungsbohrungen angebracht. Diese Maßnahme hatte in diesem letzten Fall den Schaden gering gehalten. In der folgenden DORIS Wartungswoche wurden die sieben HF-Absorber der Fa. BIRD durch zuverlässigere Hohlleiter-HF-Absorber der Fa. FERRITE ersetzt.

Ab Mitte September ereigneten sich immer häufiger Strahlverluste, ohne dass zunächst eine Ursache erkennbar war. Nachdem auf einigen Transientenrekorder-Files der Senderanlage *SR* etwa 100 μ s kurze Einbrüche der Klystronspannung entdeckt worden waren, konnte das Problem auf den Bereich des Klystronmodulators eingegrenzt werden. Der Fehler wurde aber erst nach zweifachem Austausch der Modulatorröhre, dem Austausch des Modulatorröhrensockels und dem mehrfachen Austausch des Gitteransteuergerätes bei selbigem gefunden. Insgesamt verursachte dieser Fehler über einen Zeitraum von drei Wochen ca. 20 Strahlverluste.

Während der 270 Betriebstage von DORIS ereigneten sich noch 15 weitere technische Störungen mit verschiedenen anderen Ursachen. Über das Betriebsjahr betrug die mittlere Zeit zwischen zwei Störungen etwas mehr als eine Woche (MTBF = 8 Tage).

HF-Betrieb für PETRA III

PETRA verfügt über zwei Senderanlagen und zwei Cavity-Gruppen mit jeweils sechs 7-zelligen Cavities. Im Dezember letzten Jahres wurden die Cavities mit der Senderanlage Süd-Links *SL* erstmalig mit HF-Leistung betrieben. Die Senderanlage Süd-Rechts *SR* wurde zu Jahresbeginn fertig gestellt. Im März konnten die Cavities dann auch erstmalig mit der Senderanlage *SR* betrieben werden. Ostern gelang es das erste Mal Strahl

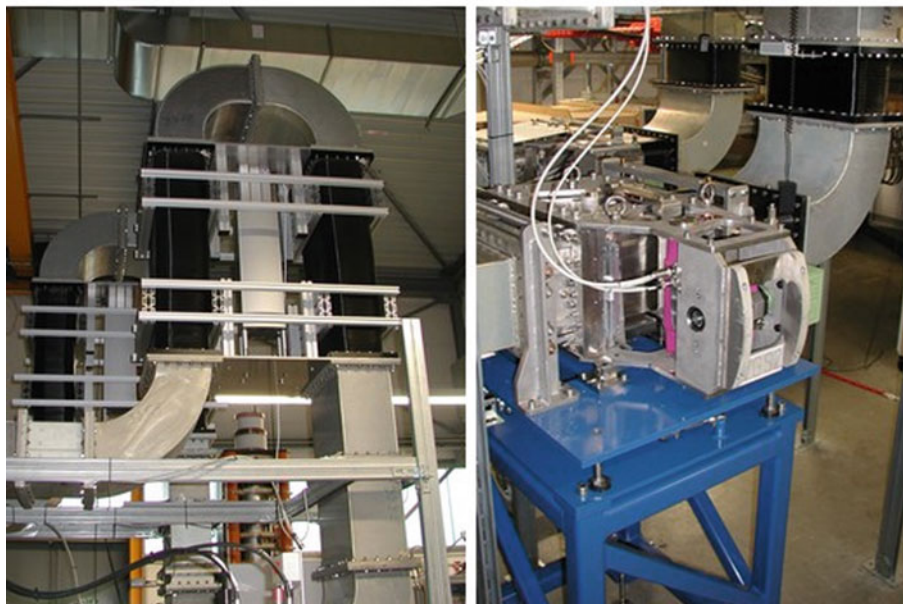
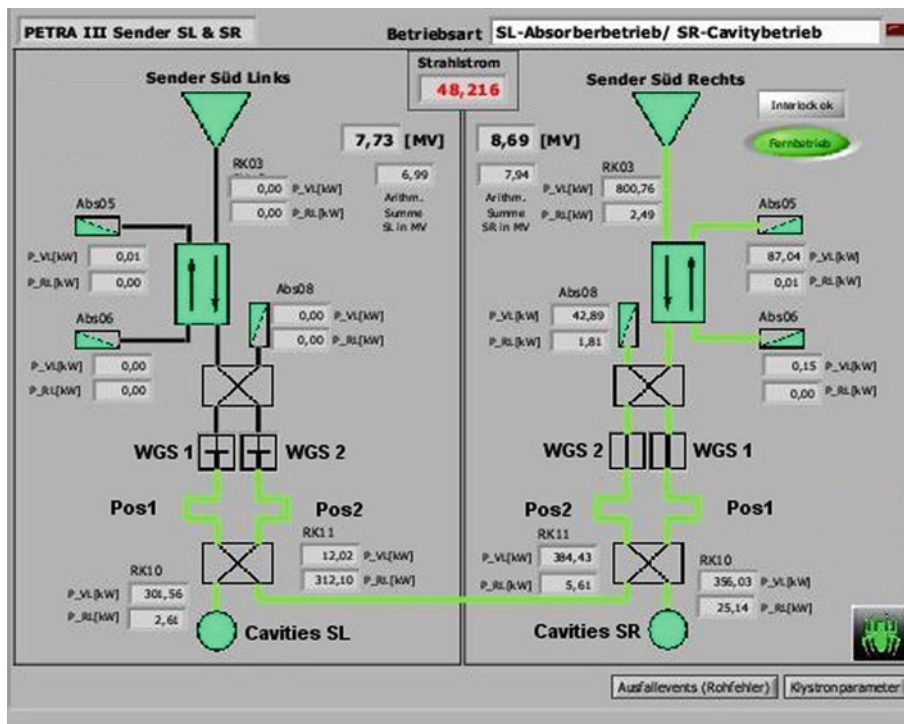


Abbildung 60: Oben: Screen Shot der Bedienoberflächen der Senderanlagen. PETRA III läuft mit 48 mA Strahlstrom. Der Sender Süd-Rechts versorgt die Cavity-Strecken SL & SR. Der Sender Süd-Links ist über die Waveguide-Shutter WGS1 & WGS2 abgeschottet und könnte bei Bedarf unabhängig vom Beschleunigerbetrieb betrieben werden. Unten links: Hohlleiter-Posaunen der Anlage SL. Unten rechts: Waveguide-Shutter der Anlage SR

in PETRA III zu speichern. Der Strahlbetrieb fand anfangs nur mit der Anlage SL und den zugehörigen 6 Cavities statt. Die Anlage SR wurde in dieser Zeit parallel zum Strahlbetrieb zur Weiterentwicklung von Steuer- und Regelungs-Software genutzt. Ab Juni liefen dann überwiegend beide Anlagen für den Strahlbetrieb.

Anfang Oktober wurden die noch fehlenden Waveguide-Shutter geliefert und eingebaut. Mit ihnen ist es möglich innerhalb kurzer Zeit zwischen drei Betriebsarten zu wechseln. Gewöhnlich soll PETRA III mit beiden Senderanlagen, die jeweils auf 6 Cavities wirken, betrieben werden. Für diesen Fall werden alle vier Waveguide-Shutter WGS geöffnet und die vier Hohlleiter-Posaunen *Pos* so justiert, dass die Hohlleiterverbindungsleitung zwischen den beiden HF-Anlagen entkoppelt ist (siehe dazu Abbildung 60). Bei Ausfall einer Senderanlage kann die defekte mithilfe der Waveguide-Shutter abgekoppelt und die HF-Leistung der verbleibenden Anlage mittels der Hohlleiter-Posaunen auf beide Cavity-Gruppen verteilt werden. Auf dem Screen Shot des Senderanlagen Operating Panels (Abbildung 60 oben) ist diese Betriebsart dargestellt. Das Foto (Abbildung 60, u.l.) zeigt die beiden Hohlleiter-Posaunen der Anlage SL. Das Foto (Abbildung 60, u.r.) zeigt die beiden Waveguide-Shutter der Anlage SR.

Mitte Oktober wurde gemeinsam mit der Gruppe –MSK– das longitudinale Feedback in Betrieb genommen, mit dessen Hilfe Ende Oktober bis zu 89 mA in 960 Bunchen gefüllt werden konnten. Leider wurden bei diesem Rekordversuch sechs der acht Feedback-Verstärker beschädigt.

Außer den üblichen Problemen, die bei der Inbetriebnahme von neuen Anlagen zu erwarten sind, gab es noch weitere Überraschungen. So mussten Anfang Mai zwei Cavity-Koppler wegen zu hoher Verlustleistung prophylaktisch ausgetauscht werden.

Zwei Wochen später wurde das Keramikfenster eines Cavity-Kopplers undicht und belüftete sechs Cavities mit Tunnelluft. Im November musste ein weiterer Cavity-Koppler prophylaktisch ausgetauscht werden, da er luftseitig durch HF-Überschläge beschädigt war. Trotz der geschilderten kleinen Unfälle kann die Inbetriebnahme der HF-Systeme insgesamt als sehr ent-

spannt bezeichnet werden. Die Zuverlässigkeit der HF-Systeme war, gemessen an langjährigen Durchschnittswerten vergleichbarer Systeme, im Berichtszeitraum noch unterdurchschnittlich, aber unter den gegebenen Umständen durchaus befriedigend.

In der 2. Jahreshälfte 2009 lief der Sender PETRA-SL 110 Tage für den Betrieb von PETRA III. Während dieser Zeit wurden 16 technische Störungen registriert. Das entspricht im Mittel einer Störung pro Woche (MTBF = 7 Tage).

Der Sender PETRA-SR lief 147 Tage für den Betrieb von PETRA III. Während dieser Zeit wurden 37 technische Störungen registriert. Das entspricht fast zwei Störungen pro Woche (MTBF = 4 Tage).

13th ESLS-RF Meeting 2009

Die Gruppe –MHFe– hat dieses Jahr das 13th European Synchrotron Light Source RF Meeting ausgerichtet. Das Meeting ist das jährliche Treffen der Hochfrequenz-Experten europäischer Synchrotronstrahlungsquellen. Es dient dem Austausch von Betriebserfahrungen und der Vorstellung und Diskussion neuer Entwicklungen. Das Meeting konnte vollständig mit Sponsorengeldern finanziert werden.

Hochfrequenzsysteme für Linearbeschleuniger –MHF-p–

Die Gruppe MHFp ist verantwortlich für die HF-Systeme des Freie-Elektronen-Lasers, FLASH, und des geplanten Europäischen Röntgenlasers XFEL.

Bis zum Beginn der ab September 2009 geplanten Betriebsunterberechnung bei FLASH wurden während des laufenden Betriebes in regelmäßigen Abständen Wartungsarbeiten und bei Bedarf Reparaturarbeiten der 1.3 GHz Senderanlagen durchgeführt.

Der Ausfall des 130 kV-Pulstransformators eines der älteren HF-Sender durch Kurzschluss zwischen Primär- und Sekundärwicklung führte zu einer mehrtägigen Betriebsunterbrechung. Die Reparatur konnte durch Mit-

arbeiter der Gruppe durchgeführt werden, so dass sich ein Transport zum amerikanischen Hersteller erübrigte.

Der Pulstransformator gehört zu einem der beiden ältesten Hochfrequenzsender, die vor mehr als 10 Jahren von FNAL, USA, ursprünglich als reine Entwicklungs- und Testsysteme, beigestellt wurden und seit dem bei DESY in Betrieb sind. Vor drei Jahren begannen die Planungen, die Systeme durch neue zu ersetzen, um dadurch einen weitgehend einheitlichen Stand bei den HF-Sendern zu erreichen. Komponenten, für die lange Lieferzeiten zu erwarten waren, wurden in den vergangenen Jahren geordert, so dass sie für den Einbau während der FLASH Betriebsunterbrechung ab September 2009 rechtzeitig bereitstanden.

Zusätzlich wurden noch wesentliche Komponenten des ältesten in Zusammenarbeit von DESY und Industriefirmen erstellten Senders erneuert. Die Komponenten konnten im Rahmen des Konjunkturprogramms 2009 beschafft werden. Da die Lieferung vorzeitig erfolgte, wurde es möglich, die Erneuerung noch während der Betriebsunterbrechung 2009 durchzuführen.

Ein bisher nur als Reserve vorgesehener Sender, der bisher für Entwicklung und Test von Hohlleiterkomponenten genutzt wurde, wird in Zukunft ebenfalls nur noch zur HF-Versorgung von FLASH genutzt werden.

Somit werden nach Beendigung des Shutdowns fünf HF-Sender für FLASH zur Verfügung stehen, wovon einer wie bisher weiterbetrieben wird, zwei vollständig erneuert wurden, einer teilerneuert wurde und einer, der bisher anderweitig genutzt wurde, zusätzlich für FLASH zur Verfügung steht.

Die Erweiterung um einen weiteren Sender wurde notwendig, da FLASH im Shutdown 2009 um ein Beschleunigungsmodul erweitert wird. Die mit den bisher vorhandenen Sendern erreichbare HF-Leistung reicht nicht aus, um sieben Beschleunigungsmodule und eine RF-Gun zu versorgen. Abbildung 61 zeigt in einer Übersicht das FLASH HF-System. Der nicht aufgeführte Sender #1 wird nicht für FLASH sondern nur zum Test von Cavities und Kopplern genutzt.

Die Erweiterung von FLASH um ein weiteres Modul, der Ersatz des ersten Moduls hinter der RF-Gun so-

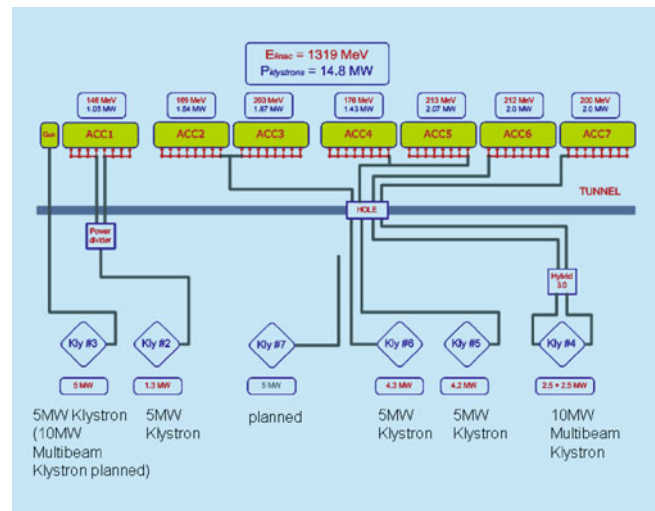


Abbildung 61: Übersicht FLASH HF-System

wie der mögliche zukünftige Betrieb der RF-Gun bei höherer Leistung bei Versorgung durch ein Multibeam Klystron machen eine umfangreiche Modifikation der Hohlleitersysteme erforderlich.

Die Hohlleiterverbindungen zwischen Klystrons und Modulen mussten geändert bzw. erweitert werden, zum einen weil die Beschleunigungsmodule zum Teil von anderen Klystrons als zuvor versorgt werden, und zum anderen weil der mögliche zukünftige Betrieb der RF-Gun zwei Hohlleiterzüge zwischen Klystron und RF-Gun statt nur einen wie bisher erfordert.

Die HF-Hohlleiterverteilung für das erste Beschleunigungsmodul muss angepasst werden, da die neuen Cavities des Moduls mit höheren Beschleunigungsgradienten betrieben werden können.

Beim neuen Beschleunigungsmodul ACC7 handelt es sich um ein Modul, wie es in gleicher Weise beim XFEL zum Einsatz kommen wird. Daher ergab sich an dieser Stelle die Möglichkeit, die Prozeduren zu Anpassung, Test und Installation einer Hohlleiterverteilung an ein spezifisches Modul zu testen. Die Hohlleiterverteilung wurde so angepasst, dass die Leistung für jeweils ein Paar der acht Cavities so eingestellt ist, dass ein Betrieb aller acht Cavities bei nahezu maximal möglichem Beschleunigungsgradienten erfolgen kann. Die Hohl-

leiterverteilung wurde anschließend in einem Teststand vor der Montage am Modul bei hoher HF-Leistung getestet. Die Installation der Hohlleiterverteilung inklusive der Kühlwasserverteilung und Verkabelung erfolgte direkt am Modul, bevor das Modul zusammen mit den Hohlleitern in den FLASH-Tunnel transportiert und dort installiert wurde.

Abbildung 40 zeigt das Modul ACC7 und die Hohlleiterverteilung während der Montage vor dem Transport in den FLASH-Tunnel.

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 der Hohlleiterverteilung, der Vorverstärker, Hilfsnetzgeräte und Elektronikracks sind besonders die erfolgreichen Tests eines weiteren horizontalen Multibeam Klystrons, einiger Hohlleiterkomponenten und eines neuartigen Hochspannungsmodulators nennen.

Nachdem bereits im letzten Jahr der Test eines horizontalen Multibeam Klystrons des japanischen Herstellers Toshiba erfolgreich verlaufen war, wurde in diesem Jahr der Prototyp eines horizontalen Multibeam Klystrons des amerikanischen Herstellers CPI erfolgreich getestet. Das Klystron erzeugt eine Leistung von 10 MW, bei einer Pulslänge von 1.5 ms und einer Folgefrequenz von 10 Hz. Vertikale Multibeam Klystrons sind seit einigen Jahren bei DESY in Betrieb. Für den XFEL werden aber horizontale Versionen benötigt, um die Klystrons im Beschleunigertunnel installieren zu können. Insgesamt werden beim XFEL 27 derartige Klystrons eingebaut werden.

Neben den bereits oben erwähnten Arbeiten für die XFEL-Hohlleiterverteilungen, die bei FLASH eingesetzt werden, wurden Einzelkomponenten weiterent-

wickelt. So konnten z. B. Zirkulatoren so verbessert werden, dass die bisher maximal mögliche Pulsleistung bei einigen Zirkulatoren von 350 kW auf 500 kW gesteigert werden konnte.

Hochspannungsmodulatoren generieren die von Klystrons zur HF-Erzeugung benötigten Hochspannungspulse von 120 kV. Im letzten Jahr wurde begonnen, einen Modulator, der auf einem von einer schweizerischen Firma entwickelten Konzept beruht, als Alternative zu den bereits bei FLASH eingesetzten Bouncer-Modulatoren für den XFEL zu untersuchen. Die ersten Tests wurden mit einem 5 MW Klystron als Verbraucher durchgeführt. Dieser Teil wurde erfolgreich abgeschlossen und der Testbetrieb mit einem 10 MW Multibeam Klystron unter XFEL-nahen Bedingungen aufgenommen. Bis jetzt verläuft der Testbetrieb erfolgreich. Diese Arbeiten werden von der Zeuthener HF-Gruppe am Modulator-teststand in Zeuthen unter Beteiligung der Gruppe MHFp und weiterer DESY-Gruppen durchgeführt.

Die Gruppe MHFp 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 (AMTF) mitgearbeitet. Diese Anlage wird mit drei Testständen ausgestattet werden, für deren Hochfrequenzsender die Gruppe ebenfalls zuständig ist.

Innerhalb der AMTF-Halle wird MHFp auch die Waveguide Assembly and Test Facility (WATF) aufbauen. Die WATF wird benötigt, um die Hohlleiterverteilungen des XFEL aus von Industriefirmen gefertigten Einzelkomponenten zusammenzustellen, zu testen und für die Montage an den Modulen vorzubereiten. Da die Gesamtzahl der Hohlleiterkomponenten mehrere Tausend beträgt ist eine genaue Planung der Prozeduren erforderlich, um die Hohlleiterverteilungen innerhalb des geplanten Zeit- und Kostenrahmens mit der geforderten Qualität fertigen zu können.

Die Ergebnisse der Arbeit der Gruppe wurden bei Konferenzen und Workshops veröffentlicht.

Control System –MCS–

Das Aufgabengebiet der Gruppe MCS ist der Betrieb und die Weiterentwicklung der Kontrollsysteme aller Beschleuniger bei DESY/Hamburg sowie die Konzeption und Verwirklichung des Kontrollsystems des zukünftigen europäischen Röntgenlasers 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.

Rechnergestützte Beschleunigerkontrollen

Vorbeschleuniger, DORIS und PETRA III

Das Berichtsjahr war geprägt von der erfolgreichen Inbetriebnahme des neuen Kontrollsystems von PETRA III, das termingerecht und im veranschlagten Budgetrahmen bereitgestellt werden konnte. Damit sind die Kontrollsysteme der gesamten Beschleunigerkette von LINAC II über DESY II bis zu PETRA III modernisiert und auf einen gemeinsamen Standard umgestellt. Dieser Standard zeichnet sich u. a. durch die hauptsächliche Verwendung von Java als Programmiersprache auf der Client- und Serverebene, durch die verbreitete Verwendung sogenannter *embedded* Server, die Benutzung der Feldbustechnologie CANopen und durch den Einsatz der Kontrollsystemsoftwaresuite TINE (Three-fold Integrated Networking Environment) aus. Das alte Kontrollsystem des Speicherrings DORIS wird bis zum absehbaren Betriebsende im Jahr 2013 nicht mehr grundlegend verändert werden.

Die auf dieses Jahr verschobene Inbetriebnahme der fünf neuen Hauptnetzgeräte von DESY II stellte eine große Herausforderung dar. Verteilt über mehrere Mo-

nate wurden die alten Geräte schrittweise ersetzt, was in Zusammenarbeit mit den Gruppen MKK und MSK einen komplizierten Mischbetrieb von alter und neuer Bedienungssoftware zur Folge hatte. Daneben wurden verschiedene andere Programme zur Bedienung der beiden Vorbeschleuniger auf Grund der gewonnenen Betriebserfahrungen weiterentwickelt oder erstmalig bereitgestellt.

Den wachsenden Anforderungen aus der Inbetriebnahme von PETRA III folgend wurde das zentrale Betriebsautomatisierungsprogramm, der sogenannte Sequenzer, in seiner Funktionalität erweitert. So konnte das langwierige *Ausbacken* des Vakuumsystems mithilfe des abgestrahlten Synchrotronlichts des gespeicherten Teilchenstrahls weitgehend ohne Eingriffe durch das Bedienungspersonal erfolgen. Auf diese Erfahrungen aufbauend, wurden Weiterentwicklungen für den geplanten Top-Up Betrieb implementiert, der ein gezieltes, regelmäßiges Nachfüllen des Teilchenstrahls erfordert. Der Sequenzer, der in unveränderter Form auch beim Beschleuniger FLASH zum Einsatz kommt, ist darüber hinaus das Programm, mit dessen Hilfe reproduzierbar Betriebszustände eingestellt, wiederhergestellt oder als Referenz bereitgestellt werden können.

Das außerordentlich umfangreiche Strahlführungssystem bei PETRA III mit ungefähr 600 individuell betriebenen Magnetnetzgeräten wurde erfolgreich in das Beschleunigerkontrollsystem integriert. Entsprechend der Topologie der auf dem ganzen DESY Gelände verteilten Netzgeräte ist die Magnetkontrolle ebenfalls ein verteiltes System das auf *embedded* Servern, Ethernet und CANopen Feldbusnetzen basiert. Neben den Standardbedienungsfunktionen stellte insbesondere das simultane Verändern von Setzwerten von Gruppen von Magneten ohne Verlust des gespeicherten Strahls eine große Herausforderung dar. Diese Funktionalität wird zur gezielten, lokalen Veränderung des Strahlorbis und zur automatischen Orbitstabilisierung benötigt. Alle Netzgerätecontroller sind mit sogenannten Transientenrekordern ausgestattet, die es ermöglichen, z. B. kurzzeitige Störungen der Netzgeräteregelung aufzuzeichnen. Ein umfangreiches Softwarepaket, das diese Informationen der Bedienungsmannschaft im Kontroll-

raum in geeigneter Weise zu Anzeige zu bringt, ist zurzeit in Entwicklung.

Daneben wurde eine Vielzahl von Client-Serverprogrammen u. a. zur Bedienung und Visualisierung des Timing Systems, des Hochfrequenzsystems, des Vakuumsystems, des technischen Interlocks, der umfangreichen Strahldiagnostik, zur Temperaturüberwachung oder zur Manipulation des Strahlorbits bereitgestellt. Einer besonderen Erwähnung bedarf der sogenannte Orbitserver, der ca. 230 über Ethernet verbunden Messstationen für den Strahlorbit regelmäßig mit einer Rate von 6 Hz ausliest und gleichzeitig verschiedene Spezialfunktionen anbietet.

Außerordentlich bewährt hat sich auch die Bereitstellung von speziellen Softwareapplikationen durch die beteiligten Beschleunigerphysiker der Gruppe MPY. Die verwendete Programmiersprache MATLAB besitzt eine Schnittstelle zum Kontrollsystem und ermöglicht ein flexibles Programmieren, das insbesondere bei der Durchführung und Auswertung von Messreihen von großem Nutzen ist.

FLASH

Das schnelle Datenerfassungssystem (DAQ) für den Beschleuniger und die Photonen-Experimente wurde stark erweitert. Es wurde ein weiterer, zentraler Server installiert und in Betrieb genommen. Dieser Rechner hat 4 Quad-Core CPUs, die je 2 Threads parallel laufen lassen, zusammen also 32 parallele Prozesse und 32 GB gemeinsam zugreifbarer Speicher. Durch diesen zusätzlichen Server können jetzt 4 unabhängige DAQ-Instanzen parallel betrieben werden. Der Datenspeicher wurde um 40 TB für den FLASH-Betrieb und um 34 TB für Experimente erweitert. Eine weitere Beamline wurde mit dem DAQ ausgerüstet, dadurch können nun 3 Beamlines mit unabhängigen DAQs betrieben werden.

In einer dreiwöchigen Studie wurde FLASH mit höheren Strahlströmen betrieben, Ziel waren 9 mA. Diese Studien wurden zusammen mit anderen internationalen Instituten im Rahmen des ILCs durchgeführt. Es waren unter anderem aus den USA ANL und FNAL sowie

KEK aus Japan beteiligt. Für die Auswertung wurden sämtliche Daten von zwei Wochen Betrieb aufgenommen und gespeichert. Dabei wurde jeder Elektronen-Bunch in 1100 Kanälen aufgezeichnet und zusätzlich 800 Werte mit 5 Hz sowie 100 Kanäle von Middle-Layer Servern. Zusammen ergibt dies 18 TB Daten, die international ausgewertet werden. Auch die Auswerteprogramme wurden stark erweitert. Als Service dafür stehen 4 Rechner bereit, auf denen jeweils 4 Daten Server laufen, die wiederum je 10 Datenkanäle gleichzeitig bedienen. Dieser Daten-Service wurde in verschiedenen Applikationen implementiert. Auf die DAQ-Daten kann mit MATLAB zugegriffen werden. Es wurde ein spezieller DAQ-Daten-Browser entwickelt, der es gestattet, alle vorhandenen Daten auszuwählen und in Plots darzustellen. Ebenso wurden die DAQ Daten in dem grafischen Userinterface jddd zur Verfügung gestellt. Die Photonen- Experimente benutzen darüber hinaus ein C/C++-Interface, um die gesammelten Daten auszuwerten.

Das DAQ-System wird auch stark als sogenannter Middle-Layer-Service benutzt. Im Berichtszeitraum wurde eine Erkennung von Quenches in allen Cavities hinzugefügt und betrieben.

Als Vorbereitungen für den FLASH Shutdown wurde begonnen, die Software aller LLRF Stationen anzugleichen sowie neue Stationen hinzuzufügen. Diese Änderungen betreffen alle Ebenen, die Server-Prozesse, die Automatisierung und die Anwendungsprogramme.

Allgemeine Kontrollsysteminfrastruktur

Auch die Arbeiten an der allgemeinen Kontrollsysteminfrastruktur waren durch die Anforderungen des Kontrollsystems bei PETRA dominiert. Zentrale Softwarekomponenten wie z. B. die Kontrollsoftwaresuite TINE oder das sogenannte Common Device Interface, eine standardisierte Schnittstelle für Feldbusse, speicherprogrammierbare Steuerungen o. ä., wurden auf Grund der Erfahrungen und neuer Erfordernisse aus dem Betrieb der Beschleuniger weiterentwickelt und verbessert. Die Software der vielen hundert CANopen-basierenden Controllermodule z. B. zur Steuerung der

Magnetnetzgeräte kann nun von einer zentralen Stelle aus über das Kontrollnetzwerk verteilt werden. Die allgemeinen Kontrollsystemdienste (Alarmsystem, Datenarchive, Softwarebereitstellungsdienst etc.) wurden auf leistungsfähigere und ausfallsichere Server portiert. Web Server bieten im Internet dynamische Übersichtsseiten des Beschleunigerbetriebs an, und Terminalserver erlauben einen sicheren Zugang zu den Kontrollsystemen auch von außerhalb. Alle Versorgungshallen von PETRA und der Beschleunigertunnel wurden mit einem modernen Computernetzwerk ausgestattet. Ein Ortungsdienst erlaubt die Bestimmung des Ortes jedes angeschlossenen Servers anhand der Netzwerkadresse, was z. B. für den Einsatz mobiler Vakuumpumpstationen von Bedeutung ist.

Digitale Controller und Front-End Elektronik

Im Laufe der letzten Jahre waren mehr als zwanzig neue Controller- und Adaptermodultypen entwickelt und zum Teil in Großserien von bis zu tausend Einheiten termin- und budgetgerecht gefertigt worden. Hinzu kamen ca. 100 Baugruppenträger. Alle Komponenten liefen nach ihrer Inbetriebnahme im Routinebetrieb fehlerfrei. Kein Modul musste getauscht werden. Zur Verbesserung der Wartungsmöglichkeiten und zur Kontrolle der Betriebszuverlässigkeit der neuen Module wurden mehrere Testprogramme bereitgestellt und in Betrieb genommen.

Der Schwerpunkt der Arbeiten lag im Berichtsjahr bei FLASH. Eine Vielzahl neuer Motorsteuerung auf der Basis von Beckhoff Soft-PLC (Programmable Logic Controller) Systemen wurde aufgebaut, programmiert, getestet und für den Einbau bei FLASH bereit gemacht. Die existierenden Controllereinheiten mit CANopen Schnittstelle zur Steuerung der Magnetnetzgeräte wurden durch neue Module ersetzt, die zu den bei PETRA III und den Vorbeschleunigern benutzten Modulen kompatibel sind.

Projekt European XFEL

Für den European XFEL wird ein neues Timing-System entwickelt. Ein erster Prototyp als AMC Modul (Ad-

vanced Mezzanine Module) zum Einsatz in MicroTCA-Crates (Micro Telecom Computing Architecture) wurde von dem Kollaborations-Partner, der Universität Stockholm, fertiggestellt. Die ersten Messergebnisse zeigen gute Resultate. In Zusammenarbeit mit anderen internationalen Instituten und Herstellern wurde an der Erweiterung des MicroTCA-Standards im Rahmen der PICMG-Standardisierungs-Organisation gearbeitet. Schwerpunkt ist eine Erweiterung für sogenannte Rear-Transition-Module, die maßgeblich durch XFEL-Aktivitäten vorangebracht werden.

Personen-Sicherheitssysteme –MPS–

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

Die Elektronikmodule und Geräte für die Sicherheitschaltungen werden bei MPS entwickelt. Sie sind mit zwangsgeführten Relais aufgebaut und in 60V-Technik verdrahtet. Die Schaltzustände der Sicherheitsrelais in den Elektronikmodulen werden über ein CAN-Bus-Interface per Computer ausgelesen, dabei wird das CANopen-Protokoll verwendet.

Dadurch wird eine Visualisierung und die Bedienung von Funktionen über ein Kontrollsystem ermöglicht, außerdem können Schaltzustände des Interlocks permanent auf Konsistenz geprüft werden. Eine Computersteuerung von Relais ohne entsprechende Voraussetzungen durch die Hardware-Logik ist in Schaltungen mit hoher Sicherheitsrelevanz ausgeschlossen, dagegen können Funktionen auf geringerer Sicherheitsstufe auch rechnergesteuert ablaufen.

Die Software für die lokalen Interlockserver wird von MPS konzipiert und in Java programmiert. Auch die erforderlichen TINE-Server für die Schnittstelle mit den Kontrollsystemen werden von MPS erstellt.

Ziele sind eine leicht zu pflegende Ablaufsteuerung, die Überwachung von Hardware sowie die Verlagerung aller logischen Funktionen von den Applikationen der Kontrollsysteme auf die Interlocksoftware.

Sowohl bei Aufbau der Hardware als auch der Software werden weitestgehend modulare Strukturen realisiert, um eine größtmögliche Transparenz und eine gute Prüfbarkeit der Systeme zu erreichen.

Entwicklungen

2009 lag der Schwerpunkt der Entwicklungen bei den Interlocksystemen für die neuen PETRA-III-Experimente. Die speziellen Anforderungen an Sicherheit und Funktionalität erforderten ein neues technisches Konzept, das erfolgreich realisiert wurde:

Beim Türeninterlock der Experimentiergebiete werden mehrstrahlige Lichtschranken eingesetzt zur Sicherung der offenen Gebietstür während der Absuche, außerdem wurde das DESY-Kartenlesesystem *DACHS* zur Überprüfung von Berechtigungen der Nutzer in die Absuchprozedur integriert. Für das Türeninterlock wurde ein neues sicherheitstechnisch verbessertes Steuermodul entwickelt und eine Backplane für das Crate.

Für die Steuerungen von Beamshuttern wurden neu entwickelte universelle Beamshutter-Module verwendet, die für eine gekoppelte Fahrreihenfolge von Beamshutter und zugehörigem Absorber oder andere spezielle Anforderungen in verschiedenen Modi programmierbar sind (Altera).

Ein solches Beamshutter-Modul wurde 2009 auch für den neuen Interlockanschluss DESY II/PETRA III zur gekoppelten Steuerung des Beamshutters BHE und des Beamstoppers BSE eingesetzt.

Für die Kontrolle der elektrischen Türöffnung von Beschleuniger-Zugangstüren wurden Interfacekästen für die DACHS-Terminals entwickelt und gebaut, mit

denen bei gesetztem Interlock eine Öffnung der Tür nur durch den BKR möglich ist (ZZ-Prozedur) und im Shutdown nur durch das DACHS-Terminal.

Bei der Softwareentwicklung wurde insbesondere ein neues System für den Überwachten Zugang (ZZ) geschaffen, das eine erhebliche Verbesserung der Sicherheit bei diesen Vorgängen bedeutet. Diese Entwicklung wurde in enger Kooperation mit einer kompetenten Firma durchgeführt.

Außerdem wurde neue Java-Software erstellt für die neuen Schlüsselmodule und die gesamten Interlocksteuerungen für den PETRA-Beschleuniger und die Experimente. Dabei wurde für die einzelnen Softwaremodule die Testabdeckung erheblich gesteigert.

Interlocksysteme an Beschleunigern und Testständen

Im Jahr 2009 wurden an den Interlocksystemen folgende Änderungen durchgeführt:

Linac II, DESY

- Inbetriebnahme der neuen ZZ-Software
- DACHS Interfacekästen für die DESY-Zugangstüren
- Neuer Interlockanschluss PETRA mit einer Steuerung für die Beamshutter BHE, BSE

FLASH

- CMTB Umstellung auf ACC39-Betrieb

PETRA-III-Beschleuniger

- Termingerechte Inbetriebnahme der neuen Interlocksteuerungen für Strahlfreigabe, HF-Freigabe und drei Magnetstromfreigaben. Außerdem wurden hier erstmals die im Vorjahr entwickelten neuen Module für Sicherheitsschlüssel als Ersatz

der alten Schlüsselkästen eingesetzt. Das Türeninterlock wurde technisch so aufgebaut, dass eine Brückung der Quertüren im Ring erfolgt, wenn beide benachbarten Gebiete gesetzt sind, so dass das früher praktizierte Durchschließen an den Quertüren bei überwachtem Zugang entfällt.

- Die gesamte technische Infrastruktur, Verkabelung, Elektronik und Software wurden neu konzipiert und neu aufgebaut. Das Interlocksystem wurde termingerecht im März fertiggestellt; die Erstabnahme erfolgte ohne Probleme und Beanstandungen und der Betrieb ist seitdem störungsfrei.

PETRA-III-Experimente

- In den MPS-Räumen der neuen Experimentierhalle wurde die technische Infrastruktur für die Versorgung der Interlocksysteme aller Sektoren aufgebaut. 2009 wurden die Interlocksysteme für die technisch neuartigen Türeninterlocks, Freigabesteuerungen und Beamshuttersteuerungen für 18 Gebiete an 5 Beamlines in Betrieb genommen. Dabei gab es bei den Erstabnahmen keine Beanstandungen der Interlocktechnik. Im Jahr 2009 waren 40% der Belegschaft von MPS im BKR-Teilschichtdienst tätig.

Diagnose und Instrumentierung –MDI–

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

Die Gruppe MDI ist zuständig für Erfassung und Messung der Strahleigenschaften in allen Beschleunigern und Speicherringen bei DESY. Dazu gehören die Messung und Analyse von Strahlage, Strahlströmen, Strahlprofilen, der Strahlverluste und die Integration von diversen Signalen in den Maschineninterlock-Systemen zum Schutz vor Zerstörung von Komponenten. Für das Projekt PETRA III entwickelte MDI nahezu die komplette Strahldiagnose und nahm diese erfolgreich in Betrieb. Für das europäische Projekt

XFEL wurden detaillierte Planungen für alle Belange der Strahldiagnostik weitergeführt, sowie Neuentwicklungen für Diagnostik (auch im Rahmen von Kollaborationen) gestartet.

PETRA III

Ein Schwerpunkt der Arbeiten von MDI war die Inbetriebnahme der Diagnosekomponenten für PETRA III und deren Bereitstellung im Beschleuniger-Kontrollraum für die Inbetriebnahme des Beschleunigers.

BPM System

Die für PETRA III geforderten Spezifikationen des Libera BPM-Systems konnten im Betrieb erfolgreich bestätigt werden. Eine Auflösung von deutlich unter $0.5\ \mu\text{m}$ (rms) bei 10 Hz Bandbreite im neuen Achtel konnte nach Abzug der vorhandenen Strahllageschwankungen gemessen werden (siehe Abbildung 62). Das System war sofort in der Lage, die ersten Injektionen und Umläufe in PETRA III zu messen, so dass die Strahlage entsprechend korrigiert werden konnte und schnell gespeicherter Strahl erreicht wurde. Die Anbindungen der Strahlage-Monitore an das Orbit-Feedback System wurden erfolgreich in Betrieb genommen und weiterentwickelt. Die Server- und Client-Anteile der Strahlage- und Orbit-Software, sowie der Diagnose-, Service- und Wartungssoftware wurden erfolgreich in das neue PETRA-III-Kontrollsystem integriert. Die Software wurde in den erforderlichen Grundfunktionen vervollständigt und erfolgreich getestet. Umsetzung und Test der erweiterten Nutzerfunktionen (Server und Clients) sind für Anfang 2010 in Zusammenarbeit mit der Gruppe MCS geplant.

Die für die zur Beobachtung von mechanischen Bewegungen der BPMs im Bereich der Experimentierhalle eingesetzten *High Frequency Movement Monitore* (HF-MoMo) wurde erfolgreich justiert und in Betrieb genommen. Das System beobachtet Verschiebungen von Vakuumkammern, die durch diverse Einflüsse stattfinden können. Unter anderem konnte damit schnell

und sehr einfach ein Berühren eines fahrbaren Undulators mit dem Strahlrohr nachgewiesen werden. Die Umsetzung und Integration der Archivfunktionen der HF-MoMo-Software in die neue Kontrollsystem-Umgebung wurde 2009 erfolgreich durchgeführt und getestet. Damit konnten erste Korrelationen zwischen Temperatur-Unterschieden und Strahllagemessungen analysiert werden.

Strahlstrom

Alle neu in PETRA III eingebauten FCTs und DCCTs (Fast- und DC Current Transformer) lieferten zuverlässige Messwerte. Die neue, schnelle Bunchstrom-Messung mit einem schnellen Digital Oszilloskop wurde erfolgreich ins Kontrollsystem eingebunden.

Zur transversalen Emittanzmessung bei PETRA III wurden zwei Systeme vorgesehen, ein Laser-Wire Scanner sowie ein Synchrotronstrahlungs-Monitor mit abbildender Röntgen-Optik, der in eine Diagnose-Beamline integriert ist. Beide Systeme wurden fertig installiert und erfolgreich in Betrieb genommen.

Beim *Laser-Wire Scanner* wurde die Laser-Einkopplung modifiziert, so dass ein größerer Laserspot am Ein- und Austritt der Vakuumkammer vorliegt. Dadurch wird eine Verkleinerung der Energiedichte im Laserspot an den Vakuumfenstern erreicht und die Gefahr ihrer Alterung/Zerstörung verringert. Während des Betriebs mit Elektronenstrahl wurden sämtliche Komponenten in Betrieb genommen und die Synchronisation zwischen Laser- und Elektronenstrahl etabliert und optimiert. Es konnten Scans der transversalen Strahlverteilung durchgeführt werden. Verschiedene systematische Beiträge wie der Einfluss der Laser-Leistung sowie des zeitlichen und örtlichen Jitters wurden mit dem Resultat untersucht, dass sie einen sehr geringen Einfluss haben. Zur Einbindung ins Kontrollsystem wurden Kontroll- und Auswerteprogramme entwickelt, die die Hardware ansteuern und automatisierte Scans mit Emittanzberechnung ermöglichen.

An der Röntgen-Diagnosebeamline wurde der Aufbau zweier Detektoren abgeschlossen, mit deren Hilfe die Beobachtung der Abbildung des Strahlprofils durch

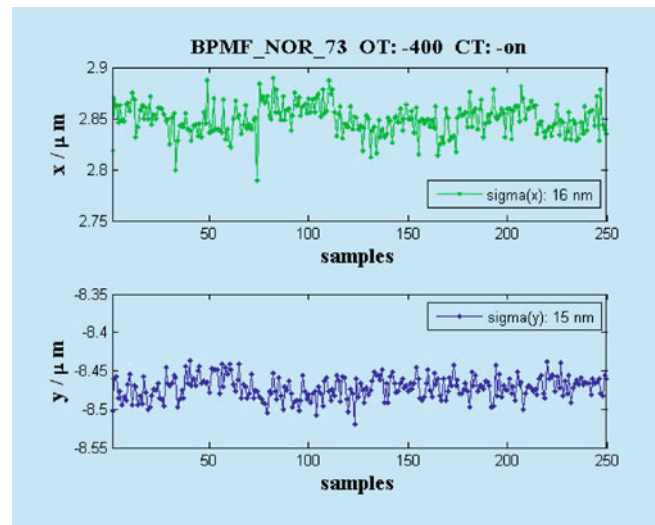


Abbildung 62: Auflösungsmessungen an den BPM System NOR-73 bei einem Strahlstrom von $I = 12 \text{ mA}$ die mit Zero-Offset-Emulatoren am Elektronik-Eingang (Abzug der Strahllageschwankungen) durchgeführt wurden. Eine Auflösung von 15 bzw. 16 nm konnte bei einer Bandbreite von 10 Hz gemessen werden.

Synchrotronstrahlung entweder polychromatisch oder monochromatisch möglich ist. Sämtliche Komponenten der Diagnosebeamline wurden in Betrieb genommen und Profilmessungen des Elektronenstrahls durchgeführt. Anhand dieser Messungen konnte belegt werden, dass PETRA die geforderte horizontale Design-Emittanz von 1 nm rad erreicht hat.

Der Aufbau der optischen Diagnosebeamline zur Bunchlängenmessung wurde abgeschlossen, ihre Inbetriebnahme ist im Gange. Erste Messungen zur Bunchlänge wurden bereits durchgeführt, mit Wiederanlauf von PETRA soll ein betriebsbereiter Bunchlängenmonitor zur Verfügung stehen, der schrittweise ins Kontrollsystem integriert wird.

Mit der Inbetriebnahme des E-Weges wurden gleichzeitig die neuen Schirmmonitor-Einheiten im Transportkanal sowie der Injektionsschirm in PETRA in Betrieb genommen. Dank ihrer Hilfe konnte der Elektronenstrahl ohne größere Schwierigkeiten von DESY zu PETRA gefädelt und injiziert werden.

Die Arbeiten zum Schrittmotor-getriebenen Bewegen der Scraper und der Kollimatoren wurden abgeschlossen, so dass deren Bedienung vom Kontrollraum aus möglich ist.

Das *Maschinen-Protection-System* wurde erfolgreich in Betrieb genommen und kontinuierlich an neue Anforderungen angepasst, die u. a. durch die stufenweise Inbetriebnahme der PETRA-Undulatoren und der Strahlpositionsmontoren (BPMs) entstanden. Ein Archiv-System ermöglicht die nachträgliche Analyse der Alarm-Signale, die zu Strahl-Dumps geführt haben. Das System arbeitete bisher sehr zuverlässig und ist der zentrale Bestandteil des Maschinenschutzes von PETRA III. Es sind noch Verbesserungen der Analyse von Dumps geplant, und durch eine Synchronisierung des gesamten über alle PETRA-Hallen verteilten Systems sollen sowohl Timestamps für alle Alarmer als auch ein Post-Mortem-Trigger mit Mikrosekunden-Genauigkeit realisiert werden. Durch zusätzliche Redundanz im Alarm-Auslöse-Pfad und eine Überwachung des zugeordneten Strahlstrom-Monitors soll das verbliebene Risiko für PETRA minimiert werden.

Das Temperaturmesssystem zum Schutz der Vakuumkammern in besonders kritischen Bereichen (z. B. Dämpfungswiggler, Undulatoren etc.) wurde erfolgreich in Betrieb genommen. Derzeit sind ca. 1900 Temperatursensoren aktiv im System eingebunden. 95% der eingesetzten Temperatur-Messkanäle wurden abschnittsweise durch Funktions- und Zuordnungstests im Kontrollsystem getestet. Seine Nützlichkeit zeigte sich bei unerwarteten Temperaturerhöhungen an den Absorbern durch Synchrotronstrahlung in Bereichen der Wiggler und der Beamlines. Durch die Messungen und durch entsprechende Alarmer wurden Schäden an den Absorbern vermieden.

Das System zur Auslese und Verarbeitung der Pilotherm- und Wasserwächter-Signale wurde erfolgreich in Betrieb genommen und lief kontinuierlich mit.

DORIS

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

Vorbeschleuniger und Transportwege

An den im Jahr 2008 modernisierten Strahlmeßsystemen in den Vorbeschleunigern und Transportwegen konnten während des erfolgreichen Betriebes in 2009 noch weitere Verbesserungen vorgenommen und getestet werden. Außerdem konnte die Inbetriebnahme der BPM-Systeme im Transportweg für PETRA III durchgeführt werden. Eine Umsetzung von erweiterten Funktionen der Vorbeschleuniger BPM-Systeme für PIA und DESY II in der Kontrollsystem-Software ist für Anfang 2010 geplant.

Der Test eines neuen 3-GHz-Ausleesystems für die Knopf-Strahllagemontoren in LINAC II und PIA (First Turn) konnte mit einem erfolgreichen Aufbau und mit Messungen an einem Testsystem abgeschlossen werden. Für 2010 ist die Ausrüstung der Strahllagemontoren in LINAC II und PIA mit der neuentwickelten Ausleseelektronik geplant.

Ein neues PXI-basiertes Mess- und Kontrollsystem für Strommontoren wurde ins DESY-Beschleuniger-Kontrollnetz integriert. Damit stehen die Messwerte aller induktiven Strahlstrommontoren, auch aus L-Weg, R-Weg und E-Weg, jetzt in digitaler Form zur Verfügung und können auch im Archiv gespeichert werden.

Für die Magnetüberwachung wurde von MDI ein neues Pilothermsystem in DESY 2 aufgebaut.

FLASH

Die Entwicklung eines von Jitter und Drift einer externen Master-Clock unabhängigen Eigentripper-Moduls für die BPM-Systeme wurde weiter vorangetrieben und in FLASH erfolgreich vorgetestet.

Zur Auslese von *Low-Charge BPM* Signalen im Ladungsbereich 0.1 bis 1.2 nC wurde für die geplanten FLASH Anwendungen die bestehende Entwicklung des analogen Frontends auf Basis der Delay Multiplex Single Path Technique (DMSPT) weiter vorangetrieben und im digitalen Backend mit einem Konzept für eine schnelle und hochgenaue digitale Auslese auf Micro-TCA-Basis erweitert. Für 2010 ist der Bau und Test

eines Prototyps der Low-Charge Elektronik in FLASH geplant.

Nach den Schäden an dem Strahlrohr bei dem ersten Versuch mit langen Pulsen im Jahr 2008 wurde eine neue zusätzliche Strahldiagnose geplant, entwickelt und beim Dumpline-Umbau eingebaut und in Betrieb genommen. Dies beinhaltete neue Strahlage-, Verlust- und Halo-Monitore:

- Ein neuer Strahlagemonitor (Knopf-Typ) wurde zwischen den letzten Quadrupolen vor dem Dump eingebaut, ein Ersatzmonitor wurde am oberen Ende der Dumpline sowie ein neuer Typ eines Lagemonitors am unteren Ende der Dumpline in Luft installiert. Da die neue Dumpline keine Flansche mehr aufweisen sollte musste der Lagemonitor zwischen Austrittsfenster und dem Dump in Luft (Stickstoff) funktionieren. Klassische BPMs hätten ein zu großes Untergrundsignal durch ionisierte Luft erhalten. Dieses Problem wurde durch einen induktiven *BPM* mit magnetischen Schleifen gelöst, welcher kaum ein Untergrundsignal zeigte.
- Zusätzlich wurden in dem Bereich Strahl-Halo-Monitore (BHM) aus Diamant bzw. Saphir eingebaut, die sensitiv auf Änderungen der Strahlhalo-Position reagieren. Diese Monitore arbeiten wie eine (Festkörper-) Ionisationskammer und waren äußerst sensitiv. Der BHM wurde von DESY-Zeuthen entwickelt, aufgebaut und betrieben. Mit den BPMs und den BHMs wurde sichergestellt, dass der Strahl zentral durch das Fenster und nicht vorher am Strahlrohr verloren ging.

Abbildung 63 zeigt den Aufbau hinter dem Dumpfenster mit dem induktiven *BPM* und den geschirmten BHM.

Um Strahlverluste im Bereich der neuen Dumpline zu detektieren, wurden verschiedene Strahlverlustmonitore (BLMs) entlang der Dumpline oben, unten, links und rechts eingebaut:

- Vier lange Ionisationskammern bestehend aus zwei Meter langen, luftgefüllten $1/2''$ Flexwell

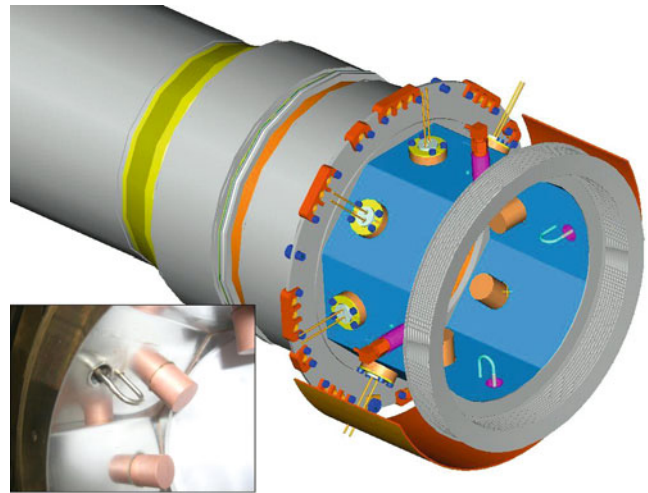


Abbildung 63: Das Ende der Dumpline mit magnetisch koppelnden (induktiven) *BPM* (Schleifen) und den geschirmten Halomonitoren (BHM) aus Diamant und Saphir (je 4 Stück).

Koaxialkabeln. Diese Kammern beobachteten die integralen Verluste über den gesamten Puls. Die Auslese-Elektronik wurde von FE entwickelt und zeichnete sich durch einen sehr großen dynamischen Bereich aus.

- Vier Lichtwellenleiter-BLMs. Das durch Strahlverluste im Lichtleiter produzierte Cherenkov-Licht wurde von Photomultipliern ausgelesen, die an das Standard-BLM System von FLASH angeschlossen waren. Damit ließen sich auf die übliche Weise entsprechende Sicherheitsschwellen für akzeptable Strahlverluste setzen, um eine erneute Schädigung der Dumpline zu vermeiden.

Zur Vorbereitung und Bestimmung der Spezifikation von *HOM-BPMs* wurden während des Leistungs-Tests des 3.9 GHz Cryo-Moduls die *HOM* Spektren gemessen und analysiert. Die *HOM* Signale sollen für Strahlagemessungen in den Modulen genutzt werden, um damit die Ausrichtung der Cavities in den Modulen zu bestimmen.

Weitere Tätigkeiten von MDI bei FLASH waren Vorbereitung, Planung und Koordination der Diagnosekom-

ponenten für den Shutdown 2009/2010 sowie der Einbau neuer BPMs, BLMs und Strommonitore während der Shutdown-Zeiten.

European XFEL

Die Beteiligung von MDI am XFEL-Projekt konnte im Jahr 2009 erheblich gesteigert werden, da Mitte des Jahres die Belastungen durch das PETRA-III-Projekt zurückgingen. Weiterhin ergab sich auch im Rahmen der Gespräche über die *In Kind* Beiträge zum XFEL ein klares Bild über die Aufgaben von MDI im Rahmen des XFEL: MDI wird alle Systeme der Standard Diagnose (WP-17) des XFEL übernehmen bzw. maßgeblich daran beteiligt sein.

BPM System

Das BPM System für den XFEL wird in Zusammenarbeit mit PSI und CEA realisiert. Hier wurden im Laufe des Jahres die letzten offenen Punkte geklärt, so dass nach Gründung der XFEL-GmbH und dem Beitritt der Schweiz Ende 2009, Anfang 2010 die offiziellen Verträge geschlossen werden können. MDI übernimmt in dieser Kollaboration die Entwicklung der mechanischen Komponenten für Button-BPMs in den Beschleuniger-Modulen und warmen Beamlines sowie für Cavity-BPMs im Undulator und für kritische Stellen der Maschine. Die Elektroniken werden vom PSI entwickelt und für den XFEL beigestellt.

Bei den Cavity-BPMs handelt es sich um Neuentwicklungen, die auf Ideen von T. Shintake basieren. Für den im Undulator zu verbauenden Typ wurden im Berichtszeitraum erfolgreich Strahltests bei FLASH durchgeführt. Verbesserungen des Designs zur Unterdrückung orthogonaler Kopplung konnten im Labor und mit Strahl nachgewiesen werden (siehe Abbildung 64). Basierend auf diesen Prototypen werden zurzeit BPMs für einen Testaufbau eines weiteren Prototyps für eine der Undulator-Intersections gefertigt.

Eine zweite Cavity-BPM-Variante ist ein Präzisions-BPM, der an Stellen der Maschine eingesetzt werden soll, die besonders kritisch sind. Hierzu gehört z. B. der

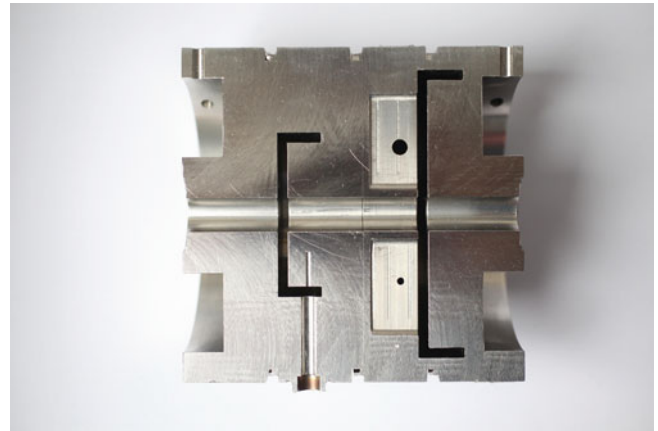


Abbildung 64: Schnitt durch einen Cavity-BPM (Undulator Typ). Man erkennt links den Referenzresonator, rechts den Dipolresonator mit den beiden Slots zur Unterdrückung des Monopolmodes. Bei dem Referenzresonator kann man gut den Schlitz für die Durchführung (Antenne) erkennen, die das Signal auskoppelt.

Einsatz im schnellen Intra-Bunchtrain-Orbitfeedback, das vom PSI entwickelt wird. Dieser BPM hat ein größeres Strahlrohr (40.5 mm), was die Auslegung der Resonatoren bei 3.3 GHz komplizierter macht. Von diesem Typ wurde das HF-Design erstellt und in eine Konstruktion umgesetzt, sowie Prototypen in der Industrie gebaut, welche die HF Spezifikationen erfüllen. Einer dieser Prototypen wird Anfang 2010 in FLASH in einem BPM Teststand eingebaut und mit Strahl getestet.

Im Bereich der Knopfmonitore wurde die Entwicklung des Monitors für die Beschleunigermodule vorangetrieben, damit die Teile rechtzeitig für die Serienfertigung der Module bereitgestellt werden können. Ein Prototyp für die Montage des PXFEL3 Moduls ist bereits an MKS übergeben worden, ein weiterer wird nach Abschluss der FLASH Umbauarbeiten für Strahltests dort zur Verfügung stehen.

Weiterhin wurde ein BPM-Teststand aufgebaut. Er beinhaltet 3 Cavity-BPMs in der Undulator-Bauform sowie einen Präzisions-BPM, die alle auf präzisen Verfahrenseinheiten montiert sind. Die Cavity-BPMs werden gefolgt von einem *Button-Array*, d.h. 3 Knopfmonitoreinheiten in einem Gehäuse. Dieser Teststand wird

Anfang 2010 bei FLASH hinter dem SASE-Undulator eingebaut und erlaubt parasitäre Messungen dieser Test-BPMs.

Parallel zu den Entwicklungsarbeiten laufen seit Sommer Vorserien in der Industrie zur Fertigung von XFEL-Komponenten und zur Qualifizierung von Lieferanten.

Ladungsmessung

Die Ladungsmessung bei XFEL wird mit Strommonitoren der bei DESY üblichen Toroid-Bauform erfolgen, die bei MDI hergestellt werden, wobei Verbesserungen durch differentielle Signalübertragungen vorgesehen sind. Eine Änderung wird im Bereich der Elektronik erfolgen. Hier wurde ein Konzept zur Ladungsmessung unter Verwendung des neuen XFEL Kontrollsystem-Hardwarestandards μ TCA entwickelt. Dieses schließt auch ein Transmissions-Interlock (Toroid-Protection-System bzw. TPS) ein, bei dem Strahlstrom-Werte von aufeinanderfolgenden Toroiden in Echtzeit über Glasfaser-Gigabit-Links verglichen werden. Eine zu große Differenz der Strahlstrom-Werte zeigt schädliche Strahlverluste an und führt zum sofortigen Abschalten des Strahles. Das TPS soll ein wichtiger Bestandteil des XFEL-Machine-Protection-Systems werden.

Eine weitere Entwicklung im Bereich der Ladungsmessung ist ein Dunkelstrommonitor, der die Ladungsanteile misst, welche durch Feldemission in der Elektronenkanone erzeugt und zusammen mit den Bunchen in der Maschine transportiert werden. Da diese Elektronen eine (geringfügig) andere Impuls- und Energie-Verteilung haben als die vom Kathodenlaser erzeugten Bunchen, führen sie zu erhöhten Ladungsverlusten und daher zur Aktivierung in der Maschine. Die Dunkelstrommonitore sollen diese Anteile messen und so helfen die Kollimation dieser Strahlanteile zu optimieren. Da die Ladung der einzelnen Dunkelstrompakete sehr klein ist sind sie mit den normalen Strommonitoren nicht zu erfassen. Hierfür wurden spezielle Cavity-Monitore bei 1.3 GHz entwickelt, die diese Stromkomponente schmalbandig und sehr empfindlich messen. Die 2009 gebauten Prototypen erfüllen die Spezifikationen und werden 2010 in FLASH und PITZ getestet.

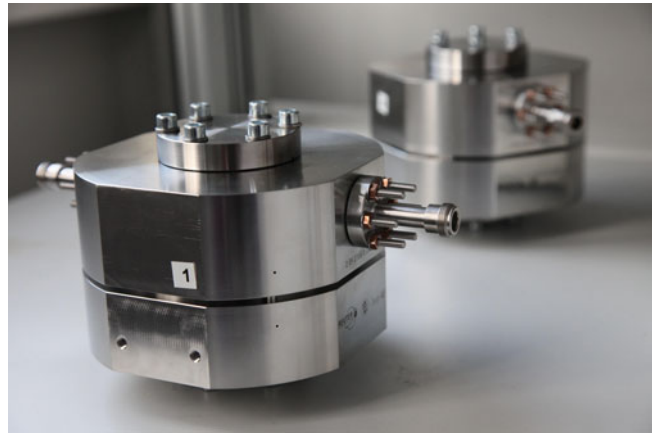


Abbildung 65: 1.3 GHz Dunkelstrommonitor. Prototyp für den European XFEL.

Strahlgrößenmessung/Emittanzdiagnostik

Beim XFEL werden zwei Prinzipien zur Strahlgrößenmessung verwendet. Mittels OTR wird die transversale Ladungsverteilung auf einem Schirm abgebildet und dann mit einem Kamerasystem aufgenommen. Beim Wire-Scanner wird ein dünner Draht durch den Strahl gefahren, und es wird die Intensität der Streuung der Elektronen am Draht gemessen, die proportional zur Ladungsdichte an dieser Position ist. Die erste Methode ergibt ein direktes Bild des Strahl-Querschnittes, die zweite gibt Projektionen des Strahl-Querschnittes auf die der Scan-Richtung entsprechenden Achsen.

Für den European XFEL wird eine OTR Station mit sehr hoher Auflösung entwickelt, die ein großes Bildfeld scharf abbilden soll. Die üblichen Schirme stehen unter 45° zur Strahlachse und spiegeln daher das Licht senkrecht zur Strahlachse heraus. Hierdurch kann auf dem Schirm nur auf eine Linie fokussiert werden. Liegt der Strahl jenseits dieser Linie reicht die Schärfentiefe oft nicht aus. Daher soll das sogenannte Scheimpflug-Prinzip verwendet werden welches es erlaubt, durch Verkippung von Objekt-, Objektiv- und Bildebene den kompletten Schirm scharf abzubilden.

Wire-Scanner für eine Maschine wie den XFEL haben durch die gepulste Zeitstruktur zusammen mit den langen Bunchzügen spezielle Anforderungen zu erfüllen.

Der Draht muss so schnell durch den Strahl gefahren werden, dass er nicht durchbrennt, d. h. er muss innerhalb weniger 100 μs den Strahl passieren. Da die Strahlgröße aber nur ca. 100 μm beträgt, muss der Scanner ausreichend genau mit dem Strahl synchronisiert werden. Basierend auf den Erfahrungen bei FLASH und den oben genannten Anforderungen wird zurzeit ein neuer und schneller (1 m/s) Scanner mit einem Linear-Motor entwickelt, der auf 10 μs genau triggerbar sein soll.

Strahlverlust-Monitore und Dosimetrie

Der XFEL-Strahl soll eine mittlere Leistung von 600 kW beinhalten. Daher können selbst Bruchteile dieser Energie bei Strahlverlusten massive Schäden am Beschleuniger verursachen. Selbst geringe Strahlverluste können Aktivierung zur Folge haben und die im Tunnel installierten Elektronik stören oder zerstören. Daher wird der XFEL mit einem dichten Netz von ca. 250 Strahlverlustmonitoren (BLMs) ausgerüstet, die über das Maschinen-Protektions-System den Beschleuniger mit einer Reaktionszeit von weniger als 30 μs abschalten können. In diesem Projekt arbeitet MDI mit der Gruppe FE zusammen, um schnelle Auslese- und Interlockelektroniken für die BLMs auf Basis des μTCA -Standards zu entwickeln. Die Entwicklung der BLMs selbst findet im Rahmen einer Zusammenarbeit mit dem Institut für Hochenergiephysik (IHEP) in Protvino bei Moskau statt.

Zusätzlich zu den schnellen Verlustmonitoren befasst sich MDI auch mit der Realisierung eines Dosimetrie-systems. Dieses System misst und integriert die Strahlendosen an kritischen Stellen des Beschleunigers, z. B. an den Undulatoren oder in den Elektronikschränken. So können Probleme frühzeitig erkannt und rechtzeitig Maßnahmen zum Schutz der Komponenten eingeleitet werden.

Verkabelung

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

Steuerleiternetze in allen DESY-Beschleunigeranlagen und für den neuen Beschleuniger-Kontrollraum.

- 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 und Instandhaltung der Pilothersysteme in allen Beschleunigern.
- Ständiger Aufbau neuer Elektronik-Racks nach Anforderung aus den diversen Gruppen.
- Beendigung der Kabel- und Rack-Installationsarbeiten in PETRA III.
- Planung und Installationen von Kabeln und Lichtwellenleitern für diverse Komponenten in FLASH.
- Das neue DESY-weite und gruppenübergreifende Kabeldokumentationssystem wurde in Zusammenarbeit mit IPP und einer externen Firma (Long-IT) in Betrieb genommen und den Nutzern übergeben. Damit wird eine einheitliche Dokumentation aller Kabel und Verteiler bei DESY möglich.

Diverses

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

Die Dokumentationsunterlagen bei MDI wurden kontinuierlich erweitert und die MDI Webseiten wurden neu gestaltet.

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 sowie mit Kollegen von anderen DESY Gruppen zu den Studien über *HOM-BPMs* wurden fortgeführt. Diese Studien sind ein Teil des EuCARD Projektes (<http://eucard.web.cern.ch>).
- An FLASH wurden in Zusammenarbeit mit Kollegen vom INFN Frascati (Italien) Untersuchungen zur optischen Diffraktionsstrahlung (ODR) als nichtinvasiver Strahlemittanzmonitor weitergeführt. In diesem Zusammenhang wurde ein neuer lichtoptischer Aufbau konzipiert, der zu Beginn des Jahres 2010 im FLASH-Tunnel installiert wird.
- Die Kollaboration mit der Universität Jena und der GSI im Rahmen des Projektes *Cryogenic Current Comparator* (CCC) für die Dunkelstrommessung von supraleitenden Cavities wurde fortgeführt. Der CCC wurde an ein vorbereitetes Cavity montiert (siehe Abbildung 66) und wird Anfang 2010 in HoBiCat bei Bessy in Berlin getestet.
- 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 editierte die Workshop-Proceedings.
- Am Elektronenstrahl des Mainzer Mikrotrons MAMI wurden in Zusammenarbeit mit dem Institut für Kernphysik der Universität Mainz Testmessungen zum Einsatz von Lumineszenzschirmen an hochenergetischen Elektronenstrahlen im Hinblick auf den XFEL weitergeführt.
- 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 (<http://www.liv.ac.uk/ditanet>)).
- Diverse Unterrichtsbeiträge und Schulungsvorträge im Rahmen der CERN Accelerator School (CAS).

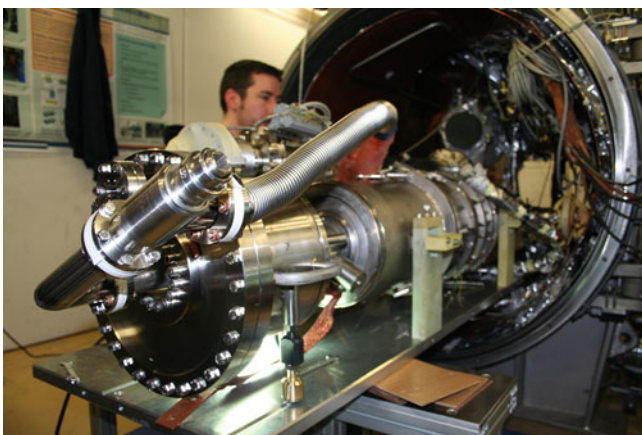


Abbildung 66: Der CCC zusammen mit dem supraleitenden Cavity beim Einbau in HoBiCat.

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. Zusätzlich werden Systeme zur Strahl Diagnose betreut.

Im Jahr 2009 stand bereits neben dem Tagesgeschäft, der Wartung und Instandhaltung der Feedback-, Timing, und Synchronisationssysteme aller Beschleuniger, und der Hochfrequenzregelung am FLASH und XFEL, die Entwicklung der Systeme für den neuen Europäischen Röntgenlaser XFEL im Vordergrund.

DESY II

Die Erneuerung der DESY II-Magnetstromsteuerung konnte erfolgreich abgeschlossen werden. Es wurden fünf neue digitale Stromversorgungen in Betrieb genommen, welche von einem neuen VME basierten System gesteuert werden. Das System umfasst eine neue digitale Sollwertsteuerungselektronik, neue Istwerterfassungselektronik und neue VxWorks basierte

Software. Ein neues Regelkonzept mit Sollwertvorsteuerung erlaubt nun eine bessere Fehlersuche im System, da sich die äußeren (Software) und inneren (PS) Regelschleifen abschalten lassen. Für zusätzliche Diagnostik wurden History-Server implementiert, die mit einer Abtastrate von 12.5 Hz mehrere Parameter der Magnetkreise speichern, die dann später analysiert werden können. Die derzeitige Speichertiefe beträgt sechs Monate. Letztlich konnte die Stabilität des Dipol-Magnetkreises um den Faktor 10 verbessert werden, die der anderen Magnetkreise um den Faktor vier. Dieses Ergebnis schafft nun exzellente Voraussetzungen für einen stabilen PETRA-III-Betrieb.

Die veraltete Umlauftaktzentrale (UTZ) und der Ejektionstrigger-Generator (ETG) wurden durch eine Neuentwicklung mit moderner Technologie ersetzt.

PETRA III

Alle Projekte des PETRA III Work package 06 für

- Machine Timing System
- Multibunch Feedback System
- Fast Orbit Feedback System

sind mit großem Erfolg in Betrieb genommen worden. Die vorgegebenen Ziele konnten in vielen Bereichen sogar übertroffen werden.

Auf Anhieb gelang es durch das Multibunch Feedback System in PETRA III einen Gesamtstrom von 80 mA mit 960 Bunchen (8 ns Bunchabstand) zu erzielen. Das entspricht der 12-fachen Rechengeschwindigkeit des Systems in Bezug zu PETRA II. Gleichzeitig sind die Anforderungen an die Strahlqualität extrem gestiegen, so dass nicht nur die Rechengeschwindigkeit, sondern auch die Verarbeitungsqualität gesteigert werden musste. Herausragende Verbesserungen konnten im Bereich der Detektortechnik erzielt werden. Seine Eingangsempfindlichkeit beträgt -162 dBm/Hz, so dass eine Signalbandbreite von 62.5 MHz mit 13 bit Auflösung erfasst und verarbeitet werden kann. Eine solch hohe Empfindlichkeit lässt sich allerdings nur nutzen, wenn entsprechende Kompensationsmaßnahmen für

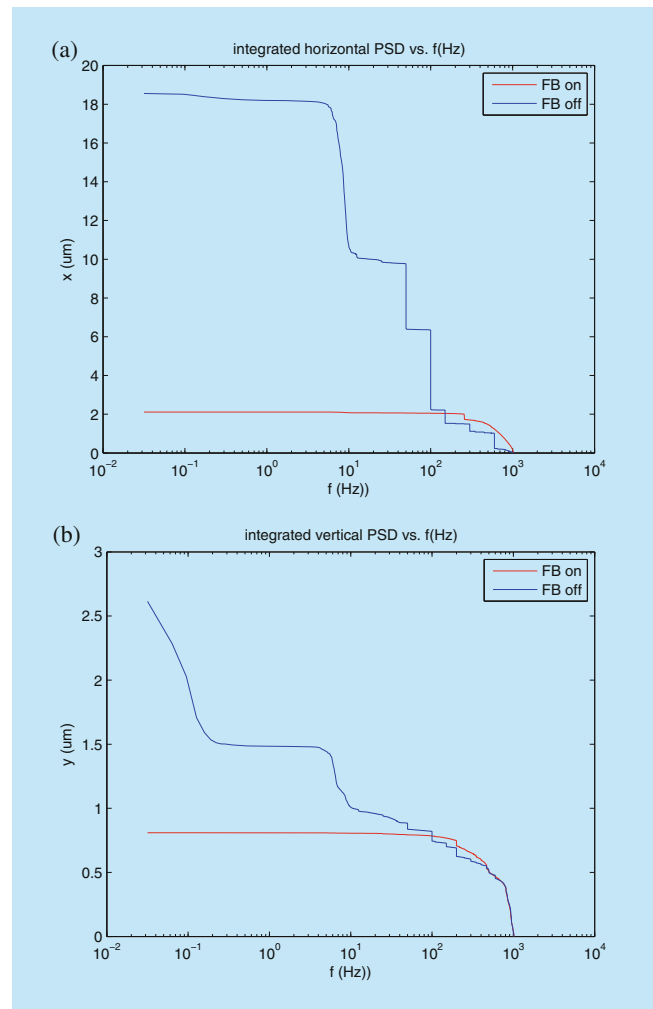


Abbildung 67: Integrierte Leistungsspektren von Orbitstörungen für Frequenzen unterhalb 1 kHz, jeweils mit und ohne Feedbackbetrieb.

Umlaufharmonische direkt am Positionsmonitor vorgenommen werden. Diese Technik ist bislang einzigartig. Sie erlaubt alle 8 ns eine Strahl-Positionsmessung in einem Bereich von ± 2 mm mit ca. 0.5 µm Auflösung!

Das Fast Orbit Feedback System ist ebenfalls sehr erfolgreich in Betrieb genommen worden. Es dient der Korrektur des horizontalen und vertikalen Strahlorbits vornehmlich im Bereich des Experimentenoktanten. Durch das System können Orbitstörungen mit Frequenzen bis zu über 100 Hz bedämpft werden. Die Strahlagepositionen aus 220 Positionsmonitoren werden di-

gital verarbeitet und 82 Korrektorspulen zugeführt. Die Strahlqualität konnte durch das System horizontal etwa um den Faktor 10 und vertikal ca. um den Faktor 3 verbessert werden. Besonders hervorzuheben ist, dass das Fast Orbit Feedback System über 8 Stunden Maschinenbetrieb die absolute Strahlqualität stabilisieren konnte, ohne dabei in Sättigung zu geraten.

Abbildung 67a und 67b zeigen die integrierten Leistungsspektren von Orbitstörungen für Frequenzen unterhalb 1 kHz, jeweils mit und ohne Feedbackbetrieb.

Für die Inbetriebnahme der sogenannten Libera-BPM-Module, zur Messung der Strahlqualität, war es notwendig, abweichend von der Standard-Transfersteuerung, einen Einzeltransfer zu generieren. Damit ist es jetzt möglich, bei Bedarf eine einzelne Injektion auszulösen.

Für die Frequenzmapping-Messung an PETRA III musste die Frequenzsteuerung der 500 MHz von ± 3 kHz auf ± 50 kHz erweitert werden. Zusätzlich wurde ein synchroner Anregungstrigger installiert, da für die Messung die Synchronisation der Hochfrequenz zu den Vorbeschleunigern aufgehoben werden muss.

Für die PETRA-III-Füllmoden und den TopUp-Betrieb wurden diverse Modifikationen am LINAC-II-Triggergenerator vorgenommen.

FLASH

Der neue Master-Oszillator und die Frequenzaufbereitung für alle bei FLASH eingesetzten Frequenzen konnte erfolgreich eingesetzt werden. Hiermit stehen nun FLASH eine Vielzahl von nahezu phasenstarrten Frequenzen bei einem absoluten Zeitjitter von 4 fs (rms) zur Verfügung. Die neue Elektronik beinhaltet weiterhin genügend Leistungsabgriffe, Überwachungsdiagnostik und eine unterbrechungsfreie Notstromversorgung, die in drei neuen Schaltschränken im klimatisierten Injektorbereich zusammengefasst sind.

Low Level RF

Im Jahr 2009 wurde vor allem das neue Reglerkonzept der digitalen Feldregelung getestet. Es besteht aus einem verbesserten Regler-Algorithmus, einem sogenannten MIMO-Regler, welchem ein komplexes Systemmodell des zu regelnden Systems zugrunde liegt. Die Daten hierfür wurden durch Messungen am Beschleuniger gewonnen. Mit diesem Ansatz konnte gezeigt werden, dass es möglich ist, die bisherigen Limitierungen, welche bei einem einfacheren Proportionalregler aufgrund der Schmalbandigkeit des Systems und der höheren Moden ($8/9\pi$) den Verstärkungsfaktor stark begrenzen, zu umgehen. Zusätzlich zur schnellen Feldregelung wurde außerdem ein neues adaptives Feedforward (sogen. *learning-Feedforward*) entwickelt, welches die repetitiven Störungen korrigiert und zudem schnell konvergiert und damit eine schnelle Adaption an neue Setzpunkte erlaubt. Mit diesen Methoden konnte die Feldstabilität (bei ACC1) stark verbessert werden. Sie zeigen den Weg zu einem optimalen Regler auch für den XFEL.

Ein weiterer wesentlicher Forschungsschwerpunkt – insbesondere hinsichtlich eines robusten XFEL Strahlbetriebes – betraf die Verbesserung der SASE Strahlqualität bezüglich der Kavitätenfelder im kritischen Injektorbereich. Mittels eines zweiten LLRF Rauschüberwachungssystems konnte an FLASH neben dem Beitrag der GUN von 120 fs der Beitrag der Felddetektoren von 40 fs Jitter bei der Feldmessung als wesentliche Ursache der Kurzzeit- und Langzeit-Stabilität für die ACC1 Kavitätenfelder und somit der SASE Stabilität erstmalig eindeutig nachgewiesen werden. Weiterhin konnten durch ein neues automatisches Kalibrationsverfahren der gesamten LLRF Detektorkette von ACC1 erstmalig an FLASH die Langzeitstabilitäten um mehr als den Faktor 100 auf einige fs verbessert werden. Diese automatische Driftkompensation wird nun in die neuen Elektroniken für den XFEL eingehen und ermöglicht den Einsatz rauscharmer Baseband Methoden. Die Rauschcharakterisierung der Felddetektoren bestätigte den Front-End ADC als die wesentli-

che Rauschquelle. Mittels einer Rauschanpassung aller Komponenten des Felddetektors und einem verbesserten Abtastverfahren konnte eine Kurzzeitstabilität von 0.003% in Amplitude und 0.003 deg in Phase pro Kanal erzielt werden.

Schließlich konnte auch ein erstes Testsystem der nächsten Generation der digitalen Hardware fertiggestellt und an der Maschine getestet werden. Insbesondere der neue Formfaktor ATCA (Advanced Telecommunication Computer Architecture), sowie ein neues, modulares Konzept soll die Elektronik langlebiger, zuverlässiger und zukunftsfähig machen.

Das neue Piezo-Tuner-System wurde in FLASH an den Modulen ACC3, ACC5 und ACC6 eingebaut. Erste Test werden fortgesetzt.

Drittes Harmonisches System für FLASH

Ein wichtiger Meilenstein für das *Third Harmonic System* konnte im November erreicht werden. Das sogenannte Dritte-Harmonische-System besteht aus einem einzigen speziellen Beschleunigungsmodul (ACC39) mit supraleitenden Cavities, welche nicht bei 1.3 GHz betrieben werden, sondern bei der dreifachen Frequenz, nämlich 3.9 GHz. Es wird ein essentieller Bestandteil des Europäischen Röntgenlasers XFEL sein, da nur mit seiner Hilfe die geforderten superkurzen Bunche erzeugt werden können. Ein erstes Modul mit vier Cavities wurde deshalb am Fermilab, USA, gefertigt und soll während des aktuellen Shutdowns 2009/2010 in FLASH eingebaut werden. Da es weltweit das erste seiner Art ist, musste es zunächst auf dem Cryomodul-Teststand CMTB seine Funktionstüchtigkeit unter Beweis stellen. Für die Feldstabilität ergeben sich die erheblich schärferen Anforderungen des Injektor-Linacs (bei FLASH bestehend aus RF-Gun, ACC1 und ACC39), nämlich 0.1 Promille Amplitudenstabilität und 0.03 Grad Phasenstabilität (Puls zu Puls), welche nun mit einem neuen Reglerkonzept erreicht, ja sogar unterboten werden konnten. Mit dem neuen Reglerkonzept (dem sogenannten MIMO-Regler) konnten Stabilitäten von $1.3 \cdot 10^5$ für Amplitude und 0.003 Grad für die Phase erreicht werden. Dies ist sogar etwas

besser als die besten Werte, welche im Jahr 2009 bei Tests für das 1.3 GHz System bei ACC1 erzielt werden konnten ($5 \cdot 10^5$ für Amplitude und 0.003 Grad für Phase). Hiermit werden, so glauben wir momentan, sogar die Anforderungen für den European XFEL bereits erreicht.

Vakuum –MVS–

Die Gruppe MVS betreut die Vakuumsysteme aller laufenden Beschleuniger bei DESY, Standort Hamburg sowie die Erstellung der Beschleuniger-Vakuumsysteme für die neuen Projekte PETRA III und European XFEL. Der Schwerpunkt der Arbeiten im Jahre 2009 betraf in der ersten Jahreshälfte PETRA III sowie in der zweiten Jahreshälfte den Umbau von FLASH.

PETRA III

Das Vakuumsystem von PETRA III wurde im Jahr 2009 komplettiert und in Betrieb genommen. Dazu gehört die Reinigung aller Komponenten, die abschließende vakuumtechnische Qualitätskontrolle, der Einbau in die Strahlführung sowie die Fertigstellung des Vakuumkontrollsystems. Die bis Jahresende 2009 erreichten Strahllebensdauern belegen die hohe Qualität des gesamten Vakuumsystems von PETRA III. Dies gilt obwohl im Bereich der Dämpfungswiggler noch keine Aktivierung der NEG-Schichten in den Wigglerkammern stattgefunden hat.

Alte Achtel

Die speziellen Vakuumkomponenten wie z. B. Kollimatoren, getaperte Kammern und Kompensatoren für die geraden Strecken wurden gefertigt, aufgebaut, justiert und vakuummäßig in Betrieb genommen. Die Kupferabsorber für die Dämpfungswigglerstrecken vom BINP in Novosibirsk sind angeliefert worden. Nach der vakuumtechnischen Abnahme durch MVS sind dann diese

Abschnitte eingebaut und in Betrieb genommen worden. Alle NEG-Pumpen in den alten Achtern wurden bis auf die NEG-Schichten in den Dämpfungswigglerkammern aktiviert.

Neue Achter

Im neuen Achter ist das Vakuumsystem komplettiert worden. Alle Untergestelle sind verbunden worden. Zusätzlich wurde das Vakuumsystem der Diagnose-Strahlführung aufgebaut. Auch im neuen Achter sind alle NEG-Pumpen aktiviert worden. Alle Undulatorkammern wurden von MVS gefertigt und in der Maschine aufgebaut. Die Arbeiten am In-Vakuum-Undulator sind von MVS unterstützt worden. Im Rahmen der Inbetriebnahme stellte sich heraus, dass die im neuen Achter eingebauten Stichabsorber eine optimierte Geometrie zur besseren Synchrotronlichtabschattung erhalten mussten. Diese sind von MVS gefertigt und direkt vor Ort eingebaut worden.

Für den weiteren Ausbau von PETRA III im Bereich PU1 sind die für den hier vorgesehenen 10-m-Undulatorkammern von MVS konstruiert und gebaut worden. Das zugehörige Halterungssystem ist ebenfalls von MVS entwickelt worden. Besonders hervorzuheben ist, dass die Oberflächenbeschichtung mit NEG-Material erstmals bei DESY durchgeführt wurde.

LINAC II und DESY II

Die Vorbereitungen für den Betrieb von PETRA III sind mit der erfolgreichen Inbetriebnahme der beiden Vorbeschleuniger abgeschlossen worden. Im weiteren Jahresverlauf fielen nur einige kleinere Wartungsarbeiten an.

DORIS

Bei DORIS lief der Beschleunigerbetrieb aus Vakuumsicht weitgehend problemlos. Es waren einige kleinere Wartungs- und Reparaturarbeiten vorzunehmen. Einige Vorbereitungen für das OLYMPUS-Experiment wurden abgesprochen.

FLASH

In Vorbereitung auf die Experimente mit langen Pulszügen und hohem Strahlstrom trat in 2008 ein Leck am Strahlrohr zum Strahldump auf. Als provisorische Lösung wurde eine Kupfersteckscheibe eingebracht. Ein neues Strahlrohr zum Strahldump ohne Flanschverbindung innerhalb der Abschirmung wurde vorbereitet. Zeitgleich zu dieser Änderung wurde auch zusätzliche Diagnostik in diesem Bereich hinzugefügt. Der Einbau des neuen Strahlrohrs im Sommer 2009 ermöglichte dann die Experimente mit langen Pulszügen und hohem Strahlstrom.

Die Vorbereitungen für den FLASH-Umbau sind abgeschlossen worden und im Herbst 2009 wurde mit dem Umbau von FLASH begonnen. MVS hat dazu die komplette Auslegung des Vakuumsystems erarbeitet sowie alle vakuumtechnischen Arbeiten durchgeführt. Dazu gehören die partikelfreie Reinigung aller Komponenten, die abschließende vakuumtechnische Qualitätskontrolle, der Einbau in den Beschleuniger sowie die Erweiterung der Ventilsteuerung und der Wiederaufbau der Pumpensteuerung.

Im Injektorbereich ist der geplante Umbau weit vorangetrieben worden. Die Elektronenkanone wurde getauscht. Das Ersetzen des Injektor-Beschleunigermoduls sowie der Einbau des 3.9 GHz Moduls wurde strahlrohrseitig abgeschlossen. Für diese Montagen sind die benötigten Vakuumbauteile bereitgestellt und die notwendigen Lecksuchen und massenspektrometrischen Untersuchungen durchgeführt worden. Für das 3.9 GHz Modul wurde das Kopplervakuumsystem konstruiert und hergestellt.

In Zusammenarbeit mit MIN wurde das Vakuumsystem für die Beschichtung und Qualitätskontrolle von Photokathoden aufgebaut. Die verwendeten Cs₂Te-Filme erfordern sehr gutes Vakuum, um eine hohe Quantenausbeute zu ermöglichen.

Im neu erstellten Bereich sFLASH wurde das gesamte Vakuumsystem ausgelegt und die Ein- und Auskoppelstrahlführung konstruiert. Die detaillierte Auslegung sowie die Fertigung der vier Spiegelvakuumkammern in der zentralen Konstruktion wurden intensiv betreut.

Die Detailkonstruktion der verbleibenden Komponenten bei MVS, insbesondere des Diagnoseblocks zwischen den Undulatoren, wurde abgeschlossen. Diese Komponenten sind hergestellt, gereinigt und eingebaut worden. Bei sFLASH wurden auch die Undulatorvakuumkammern konstruiert und gefertigt. Der Aufbau entspricht dem Halterungskonzept der Kammern beim XFEL. Die Kammern sind mittlerweile erfolgreich eingebaut worden.

Die Ventilsteuerung wurde im Bereich sFLASH erweitert und berücksichtigt nun die zusätzlichen Ein- und Auskoppelstrahlführungen. Der Wiederaufbau des Elektroniksystems zur Vakuumsteuerung und Überwachung ist weit vorangeschritten.

XFEL

Für den Europäischen XFEL wurde die Weiterentwicklung verschiedener Komponenten und Prozesse weiter vorangetrieben. Für Vakuummessgeräte und Pumpen wurden die Spezifikationen erarbeitet und weitere Geräte beschafft. Die Anforderungen an die Infrastruktur wurden zusammengestellt und es wurden vereinfachte 3D-Modelle der Vakuumsysteme für die Kollisionsprüfung der Gesamtinstallation des Beschleunigers zur Verfügung gestellt.

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. Ein gemeinsam entwickelter Prototyp befindet sich zurzeit in der Fertigung. 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 Ganzmetallichtung 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.

Der XFEL ist im gesamten vorderen Bereich bis 20 m hinter den supraleitenden LINAC als partikelfreie Maschine definiert worden. Dies hat Konsequenzen sowohl für die einzubauenden Bauteile wie auch für die einzuhaltenden Prozeduren. Für alle Komponenten in diesem Bereich ist daher sicher zu stellen, dass Reinigung und Einbau unter partikelfreien Bedingungen stattfinden können. Die Gruppe MVS hat hier intensive Gespräche mit den beteiligten Partnern durchgeführt und gemeinsame Entwürfe vorbereitet.

Weiterhin sind in diesem Bereich Anpump- und Belüftungsprozesse durchzuführen, die einen Partikeltransport vermeiden. Hierzu sind nach Experimenten mit einem Vakuumpartikelzähler, halbautomatische Vorrichtungen als Prototyp entwickelt worden. Zurzeit sind diese sogenannten Flutter in der Erprobung im Bereich der Prototypenfertigung für den XFEL bei DESY eingesetzt. Unter anderem sind die Anpump- und Belüftungsprozesse der Cavitystring- und Modulmontage für das Prototypbeschleunigungsmodul PXFEL1 komplett mit den Fluttern gemacht worden. Ein Indiz für den erfolgreichen Einsatz der Flutter sind die in diesem Modul erreichten exzellenten Beschleunigungsgradienten der Cavities.

Das Halterungskonzept der Undulatorkammern für den XFEL wird bei sFLASH und bei PETRA III eingesetzt. Der zurzeit laufende Einbau hat ergeben, dass keine wesentlichen Änderungen dieses Konzepts vonnöten sind.

Für die beiden Bunchkompressoren wurde ein Layout des Vakuumsystems erstellt. Um eine reinraumgerechte Montage und die Installationszeit 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 und gemeinsam mit der Vermessungsgruppe getestet. Diese Tests werden im Frühjahr 2010 beendet werden.

Im Bereich der Vakuumelektronik und -steuerung wurde die Entwicklung eines neuen Netzteils für die Getterpumpen fortgeführt. Eine Vorserie der Netzteile ist in der Fertigung.

Einige Vakuumkomponenten von HERA werden für den Europäischen XFEL weiterverwendet. Hierfür wurde die elektronische und mechanische Überarbeitung von Pumpständen für das Isoliervakuum fortgesetzt. Die Auslegung der Vakuumsysteme für die Modultesthalle AMTF wurde weiter detailliert und abgeschlossen.

Weitere Aktivitäten

Die Anlage zur Oberflächenbeschichtung von bis zu fünf Meter langen Kammern mit NEG-Material ist von MVS in Betrieb genommen worden. In Untersuchungen von aus Testkammern entnommenen Proben konnte eine gute Schichtqualität nachgewiesen werden. Die ersten Kammern sind schon für den PU1-Bereich von PETRA III zur Verfügung gestellt worden.

Für PITZ ist das normalleitende Booster-Cavity gebaut worden. Der Korpus des Cavities konnte fertiggestellt werden. Zurzeit werden noch die Kühlkanäle komplettiert. Für die weitere Vorbereitung der Inbetriebnahme in Zeuthen ist ein Pumpstand bereitgestellt worden.

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 hat intensiv weitere Spezifikationen für in der UHV-Technik verwendete Materialien erarbeitet und sich an der Überarbeitung der DESY-Vakuumspezifikation beteiligt. Diese Dokumente stehen inzwischen in Deutsch und Englisch zur Verfügung.

Kryogenik und Supraleitung –MKS–

Kryogenik

Betrieb der Heliumkälteanlagen

Seit dem Abschalten des HERA-Speicherrings im Juli 2007 ist nur noch eine der ehemaligen drei Helium-Kälteanlagen in Betrieb, um den FLASH-Linac, den Kryomodulteststand (CMTB), den XFEL-Magnettteststand (XMTS) und das ALPS-Experiment mit Kälte zu versorgen und in Kannen gefülltes flüssiges Helium zur Verfügung zu stellen. Eine zweite Kälteanlage stand jedoch bis zum Shutdown des FLASH-Linearbeschleunigers im September 2009 stets als Redundanz zur Verfügung und konnte bei Bedarf jederzeit die Kälteversorgung der oben genannten Verbraucher übernehmen.

Insgesamt wurden die oben genannten Verbraucher (insbesondere der FLASH-Linac) im Jahr 2009 mit einer Anlagen-Verfügbarkeit von 99% (98.4% mit Einbeziehung von Ausfällen der Infrastruktur) mit Kälte versorgt. Der FLASH-Linac wurde seit Wiederinbetriebnahme im Jahr 2007 durchgängig bis zum Beginn des Upgrade Shutdowns am 21. September 2009 durchgängig mit tiefkaltem Helium betrieben.

Für das Jahr 2009 sind sechs Unterbrechungen der FLASH-Linac Kälteversorgung zu vermerken:

Am 18. Januar kam es durch Kleintiereinwirkung zum Ausfall eines Transformators und zu einer fünfstündigen Unterbrechung der Heliumkälteversorgung. Am 04. Februar und am 16. März erforderten auskondensierte Gasverunreinigungen in der Heliumgasrückleitung des ACC1 und am Joule-Thomson Wärmetauscher in der Versorgungsbox des FLASH-Linacs ein teilweises Aufwärmen. Um die vollständige Abführung sämtlicher Verunreinigungen gewährleisten zu können

musste das Anwärmen, das Pumpen und Spülen des Wärmetausches und das darauf folgende Abkühlen im März auf ca. 80 Stunden ausgedehnt werden. Parallel wurden alle Durchführungen in den Unterdruckbereich der Linac-Kryogenik nach Lecks abgesucht. Mehrere kleine Lecks wurden gefunden und abgedichtet. Bis zum Aufwärmen zum Shutdown traten keine weiteren Probleme mit Verunreinigungen auf.

Am 06. Juni verursachte ein Ausfall eines Niederdruckkompressors eine fünfstündige Unterbrechung des Kälteprozesses in der Kälteanlage. Am 20. Juni führte ein Rechnerausfall zu einem Unterbruch der FLASH-Kälteversorgung. Am 04. Juli kam es in dem Kernkraftwerk Krümmel aufgrund einer Störung bei den Maschinentransformatoren zu einer Reaktorschnellabschaltung. Als Folge davon war die Primärenergieversorgung gestört und der Betrieb der Kälteanlage wurde für ca. 15 Stunden unterbrochen.

Die dritte Heliumkälteanlage (die zukünftige FLASH-Kälteanlage) wird die oben genannten Verbraucher und zusätzlich die AMTF mit tiefkaltem Helium versorgen. Diese Anlage wird zurzeit einer internen Revision unterzogen, um eine möglichst hohe Verfügbarkeit für die kommenden Jahre zu gewährleisten. Dabei können die im Rahmen der uns zur Verfügung stehenden Mittel nötigsten Arbeiten durchgeführt werden.

Bereits im Vorjahr wurde damit begonnen, die in der gesamten Anlage vorhandenen veralteten Filter sowie diverse Dichtungen präventiv auszuwechseln. Weiterhin wurden auch veraltete elektronische Komponenten wie z. B. die SPSen der Kompressoren oder Vakuumpumpstand-Schaltschränke gegen moderne Technik ausgewechselt, um Anlagenausfällen vorzubeugen. Die Außenflächen der Heliumspeichertanks für die Gesamtanlage wurden gereinigt und mit einem neuen Anstrich versehen. Ebenso wurden neue Anfahrtransformatoren für die Hochdruck-Schraubenkompressoren installiert. Alle Regel- und Digitalventile wurden einer Teil-Revision unterzogen. Die gesamte Druckluftversorgung für alle Regel- und Digitalventile der FLASH-Heliumkälteanlage wurde erneuert. Diese Arbeiten wurden im Dezember 2009 weitgehend abgeschlossen.

Das komplette Ein-/Ausgabesystem der Prozessrechner wurde auf PROFIBUS umgestellt. Durch diese Maßnahme werden der Betrieb und die Instandhaltung in Zukunft erleichtert. Außerdem ergeben sich erhebliche Einsparungen bei der Planung, Installation, Inbetriebnahme und der Dokumentation. Im Gegensatz zu den bisher eingesetzten zentralen Prozessrechnern mit einer zentralen Erfassung aller Signale werden jetzt die Signale dezentral im Feld erfasst und über einen Feldbus den Prozessrechnern zugeführt.

Im Zuge der Umstellung mussten auch die verarbeitenden Logiken und Ablaufsteuerungen von dem vorhandenen System auf das neue EPICS basierte System übertragen werden.

Im Herbst konnte ein erster wesentlicher Abschnitt der Umstellung mit einem Probelauf abgeschlossen werden. Die Kompressoren und die Cold-Box der FLASH-Kälteanlage können nunmehr über das neue Prozessleitsystem EPICS betrieben werden. Zu diesem Zeitpunkt wurden auch die neu entwickelten Module zur hochgenauen Erfassung von kryogenischen Temperaturen in Betrieb genommen.

Neu entwickelte Programme unterstützen die beteiligten Ingenieure bei der Erstellung von Prozesskonfigurationen und Ablaufsteuerungen. Sowohl das Database Creation Tool (DCT) als auch der State Notation Language Editor (SNL-Editor) wurden in Zusammenarbeit mit der Universität Hamburg als Erweiterungen für die vereinheitlichte Benutzeroberfläche Control System Studio (CSS) entwickelt. Eine Applikation zur Konfiguration von Ein-/Ausgabekomponenten wurde ebenfalls für CSS bereitgestellt, um die komplexen Strukturen der verteilten Feldbusse in den Prozessrechnern konfigurieren zu können. Andere CSS Komponenten, wie ein Alarmsystem und synoptische Displays sind bereits länger im Einsatz. Neue Anwendungen zur Darstellung von archivierten Daten, sowie zum Aufrufen von Dokumentationen ergänzen das neue Angebot für die Operateure.

Um die genannten Arbeiten durchführen zu können befindet sich die gesamte Kälteanlage seit Mitte November in einem dreimonatigen Shutdown, der mit den FLASH Arbeiten abgestimmt wurde.

ALPS

Auch in 2009 wurden die Messungen der ALPS Kollaboration zur Suche nach *Axion-artigen* neuen Teilchen in einem supraleitenden HERA Dipol in Halle 55 durchgeführt. Das Experiment wurde mit dem Betrieb des Magneten und der zugehörigen Infrastruktur unterstützt.

TTF-900-W-Heliumkälteanlage

Der Betrieb der 900-Watt Heliumkälteanlage zur Versorgung des TTF-Testfeldes verlief ohne nennenswerte Unterbrechungen. Kurzfristige Störungen aufgrund von Wartungsaktivitäten waren unvermeidlich, da es keine Redundanz für diese Kälteanlage gibt. Die Ventile für die Druckreglung der Schraubenkompressoren in Gebäude 47a wurden erneuert. Die 28 Jahre alte analoge Steuerelektronik für die Druckregelung wurde vollständig auf eine moderne SPS-Steuerung mit PROFIBUS-System und Anbindung an das EPICS-Kontrollsystem umgerüstet.

Wartungsarbeiten an den beiden Heliumpumpständen VC1 und VC2, die für die 2 K Heliumkältekreisläufe von FLASH, CMTB und TTF-Testfeld benötigt werden, wurden umschichtig durchgeführt, um Betriebsstörungen zu vermeiden. Mit Beginn des FLASH Shutdowns wurden am Vakuumpumpstand VC1 alle vier Drehschieberpumpen nach einer Laufzeit von $\sim 70\,000$ h durch neue Pumpen ersetzt.

TTF-Testfeld

In den Kryostaten des TTF-Testfeldes wurden insgesamt 124 Messungen und Tests durchgeführt, davon waren 97 vertikale und 27 horizontale Tests. Die Hauptaufgabe bestand in der Qualifizierung von Kavitäten zum Einbau in Kryomodule.

Im horizontalen Teststand (CHECHIA) wurden 2009, wie auch schon 2008, hauptsächlich systematische Tests an den Frequenztuningsystemen der Kavitäten für die XFEL-Module durchgeführt. Dabei wurden Zyklen durchfahren, die der Lebensdauer der Systeme im

XFEL-Linac entsprechen. Als Schwerpunkt der Messungen wurde die Standfestigkeit von Trockenschmierstoffen unter Tiefkalten- u. Hochvakuumbedingungen untersucht.

Im Hinblick auf den Bau und den Betrieb des XFEL-Linacs müssen die Kavitäten in ihrem Heliumtank als Druckbehälter betrachtet werden und der Europäischen Druckbehälterrichtlinie (DGRL 97/23/EG) entsprechen. Damit der geforderte Betriebsdruck von 4.0 bar zulässig ist, muss ein Drucktest mit dem 1.43-fachen des maximal zulässigen Überdrucks nachgewiesen werden. Ein solcher Test wurde mit der Kavität Z97 erfolgreich durchgeführt, deren Präparation der späteren Serienproduktion für den XFEL entspricht. Ein Drucktest bis 6.8 bar unter Umgebungstemperatur führte zu keinen plastischen Verformungen. Ein anschließender Test der Hochfrequenzeigenschaften bei Betriebstemperatur erbrachte keine Verschlechterung der Kavitäteneigenschaften.

Im vertikalen Testkryostaten 3 fanden Temperatur und Dichtigkeitstest bei Temperaturen zwischen 2 K bis 4.5 K an einem von der Gruppe MVS neu konstruierten pneumatischen Strahlrohrschieber statt, dieser Schieber ist für den Einsatz in den Kryoverbindungsboxen (String Connection Boxes) des XFEL-Beschleunigers vorgesehen. Des Weiteren wurden aber auch an elektrischen Durchführungen für die Kavitäten-, Strahllagemonitore Warm/Kaltfahr-Zyklen durchfahren, dafür mussten die Komponenten teilweise aufwendig mit zusätzlicher Temperatursensorik und Vakuumauslese ausgerüstet und bestückt werden.

Neben den Tätigkeiten am TTF-Testfeld bestanden die Hauptaufgaben im Zusammenbau von Beschleunigermodulen und deren Test auf dem Modulteststand (CMTB).

FLASH

Seit September 2009 befindet sich der FLASH-Linac für fünf Monate im Umbau. Für diesen FLASH Upgrade wurden drei Kryomodule zusammgebaut, vorbereitet und getestet. Dabei handelt es sich um das 1.3 GHz XFEL-Prototypmodul PXFEL1, das Modul

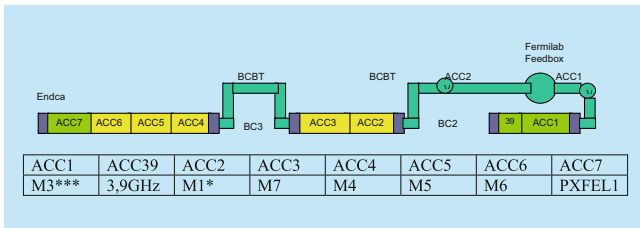


Abbildung 68: Kryomodule und Modulpositionen nach dem FLASH Up-grade.

3-3Stern und das 3.9 GHz Modul (ACC39). Abbildung 68 zeigt die Struktur des FLASH-Linacs nach dem Up-grade.

Modul 3-3Stern (TTF-Typ II) ersetzt das Modul 2-1Stern auf Position ACC1. Damit sollen die Hochfrequenzeigenschaften im Injektorbereich verbessert werden.

Das 3.9 GHz Modul (ACC39) ist ein Beitrag vom Fermilab. Der Zusammenbau und Transport des 3.9 GHz Moduls wurde unterstützt und begleitet. Vor der Montage auf dem CMTB-Teststand musste das Modul noch einmal zerlegt und nachgebessert werden. Der CMTB-Teststand wurde mechanisch an das kurze Modul angepasst. Dabei mussten erhebliche Umbauten und

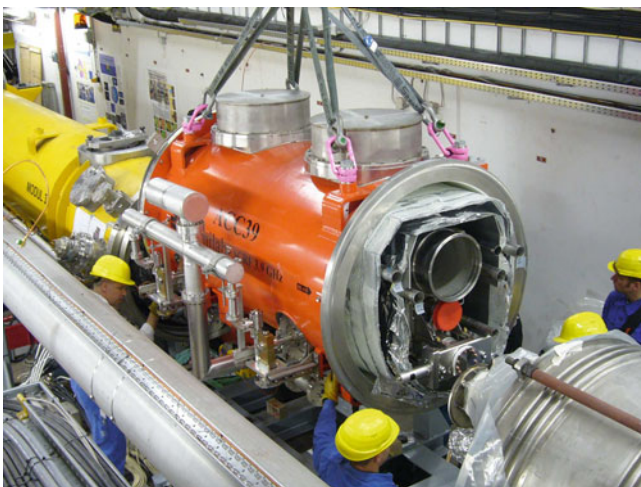


Abbildung 69: Modul 3.9 GHz Einbringen in den FLASH-Injektorbereich (ACC39)

Modifikationen durchgeführt werden, um das kurze 3.9 GHz Modul testen zu können. Ein komplett neues HF-System mit einer Frequenz von 3.9 GHz wurde aufgebaut. Der Test des 3.9 GHz Moduls konnte im November 2009 erfolgreich abgeschlossen werden. Die erreichte Leistung des Moduls liegt deutlich über den spezifizierten Werten. Das Modul konnte noch im Dezember zusammen mit dem Modul M3-3Stern in den Injektorbereich des FLASH-Linacs eingesetzt werden (siehe Abbildung 69).

Mit dem Einbau von Modul PXFEL1 auf Position ACC7 wird die FLASH Beschleunigungsenergie von jetzt knapp 1 GeV auf 1.2 GeV erhöht (siehe Abbildung 70).

Zum Einbau der Module erfolgten umfangreiche Umbauten am kryogenischen Verteilungssystem. Im Injektorbereich und Bereich ACC6 bis 7 wurden die sogenannten kryogenischen Endkappen inklusive aller Unterbauten und Rohrleitungen demontiert und auf den neuen Positionen wieder aufgebaut. Die FLASH Kryomodule wurden mit vergrößerten Überdruckklappen an den Vakuumbehältern ausgestattet. Aufgrund einer detaillierten Gefährdungsbeurteilung wurden überarbeitete Betriebsanweisungen für das Warm- und Kaltfahren des FLASH-Linacs herausgegeben. Der Einbau von Sauerstoff-Mangel Warmmeldern im FLASH Tunnel wurde vorbereitet.



Abbildung 70: Modul PXFEL1 beim Einbringen auf FLASH-Position ACC7.

SUPRALEITUNG

Präparation von Kavitäten

Im Jahre 2009 wurden insgesamt 31 Kavitäten für einen Erst- oder Nachtest behandelt. Es wurden durchschnittlich Feldstärken von 27.5 MV/m erreicht. Der beste Resonator erzielte über 40 MV/m.

Zusammenbau von Kavitäten für Kryomodule

Im Jahr 2009 wurden 3 Kavitätenstrings für die Module PXFEL1; PXFEL 2 (Prototyp-Module für den XFEL) und Modul 3-3Stern fertiggestellt. Im Modul 3-3Stern wurden insgesamt 5 Kavitäten ausgetauscht. Für dieses Modul kann auf Grund der Qualifizierungsmessungen in Vertikal- Kryostaten mit einem maximalen Energiegewinn von 29 MeV/m gerechnet werden (siehe Abbildung 71).

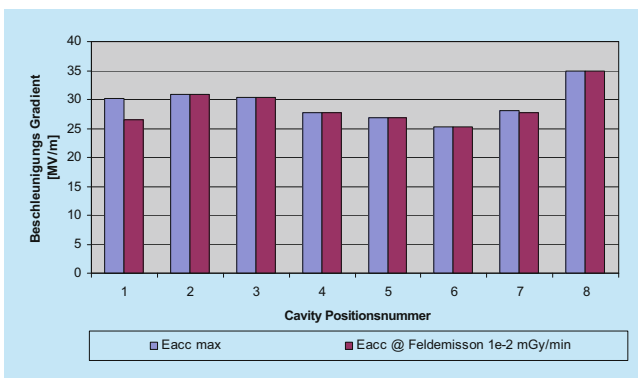


Abbildung 71: Verteilung der zu erwartenden Feldstärken im Modul 3-3Stern nach Austausch von insgesamt 5 Resonatoren.

Reinraum Infrastruktur

Der Reinraum in Gebäude 28 wurde nach ca. 14 Jahren Dauerbetrieb generalüberholt. In einem ca. 6-wöchigen Umbau wurde die gesamte lufttechnische Anlage erneuert und auf den Stand der Technik von 2009 gebracht. Neben der individuellen Regelung der Luftmengen und einer integrierten Nachtabsenkung der Luftgeschwindigkeiten ist eine Luftwärmerückgewinnung



Abbildung 72: Ansicht des Kavitätsstrings für das Modul 3-3Stern im erweiterten Arbeitsbereiches ISO 4 im Arbeitsbereich 1 (Gelbe Bodenplatten = Klasse ISO 4 Bereich; Graue Bodenplatten = ISO 5 Bereich).

und die Umstellung von so genannten *feucht* Wärmetauschern (Arbeitstemperatur 6°C–10°C) auf *trocken* Wärmetauschern (Arbeitstemperatur 12°C–15°C) erfolgt. Diese Maßnahmen ermöglichen eine Reduktion des Energieverbrauchs und der Betriebskosten um bis zu 30%.

Zur Präparation von Kavitäten ist der Reinraum mit Luftqualitäten von ISO4 (ASTM Klasse 10) bis ISO 7 (ASTM Klasse 10000) ausgestattet. Die Luftqualität im Arbeitsbereich Chemieraum und im Arbeitsbereich 1, in dem die Kavitäten und Modulstrings komplettiert werden, wurde durch Einbau von regelbaren Filter Fan Units (FFU's) von ISO 7 Standard auf ISO 6 verbessert. Weiterhin konnte im Arbeitsraum 1 der Montagebereich, in dem die Reinraumklasse ISO 4 verlangt wird, von 20 auf 46 m² vergrößert und damit mehr als verdoppelt werden. Diese Vergrößerung erlaubt es, die für den European XFEL geplante Montageabfolge für Kavitätenstrings in diesem Bereich zu erproben und zu optimieren (siehe Abbildung 72).

Auch im Arbeitsbereich der Chemieanlage und Aufreinigung (Ultraschall und Leitwertspülung) wurden zusätzliche FFU's installiert, so dass in diesem Montage- und Behandlungsbereich die Luftqualität von ISO 7 auf ISO 5 erhöht ist.

Im Zuge der Erneuerung der Klimaanlage des Reinraums wurde die von der Firma Caverion zur Verfügung gestellte Steuerung auf die speziellen Erfordernisse angepasst. Zurzeit wird für den Betrieb der Klimaanlage eine Visualisierung und Alarmierung konzipiert. Es ist vorgesehen, dass wichtige Alarmer der Klimaanlage direkt bei der Rufbereitschaft auflaufen, um die Reaktionszeiten bei Störungen der Klimaanlage zu reduzieren. Ein Server wird die Archivierung und Visualisierung aller Prozessdaten und Alarmer unter Verwendung der Simatic-Software WinCC (Windows Control Center) übernehmen.

Hochdruckspülen

Während der Umbauphase des Reinraumes blieben die Reinstwasseranlage und die Hochdruckspülen in Betrieb. Ein neu entwickelter Dauerspüladapter erlaubt es, die Leitungen und Spülsysteme auch außerhalb eines lufttechnisch einwandfreien Reinraumes permanent zu spülen und somit die Qualität des Wassers aufrecht zu erhalten. Durch diese Maßnahmen war es möglich, dass beide Hochdruckspülen direkt nach der Inbetriebnahme der Lufttechnik im Reinraum ihren Betrieb ohne Einbuße der Qualität wieder aufnehmen konnten. Insgesamt sind 129 Spülzyklen von 2 Stunden Dauer mit der Hochdruckspüle 1 (alte Hochdruckspüle mit beweglicher Sprühlanze) und 254 Spülzyklen mit der in 2008 in Betrieb genommenen Hochdruckspüle 2 durchgeführt worden.

European XFEL-Projekt

Arbeitspakete WP03 Kryomodule und WP09 Kavitätenpräparation

Die *kalten Massen* von drei XFEL Kryomodulprototypen wurden von drei verschiedenen Herstellern angefertigt und an DESY ausgeliefert. (Kalte Massen entsprechen einem Kryomodul ohne Kavitätenstring, supraleitendem Magnetpaket und Hochfrequenzkopplern).

Der Vakuum-Behälter und die kalte Masse für das Modul PXFEL1 ist ein *In-Kind* Beitrag von China/IHEP-

Peking zum European XFEL-Projekt. Der Bau fand unter der Verantwortung vom IHEP-Peking in China statt und dient als Nachweis der Qualifizierung. Die Lieferung an DESY erfolgte im Frühjahr. Das Modul wurde im April und Mai problemlos zusammengebaut. Im direkten Anschluss an den Zusammenbau erfolgte der Einbau des Moduls auf den CMTB-Teststand. Nach Abschluss aller Tests und Messungen konnten die Komponenten technisch qualifiziert werden (Abbildung 55).

Die statischen und dynamischen Wärmeverluste entsprechen – mit Ausnahme der statischen Verluste für den 2 K Kühlkreis – den Erwartungswerten. Die mit 11.3 W um ca. 8 W erhöhten Verluste im 2 K Kühlkreis sind auf die Konstruktion der Stromzuführungen für die supraleitenden Magnetpakete zurückzuführen. Weitere Messungen zeigten, dass in diesem Bereich ein thermischer Kurzschluss auftritt, sobald der Phasenübergang ins flüssige Helium II erfolgt. Die Konstruktion der Stromzuführungen wurde nach dem Test überarbeitet, um diesen Effekt zu vermeiden. Für den Betrieb im FLASH-Linac stellen die höheren Verluste aber kein Problem dar. Die nächsten Prototypen werden mit den neu überarbeiteten Stromzuführungen ausgestattet.

Beim PXFEL2 handelte es sich um einen von zwei in Europa ausgeschriebenen und gebauten Prototypen, der bei einer spanischen Firma gefertigt und im Juni an DESY ausgeliefert wurde. Der Zusammenbau, dieses Prototypen erfolgte im Juli und August und verlief ohne nennenswerte Probleme. Der CMTB-Test ist für März 2010 geplant. Nach dem CMTB-Test wird dieser Prototyp für die Inbetriebnahme der Infrastruktur und zum Training des Personals beim CEA-Saclay im Rahmen des französischen ‚In-Kind‘ Beitrages zum XFEL nach Frankreich transportiert. Ein erster Transporttest mit diesem Modul wurde im November 2009 erfolgreich durchgeführt und bestätigte die Messungen beim Transport von Modul 8 in 2008. Kryomodul PXFEL2 ist mit 8 Kavitäten ausgestattet worden, die alle die für den XFEL vorgesehenen Behandlungsschritten durchlaufen haben. Für diesen Prototyp ist auf Grund der in den Hochfrequenzmessungen im vertikalen Kryostaten ermittelten Daten ein Energiegewinn von 29 bis zu 31 MeV/m zu erwarten (siehe Abbildung 73).

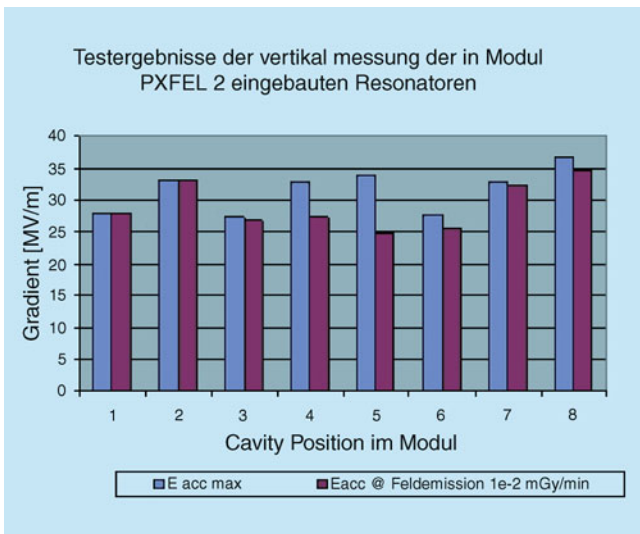


Abbildung 73: Verteilung der zu erwartenden Feldstärken im Modul PXFEL 2.

Die Komponenten für den dritten Prototypen PXFEL3 befinden sich in der Vorbereitung. Der bei einer französischen Firma gefertigte Vakuum-Behälter und die kalte Masse wurden im Dezember 2009 an DESY ausgeliefert. Im Januar 2010 findet die Eingangskontrolle dieser Komponenten statt und der Zusammenbau des Moduls wird im Februar 2010 beginnen. Der CMTB-Test wird gleich im Anschluss an den Test vom PXFEL2 erfolgen. Auch dieser Prototyp ist für die Inbetriebnahme und für das Training beim CEA-Saclay in Frankreich vorgesehen. Beide Prototypen werden in einem Zeitraum von ca. 15 Monaten mehrmals beim CEA-Saclay zusammgebaut, nach jedem Zusammenbau zum DESY transportiert und im CMTB getestet. Durch dieses Vorgehen sollen die Verfahren, Abläufe und Transporte für die spätere XFEL-Serienproduktion überprüft und qualifiziert werden.

Arbeitspaket WP 11: supraleitende Magnetpakete

In den ca. 100 XFEL Beschleunigermodulen befinden sich jeweils ein supraleitendes Magnetpaket mit Stromzuführungen. Jedes Paket enthält einen *super-ferric* Quadrupolmagneten. Dabei handelt es sich um supra-

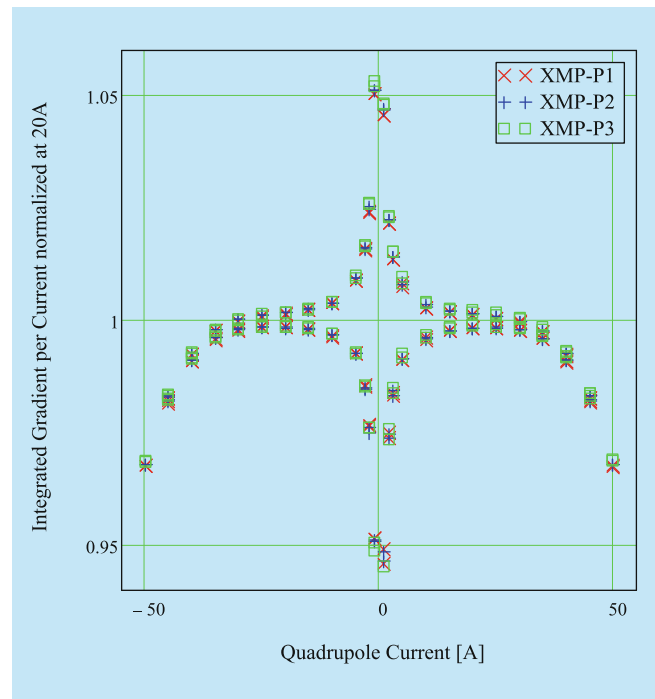


Abbildung 74: Normalisierte Transferfunktion des in den drei supraleitenden Prototyp XFEL-Magneten eingebauten Quadrupols.

leitende Spulen auf einem feldformenden Eisenjoch mit einem Gradienten von 35T/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 Strahlableitung 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 XFEL-Projekt. Die zum Magnetpaket gehörenden Stromzuführungen basieren auf einem bei CERN für den LHC benutzten Design und sind in industrieller Fertigung gebaut worden.

Zum Testen von Magnet und Stromzuführungen unter XFEL-Betriebsbedingungen wurde der Kryostat (XMTS) in der Magnettesthalle (H55) benutzt, in den jeweils ein Magnetpaket zusammen mit einer Stromzuführungen eingebaut wurden. Dieser Kryostat erlaubt

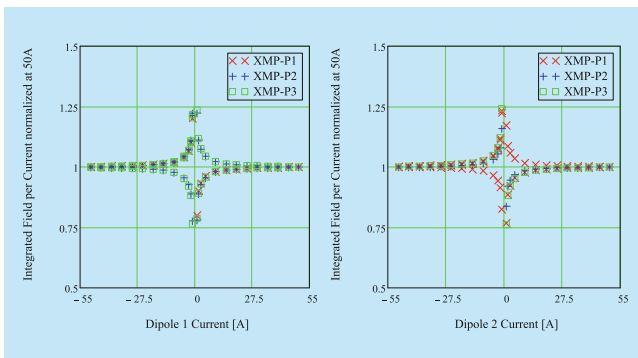


Abbildung 75: Normalisierte Transferfunktion des in den drei supraleitenden Prototyp XFEL-Magneten eingebauten Dipols.

es, die verschiedenen kryogenischen Betriebsbedingungen zu simulieren und dabei – mit einem über ein in einen Anti-Kryostaten einführbares Messsystem – die magnetischen Eigenschaften detailliert zu untersuchen.

Zunächst wurden die Stromzuführungen erfolgreich in einem Dauertest geprüft. Dabei wurde ein Dauerstrom von 55 A (Nominalstrom ist 50 A) über mehrere Stunden eingestellt. Der beobachtete Wärmeeintrag durch die Stromzuführung ins Helium-II-Bad bei 2 K war höher als erwartet- konsistent mit den Messungen am PXFEL1-Modul auf der CMTB. Dies führte zu einer Designänderung. Ein optimierter Satz von Stromzuführungen wurde bestellt und wird Anfang 2010 getestet.

Danach wurden die magnetischen Eigenschaften des Magnetspaketes getestet. Alle Magnete erreichten den Designstrom von 50 A, ohne zu quenchen.

Abbildungen 74 und 75 zeigen die normierten Transferfunktionen der eingebauten Quadrupol- und Dipol-Magneten als Funktion des jeweiligen Erregerstromes. Die Quadrupole zeigen ab ca. 30 A Sättigungseffekte von maximal 3% hervorgerufen durch das Jocheisen. Bei sehr kleinen Strömen zeigen alle Magnete Nicht-linearitäten. Diese werden durch supraleitende Wirbelströme im supraleitenden Kabel hervorgerufen. Besonders bei den Dipolmagnetspulen stören diese. Es sind daher konstruktive Änderungen geplant, die im Wesentlichen auf einem optimierten Kabel mit sehr dünnen supraleitenden Filamenten beruhen. Ein weiterer Prototyp

wird in Frühjahr 2010 bei DESY erwartet und dann getestet.

XFEL Arbeitspaket WP10: Accelerator Module Test Facility

Seit dem Beginn des Hallenbaus für die AMTF im Sommer 2009 wurde zur Klärung zahlreicher Detailfragen bei der Bauausführung beigetragen. Die Spezifikation und die Unterlagen für die Errichtung der Rohrleitungsbrücke zwischen Geb. 54 und der AMTF wurden erarbeitet und an ZBAU zur Ausschreibung weitergeleitet. Außerdem wurde an der Spezifikation (MEA1) für die Betonabschirmung der AMTF-Kryomodulteststände mitgewirkt. (Die Auftragsvergabe fand im Dezember statt).

Der Auftrag zur Fertigung und Lieferung der Helium-pumpen für den 2 K Heliumkältekreislauf in der AMTF wurde betreut. Der Anschluss der Heliumtransferleitung (XATL1) zwischen der FLASH-Heliumkälteanlage in Gebäude 54 und der AMTF wurde vorbereitet. Dazu wurde die HERA-Süd-Transferleitung aufgetrennt und an dieser Stelle eine Ventilbox installiert. Damit kann die neue Transferleitung nunmehr jederzeit ohne Unterbrechung der FLASH Kälteversorgung angeschlossen werden. Die Ventilbox wurde vollständig von MKS konstruiert und gefertigt.

Für die kryogenischen Komponenten der AMTF, die als XFEL *In-Kind* Beiträge aus Russland und Polen beige-stellt werden, wurden die technischen Spezifikationen (TS) fertig gestellt:

- Vorkühler XASB (TS fertig am 07.04)
- Vertikale Kryostaten (TS fertig am 21.04)
- Ventilbox XAVB (TS fertig am 07.07)
- Der 10m³ Speichertank für LHe (TS fertig am 14.08)
- Die Transferleitung XATL1 (TS fertig am 14.08)
- Die Modulteststände XATB (eine vorab kurze TS wurde am 29.01.2010 an den Hersteller übergeben)

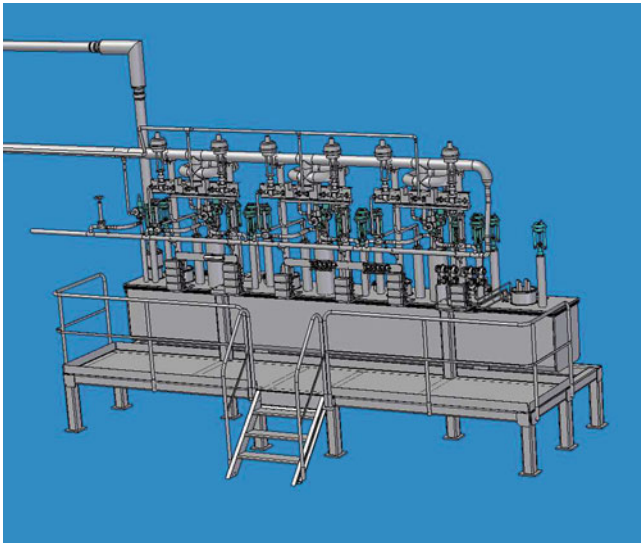


Abbildung 76: Eine Teilansicht der AMTF Vorkühlerbox XASB (IHEP Protvino)

Mit den Partnern (WUT Wrocław, IHEP Protvino und BINP Nowosibirsk) fanden zahlreiche technische Gespräche statt. Die Arbeit der beteiligten Institute wurde in die Prozesse bei MKS integriert. Teilweise wurden für die aufgeführten Komponenten schon fertigungsreife Konstruktionen erstellt (Abbildung 76).

Mitarbeiter des Institute of Nuclear Physics aus Kraków haben mit der detaillierten Planung der Arbeitsabläufe und Messungen in der AMTF begonnen.

Datenbank für supraleitende Kavitäten

In einer relationalen Oracle-Datenbank sind inzwischen mehr als 200 9-Zell-Kavitäten und 80 Einzeller gespeichert, zusammen mit den Daten der mechanischen und elektrischen Vermessungen der Halbzellen, Hanteln (Dumb-Bells), Endgruppen und HOM-Koppler, den Bausteinen der Kavitäten, von den verschiedenen Herstellern.

Die Datenbank beinhaltet insgesamt mehr als 1200 Präparationen und 1000 RF-Messungen an Kavitäten. Mithilfe dieser Datensätze werden die optimalen Präparationsverfahren für die XFEL Kavitäten ermittelt.

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 2009 wurde mit der Umstrukturierung der ursprünglich nur für die Unterstützung der Entwicklung von Kavitäten konzipierten Datenbank begonnen, um den Anforderungen der zu erwartenden Datenmenge der Serienproduktion für das XFEL-Projekt Rechnung zu tragen.

XFEL Arbeitspaket WP13: XFEL-Kryogenik

Es wurden diverse Arbeiten durchgeführt, um den Umbau der ersten und zweiten (ehemaligen HERA) Kälteanlagen zur zukünftigen XFEL-Kälteanlage vorzubereiten. Dafür wurden zwei Cold-Boxen, ein Heliumdewar sowie ein Helium-Anwärmer von der HERA-Verteilerbox getrennt. Anschlüsse der Niederdruckleitungen für die AMTF Pumpleitung und den Anschluss an den XFEL-Linac wurden ebenfalls in die Prozessführung der Kälteanlage integriert. Dabei wird die AMTF Kälteversorgung der FLASH-Kälteanlage zugeordnet.

Im Jahr 2010 beginnt der dreijährige Umbau der ersten und zweiten Kälteanlage zur zukünftigen XFEL-Kälteanlage. Dank der Vorbereitungsarbeiten kann der Umbau – soweit absehbar – ohne Störungen der FLASH-Versorgung vorgenommen werden.

Die endgültige Spezifikation für die XFEL-Heliumkälteanlage wurde weitgehend fertig gestellt, so dass die Auftragsvergabe im Frühjahr 2010 erfolgen kann, dabei wurden insbesondere verschiedene Varianten des Betriebes der Kalten-Kompressoren untersucht.

Eine Studie zur Untersuchung von Szenarien für einen Heliumaustritt im XFEL Tunnel wurde spezifiziert und im Rahmen eines Kollaborationsvertrages bei WUT Wrocław in Auftrag gegeben.

VERSCHIEDENES

DORIS Magnet- und Magnetkabelinterlock

Im DORIS-III-Speicherring kommt eine SPS vom Typ S5 155U sowie 2 Bedienerkonsolen, eine direkt vor Ort in der DORIS-Schauwarte und eine weitere im BKR, zum Einsatz. Um die Verfügbarkeit der Anlage zu maximieren, wurde die interne Kommunikation der Steuerung von MKS4 überarbeitet. Die Bediener Einheit im BKR ist jetzt autonom konzipiert, so dass beide Konsolen unabhängig voneinander betrieben werden können. Die Betreiber, das MKK-Schichtteam, verfügt nun über zwei voneinander unabhängige Bediener- und Beobachtungs-Einheiten. Somit entfällt die Abhängigkeit vom DESY-Ethernet.

ILC

Zwei ausgerüstete Kavitäten mit 31.3 und 30.7 MV/Mm wurden im Rahmen der ILC S1 global Aktivitäten präpariert und zum KEK Institut nach Japan zum Einbau in den sogenannten S1 String versandt.

LHC

Es wurde in zwei Arbeitsgruppen mitgearbeitet, die Vorschläge zur Erhöhung der technischen Sicherheit und der Personensicherheit für den Betrieb des LHC beim CERN ausgearbeitet haben (LHC Technical Risk Panel, External Panel on Personnel Risks).

Arbeitssicherheit

Der Aufbau eines Arbeitssicherheitsportals zur Durchführung computerunterstützter Sicherheitsunterweisungen wurde betreut. Das Sicherheitsportal wurde in Betrieb genommen.

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

Die wesentlichen Aktivitäten werden im Folgenden dargestellt:

PETRA III

MKK1 – Allgemeine Stromversorgung

Bei Petra wurden 2009 die Arbeiten im alten 7/8 vom PETRA-Ring abgeschlossen. In der Experimentierhalle (Gebäude 47c) wurden entsprechend dem Baufortschritt die einzelnen Hütten elektrotechnisch ausgerüstet.

MKK2 – Wasserkühlung

MKK2 beschäftigte sich mit der Planung der Anlagen und der Infrastruktur in der Experimentierhalle einschl. Konstruktion und Detailplanung. Im Tunnel wurden weitere Komponenten angeschlossen und in Betrieb genommen. Zur Geräuschreduzierung an den Wasserdrosseln erfolgte ein Umbau auf trichterförmige Blenden.

MKK3 – Heizung/Klima/Lüftung

Wärmeversorgungs-, Klima- und Lüftungsanlagen Die Wärmeversorgungs- und Klimaanlage für die neue Experimentierhalle wurden erweitert und der Nutzung entsprechend angepasst. Die Klimaanlage für den Beschleunigertunnel in der Experimentierhalle wurden errichtet und in Betrieb genommen. Die Klimaanlage für die Experimentierhalle erreichen ein

Temperaturkonstanz von $\pm 0.3^\circ\text{C}$ und für den Undulatorbereich sogar $\pm 0.05^\circ\text{C}$. Spezifiziert waren $\pm 1^\circ\text{C}$ für die Halle und $\pm 0.1^\circ\text{C}$ für die Undulatoren.

Die Klimaanlage zur Versorgung der bauseitig fertig gestellten Experimentierhütten und Kontrollhütten wurden errichtet, die Klimatechnik der Sektoren 5, 6 und 7 ist fertig gestellt und in Betrieb genommen.

MKK4 – Automation

Kühlwasserversorgungsanlagen Im Rahmen des PETRA-III-Neubaus wurden die Kühlwasserversorgungen Petra Süd, DESY II, Experimentierhallen I und II sowie LINAC II erneuert.

Das zurückliegende Jahr erforderte diverse Modifikationen und Arbeiten im Bereich der Steuerungstechnik, um die Anlagen unter Lastbedingungen zu betreiben. Mit zunehmenden Leistungen wurden die Parameter der Regelkreise optimiert. Das Zusammenspiel der Anlagenkomponenten, Hybridkühltürme, Kältemaschinen, Kühlwasserversorgung wurde studiert und abgestimmt. Zusätzliche Funktionen, z. B. das automatische Nachfüllen von Wasserkreisen, wurden in Betrieb genommen.

Im Bereich der Leittechnik wurden die Anlagen grafiken detailliert, die Störmeldeauswertung verfeinert. Über Bussysteme wurden die Kältemaschinen in die Leittechnik eingebunden.

Stromversorgung Die PETRA-III-Trafostationen und die Stromversorgung der Experimentierhalle wurden in der Beschaffungsphase mit einer Datenerfassungstechnik ausgerüstet. Die Systeme wurden jetzt nach Bereitstellung der Übertragungsnetze in die MKK-Leittechnik integriert. Leistungsdaten und Anlagenstatus werden visualisiert und bei Bedarf archiviert

Klimaanlagen/Heizungsanlagen Es wurden diverse neue Klimaanlage visualisiert und in das MKK-Kontrollsystem eingebunden.

Die raumluftechnischen Anlagen der PETRA III-Experimentierhalle, der -Tunnelbelüftung und -Tunnelklimatisierung sind über den Kommunikationsstandard

Bacnet mit dem MKK-Leitsystem verbunden. Das System arbeitet zuverlässig und unterstützt den Anlagenbetreiber in der ersten Erfahrungsphase mit zunehmenden Leistungsanforderungen.

MKK5/MKK6-Entwicklg./Magnetstromvers.

PETRA-III-Umbau Die Inbetriebnahme der Netzgeräte der ersten Halle SL wurde zu Beginn des Jahres fortgeführt. Gleichzeitig wurden die anderen Hallen sowie die Experimentierhalle weiter ausgerüstet. Die Lieferungen der Leistungskomponenten war Ende Januar erfolgt. Die Fertigung der digitalen Regelung sowie der Korrektornetzgeräte lief weiter bis in den Februar hinein. Während der Inbetriebnahmen wurden die Programme der digitalen Regelungen kontinuierlich optimiert.

Die Geräte konnten Anfang April, zwei Wochen nach der Tunnelschließung, komplett übergeben werden. Sie liefen von Anfang an zuverlässig.

Ebenfalls in den Wartungspausen wurde das Redundanzsystem in Betrieb genommen. Bei einem Netzgerätefehler kann damit der Magnet innerhalb kurzer Zeit auf ein Reservegerät umgeschaltet werden.

Insgesamt wurde die Software wesentlich erweitert, um verbesserte Diagnosemöglichkeiten zu erhalten. In Zusammenarbeit mit YERPHI, Armenien wurde eine Scan-Software entwickelt, mit der gezielt Messgrößen von allen Netzgeräten abgerufen werden können, um Probleme schnell zu finden.

MKK7 – Senderstromversorgung

Nach der Fertigstellung und der Inbetriebnahme der neu errichteten Senderstromversorgungen wurden Mängel an den Drosselklappen der Transformator- und Gleichrichteressel festgestellt. Nach Austausch aller Drosselklappen durch den Lieferanten wurden die Anlagen für den Beschleunigerbetrieb übergeben. Der Betrieb des HF-Systems unter realen Lastbedingungen wurde fristgerecht begonnen. Dabei wurden Regelungsverhalten und Schutzfunktionen der Senderstromversorgung optimiert sowie die Kommunikation mit dem HF-System

vervollständigt. Die Anbindung der Anlagen an das zentrale Kontrollsystem wurde fertig gestellt. Der routinemäßige Betrieb des PETRA-HF-Systems für den Strahlbetrieb des Speicherringes wurde aufgenommen. Die ersten Betriebserfahrungen mit der Senderstromversorgung über ca. 4000 h bei Teilauslastung sind sehr positiv.

DORIS

MKK5/MKK6-Entwicklg./Magnetstromvers.

Der Betrieb lief reibungslos.

Nach der Genehmigung des OLYMPUS-Experiments wurden detaillierte Planungen vorgenommen.

MKK7 – Senderstromversorgung

Zur Verbesserung der Verfügbarkeit und der Fernkontrolle ist für die Senderstromversorgung DORIS Süd/Rechts eine digitale Sollwertfernverstellung nachgerüstet worden. In einem weiteren Schritt soll das vorhandene Ignitron-Crowbar durch ein LTT-Crowbar ersetzt werden.

IOT-Testsender Für den Test des Prototyps eines 1.3-GHz-CW-IOT soll die Senderstromversorgung der ehemaligen DORIS-Feedback-HF verwendet werden. Entsprechende Vorbereitungen und Umrüstungen an der Anlage wurden vorgenommen. Der Testbetrieb wird Anfang 2010 beginnen.

DESY II

MKK5/MKK6-Entwicklg./Magnetstromvers.

Da die Netzgeräte nicht wie vorgesehen zum Betriebsbeginn von DESY im Jahr 2008 verfügbar waren, wurde ein sogenannter Mischbetrieb eingerichtet. Es wurde parallel zum Beschleunigerbetrieb mit den bisherigen Netzgeräten jeweils ein neues Gerät aufgebaut und auf einer Ersatzlast in Betrieb genommen. In der darauffolgenden Wartungspause konnte dann das Gerät

auf der Originallast gefahren und eingestellt werden. Am Ende der Wartungspause wurde das neue Gerät in den Betrieb übergeben. Auf diese Weise wurden nacheinander alle aktiven Netzgeräte ersetzt. Es fehlt noch die Inbetriebnahme des universellen Reservegerätes. Mit diesem Netzgerät können die Dipol- und Quadrupolnetzgeräte im Fehlerfall innerhalb kurzer Zeit ersetzt werden. Dieses Gerät wird im Shutdown Januar 2010 eingebaut.

Strahltransportweg DESY-PETRA Nach dem Umbau im Jahre 2008 laufen die Geräte im Betrieb für PETRA III sehr zuverlässig.

MKK7 – Senderstromversorgung

DESY II hat als Vorbeschleuniger eine hohe Priorität für den zuverlässigen Nutzerbetrieb von PETRA III und DORIS. Um die hohen Anforderungen an die Verfügbarkeit erfüllen zu können, ist die Errichtung eines zweiten HF-Systems für DESY II vorgesehen. Um eine kostengünstige Lösung zu erreichen, wird der vorhandene Testsender entsprechend umgerüstet. Hierzu sind erste vorbereitende Planungen und erste Beschaffungen durchgeführt worden.

LINAC I

MKK3 - Heizung/Klima/Lüftung

Es erfolgte ein Anlagenrückbau der nicht mehr benötigten Anlagen zur Umnutzung des Gebäudes im Jahr 2010 für ein neues Experiment.

FLASH

MKK2 – Wasserkühlung

Die Erweiterung des Pumpenhauses II sowie Shutdown-Arbeiten wurden durchgeführt. Außerdem wurde die Änderung der Klystron-Wasserverteiler in Halle II vorgenommen und mit der Planung FLASH II begonnen.

MKK5/MKK6-Entwicklg./Magnetstromvers.

Die Geräte liefen bis zum Beginn des Shutdowns im September sehr zuverlässig.

Für die Modulatoren wurden neue Kondensatorladegeräte beschafft. Im Shutdown wurden drei neue Modulatoren ersetzt, für die die Ladegeräte installiert wurden. Weiterhin wurden neue Magnetkreise ausgerüstet, für die neue Netzgeräte gefertigt, kalibriert und eingebaut wurden. Die bestehenden Korrekturen vom HERA-Typ wurden umgebaut, da es Probleme bei Netzstörungen gab.

HERA

MKK2 – Wasserkühlung

Die Kühlturmleitungen wurden gereinigt und auf Korrosion untersucht. Verschleißteile wurden getauscht und mit der Sanierung der Rohre wurde begonnen.

XFEL

Begutachtung der technischen Gebäudeausrüstung TGA

Für die technische Ausrüstung der Gebäude, Schächte und Tunnelanlagen wurde vom BMBF die Begleitung und Begutachtung nach dem sog. ZBau-Verfahren vorgeschrieben. Dazu finden monatliche Sitzungen mit der GMSH statt. Die Zahl der Antragslose und der Terminplan für die Abarbeitung der Antragslose wurde mit der GMSH, dem Bau und dem Einkauf abgestimmt und festgelegt.

Das erste Antragslos ist die AMTF. Die Antragsunterlagen mit der Kostenermittlung wurden der GMSH im März übergeben und von ihr geprüft. Nach Freigabe der Kosten durch das BMBF konnte mit der Beschaffung begonnen werden. Im Dezember lagen die Vergabeempfehlungen vor, so dass mit der Beauftragung der Firmen durch den Einkauf begonnen wurde. Die Installationen sollen März 2010 beginnen und im September 2010 für die Nutzer zur Verfügung gestellt werden.

MKK1 – Allgemeine Stromversorgung

Für den XFEL wurde die Elektrotechnik der AMTF-Halle (Gebäude 72) geplant und ausgeschrieben. Die Montage beginnt im März 2010.

Die Erweiterung der 10-kV-Hauptstation HST C und die Starkstromausrüstung der Modulatorhalle wurden planerisch bearbeitet.

Die Platzhalter für die Kabeltrassen und Elektroinstallationen wurde im 3D-Modell weiter eingepflegt.

MKK2 – Wasserkühlung

Es erfolgten die Detailplanung für die Hallen und Tunnel sowie die Datenaufbereitung für die Zusammenstellung von Kühlleistungen.

Die Ausschreibungen für die AMTF-Halle wurden erstellt. Die Montage beginnt im März 2010.

MKK3 – Heizung/Klima/Lüftung

Die Wärmeversorgungsanlagen und die Klimaanlage für die AMTF Halle, Pumpenhaus, Kompressor- und Kontrollgebäude wurden nach Abschluss der Prüfungen durch die GMSH ausgeschrieben. Die Montage der Anlagen beginnt im Februar 2010.

Die Entwurfsplanung für den Injektorkomplex, den XTL Tunnel, die Schachtgebäude und die XHEXP wurde fortgesetzt, die Planungen sind nahezu kollisionsfrei in 3D-Modell dargestellt.

Die Entwurfsplanung für die XHM ist abgeschlossen. Die Ausführungsplanung zur Erstellung des TGA Antrages Nummer 3 für die GMSH wird ausgeführt und im März 2010 fertig gestellt sein.

Eine Konzeptausarbeitung zur Wärmeversorgung des XFEL-Geländes in Schenefeld ist beauftragt und wird im März 2010 zur Bewertung und Abstimmung der weiteren Schritte vorliegen.

MKK4 – Automation

Kühlwasserversorgungsanlagen Für die Beschaffung der Steuerungstechnik der Kühlwasserversorgung der AMTF Halle wurde das ZBAU Verfahren begleitet. Die Ausführungspläne wurden erstellt und ein Ausschreibungsverfahren durchgeführt. Der Auftrag zur Ausführung wurde erteilt.

MKK5/MKK6-Entwicklg./Magnetstromvers.

Planungen für den Aufbau der Netzgeräte wurden mit den neuen Vorgaben erweitert und das Raumbuch mit den entsprechenden Daten angepasst. Die Terminplanungen für den Einbau wurden überarbeitet.

Die Puls Kabel werden im Tunnel in eigenen abgeschlossenen Kammern unter den Fußboden verlegt. Die Temperaturberechnungen, die ursprünglich nur für die Puls Kabel vorgenommen wurden, wurden auf den gesamten Tunnel sowie Photonentunnel erweitert. Dafür wurden die Verlustleistungen der bekannten Verbraucher im nominellen Beschleunigermodus gesammelt und in das entsprechende Simulationsmodell eingepflegt.

Die Daten für die Detailplanung der Modulatorhalle XHM wurden gesammelt. Dabei wurden Optimierungen vorgenommen, die zu erfreulichen Kosteneinsparungen führten.

In Zusammenarbeit mit DESY Zeuthen und der Fa. Thomson wurde das EMV-Verhalten des Prototyps eines neuen Modulators optimiert.

Die Netzgeräte für die supraleitenden Magnete werden in Zusammenarbeit mit CIEMAT, Madrid, gefertigt. Das Projekt ist gestartet und ein Prototyp der PETRA-III-Korrekturen wurde in Madrid in Betrieb genommen.

Infrastruktur

MKK1 – Allgemeine Stromversorgung

Es wurden Fremdplaner für die Maßnahmen Sanierung Gebäude 1, Neubau Gebäude 49a und Beleuchtungssteuerung für die DESY-Bürogebäude betreut.

Die Betriebslabore haben die im laufenden Betrieb notwendigen Wartungsarbeiten, Störungsbeseitigungen und Änderungen an den Anlagen ausgeführt.

Die sehr aufwendige Aufarbeitung der Dokumentation wurde begonnen.

MKK2 – Wasserkühlung

MKK2 wirkte mit an der Planung des Neubaus Enteisung sowie an der Planung der Erneuerung des Brunnenwassernetzes.

MKK3 – Heizung/Klima/Lüftung

Die Anlagen 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 über Gebäudeneubauten bzw. -umbauten.

Im Jahr 2009 wurden ca. 25 raumluftechnische (RLT) Anlagen geplant, gebaut oder erneuert. Es folgt die Auflistung der wesentlichen Projekte in 2009:

- Montage Klimatisierung des Anbaus Gebäude 48e an die PETRA-III-Halle
- Installation von Kleinanlagen für Serverräume, Laserräume, Experimentiergebiet
- Fertigstellung der Erweisung Gebäude 49 für Bio- und Laserlabore
- Klimatisierung Lasergebäude FLASH-Geb. 28h
- Baubeginn der Sanierung Gebäude 1 im Rahmen der HGF-Sanierungsanträge

- Planungen zur energetischen Sanierung Geb. 10 im Rahmen des Konjunkturprogramm II
- Entwurfsplanung mit Feststellung der Vergabe-reife zum Sanierungsantrag 1761 Raumlufttech-nik im Rahmen des Konjunkturprogramm II
- Montagebeginn der Erneuerung der Klimatech-nik Gebäude 30, Räume 102/103
- Planungen zur Erweiterung des DESY-Rechen-zentrums.

MKK4 – Automation

Umbau Schauwarte Im Versorgungsgebäude 30a betreibt MKK einen Elektronikraum für die Daten-übertragung. Durch den technischen Wandel haben Datennetze mit ihren Komponenten die Rangiervertei-ler abgelöst. Nach der Asbestsanierung durch ZBAU wurden die alten Elektronik-Schränke durch neue er-setzt und ausgerüstet. Diverse Altgeräte und Kabel wurden entsorgt. Der Umbau musste mit dem Betrieb der Beschleuniger koordiniert werden.

CAD-Programme E³ wurde auf eine Server basierte Installation umgestellt. Diese Methode erleichtert die Pflege der zentralen Tools für zusätzliche Auswertauf-gaben und dient zur Nutzung gemeinsamer Standards im Bereich der Elektrodokumentation.

Die Erstellung von Datenpunktlisten zur Ausführungs-planung für die Gebäudeautomation wird mit neu er-stellten Werkzeugen unterstützt.

Das E-CAD Tool E³ wurde in der Version 2009 den DESY Nutzern bereitgestellt.

Arbeitssicherheit Die Gefährdungsanalyse für ganz MKK wurde überarbeitet.

Maschinen Planung –MPL–

Beschleunigeraufstellungen

Für folgende Maschinen wurden Berechnungen, Kon-struktionen und Fertigungsunterlagen erstellt:

PETRA-III-Experimentierhalle

Für SR Experimente an der Beamline P04-XUV-Strahl-rohr wurden für die Frame-Sektionen 3, 4 und 5 Len-kerjustiergestelle konstruiert und Fertigungsunterlagen erstellt.

FLASH

Im Shutdown 2009 wurden diverse Korrekturmagnete ausgetauscht und durch den Typ TCA S40 ersetzt. Zur Aufnahme und Justierung der neuen Magnete wurden sechs Gestelle konstruiert und Fertigungszeichnungen erstellt.

Für den S-Dump erstellten wir einen Unterbau mit Len-kerjustierung.

XFEL

Allgemein Bedingt durch Änderungen der Magnet-geometrien, wurden für die Typen QI (QD), QE, QF und QH neue Justiertische konstruiert. Diese Änderun-gen führten dann zu einer Überarbeitung des Beton-steinkonzeptes in den Beamlines T1, T2, T3 und T4.

Bunchkompressor 0, 1 und 2 Für die in den Bun-ckompressoren stehenden BB-Magnete wurden Edel-stahlrahmen in Kombination mit einer Stahlkonstruk-tion als Unterbau mit Lenkerjustage konstruiert und Fertigungszeichnungen erstellt. Es gibt 12 Aufstellun-gen mit 4 Gestellhöhen. Jedes Gestell ist in sich um ± 150 mm höhenverstellbar, um die Tunneltoleranz aus-zugleichen.

BC1 und BC2 wurden zeichnerisch aktualisiert, kollo-dierende Komponenten neu positioniert.

XTL STRING-CONNECTION-BOX Im Haupt-tunnel XTL zwischen den Kryostaten befindet sich ca. alle 150 m eine Vakuumbarrriere, auch String-Con-nection-Box (SCB) genannt. Für diese Box musste eine Deckenanbindung konstruiert werden, die einer bei Leckage auftretenden Axialkraft von 22 Tonnen standhält.

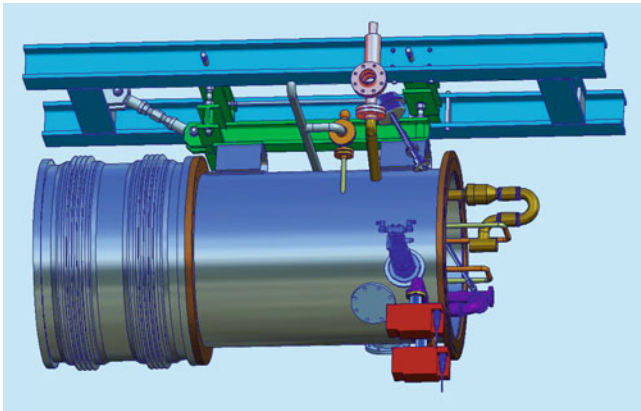


Abbildung 77: String-Connection-Box SCB mit Deckenanbindung

MPL übernahm die Betreuung und die Erstellung der Fertigungsunterlagen für diese Konstruktion (Abbildung 77).

Tunnelabschnitte T3 und T4 Für diese Abschnitte wurden die Magnetaufstellungen in 3D modelliert und in die Tunnelräume des Gesamtmodells eingefügt.

Tunnelabschnitte T1 bis T2 und TLD im XS1 Für den Dumpmagnet BV sind Gestelle mit Justierungen konstruiert worden. Die Schachtmagnete im T1 und T2 wurden auf Betonsteine gesetzt und mit Justiertischen konstruktiv versehen.

Injektion XTIN Die Injektion wurde zeichnerisch von der Gun bis zu den vier BB-Magneten des BC0 im Tunnelmund abgebildet. Schwerpunkt waren Machbarkeitsstudien zur Aufstellung der Komponenten der beiden Injektionen im XSE-Schacht. Obwohl die obere Injektion eine Option für später ist, musste ein Konzept für die Montierbarkeit beider Stränge gefunden werden. Die gegenwärtige Lösung sieht alle 2 m einen senkrechten T-Träger vor, an denen sich treppenartig Magnetträgerplattformen befestigen lassen. Die Ausleger an den T-Trägern, die Magnetträgerplattformen und die Justiereinheiten liegen als Entwürfe vor.

MOCK UP Tunnel Für den Granitaufbau des verfahrenen QA-Magneten (Undulator Zwischenstück) wurden zwischen Granit und dem Betonstein eine Lenkerjustierung konstruiert und Fertigungszeichnungen erstellt.

Resonatoren – Fertigung und Werkstoffuntersuchungen

XFEL – Aufgaben (im Rahmen des WP4, SC Cavity)

- Die Dokumentation für die industrielle Fertigung der XFEL-Resonatoren wurde ausgearbeitet. Die wichtigsten Bestandteile der Dokumentation sind: Spezifikationen für die mechanische Fertigung der Resonatoren mit dem Helium Tank, Spezifikationen für die Behandlung der Resonatoren und der XFEL-Resonator-Zeichnungssatz.
- Die industrielle Fertigung der XFEL-Resonatoren wurde ausgeschrieben. Die Angebote sind eingegangen und werden evaluiert.
- Qualifizierung neuer Niob-Lieferanten. Die Firma Plansee SE (Österreich) und die Firma Ningxia (China) sind als Niob-Lieferant für XFEL qualifiziert worden.
- Das Material für die Vorserie (32 Resonatoren) ist bestellt, teilweise abgenommen und geliefert worden.
- Acht XFEL-Prototypresonatoren sind aus Großkristall-Niob-Scheiben der Firma W.C. HERAEUS gebaut und befinden sich bei DESY in der Vorbereitung für die Hochfrequenztests.
- Die Herstellung der Vorrichtungen für die Wirbelstromprüfung von Niob-Blechen ist weit fortgeschritten und die Auslieferung ist für Anfang 2010 geplant.
- Die 3 Prototypen der 3.9 GHz Resonatoren sind bei der Firma ZANON gebaut worden. Zanon hat die Infrastruktur für die Behandlung dieser Resonatoren aufgebaut und plant die Behandlung in 2010 durchzuführen.

Internationaler Linear Collider ILC Fertigung nahtloser Resonatoren durch Hydroforming

Der weltweit erste durch Hydroforming gebaute neunzellige Resonator ist erfolgreich aus drei dreizellig-

gen Einheiten komplettiert worden. Der maximal erreichte Beschleunigungsgradient lag bei ca. 30 MV/m. Zwei weitere neunzellige Resonatoren werden aus bei DESY hergestellten dreizelligen Einheiten bei der Firma E. ZANON komplettiert. Die Auslieferung erfolgt in der ersten Hälfte 2010.

Ein großer Fortschritt wurde in Zusammenarbeit mit den Firmen Black Laboratories und Wah Chang durch die Fertigung von zwei nahtlosen Niob-Rohren hinreichender Länge für die Herstellung je eines 9-zelligen Resonators aus einem Stück erreicht.

Entwicklung der Resonatoren Fertigung aus dem Einkristall

Bei MPL wurde eine Methode zum Bau von ein- und mehrzelligen Einkristall-Resonatoren der ILC oder XFEL Größe entwickelt und patentiert. Auf diese Weise wurden 5 einzellige Einkristall-Resonatoren gebaut; vier davon sind nur durch Beizen präpariert worden, da sich wegen der Abwesenheit von Korngrenzen in Einkristallen eine spiegelglatte Oberfläche durch einfaches Beizen erreichen lässt. Die Präparation und HF-Tests wurden bei Jefferson Lab. gemacht. Nach 100–200 µm Abtrag und *in situ* Backen bei 120°C wurde an allen vier Resonatoren ein Beschleunigungsgradient von 39–41 MV/m erreicht. DESY hat in Kollaboration mit Jefferson Lab. drei weitere Einkristall-Resonatoren mit drei unterschiedlichen Kristallorientierungen gebaut. Die Prüfung der Leistungsfähigkeit dieser Resonatoren wird im kommenden Jahr stattfinden.

Labor für Materialuntersuchungen

Im Labor für Materialuntersuchungen wurden außerdem im Jahre 2009 folgende Themen bearbeitet:

- Qualitätskontrolle von Niob Blechen und Nb-Halbzeugen für Resonatoren.
- Zerstörungsfreie RRR- Messungen an Nb-Resonatoren.

- Analyse der Verteilung von Verunreinigungen in Niob- und NbTi - Schweißverbindungen.
- Materialdiagnose.
- Analyse der Proben von Resonatoren mit beschränkter Leistungsfähigkeit.

Die Leistungsfähigkeit von XFEL-Prototypresonatoren, die von der Industrie gebaut und bei DESY behandelt worden sind, zeigte eine Streuung zwischen 15 und 41 MV/m. Die meisten Resonatoren erfüllen die Anforderungen der XFEL-Spezifikationen. Wenige Resonatoren mit niedrigen Beschleunigungsgradienten (15–17 MV/m) sind durch Quench ohne Feldemission begrenzt. Laut den Temperaturkarten liegen die Bereiche mit der erhöhten Temperatur meistens nah am Äquator. Um die Gründe zu verstehen und mehr detaillierte Information über die interne Oberfläche der Resonatoren zu bekommen, wurden Proben aus zwei Resonatoren extrahiert und mit verschiedenen Methoden (Lichtmikroskop, 3D-Mikroskop, Rasterelektronenmikroskop, EDX- und Auger-Spektroskopie) untersucht. Es wurden mehrere Oberflächendefekte mit Abmessungen von einigen µm bis zu Hunderten µm gefunden. Die Defekte konnten in zwei Kategorien unterteilt werden. Die erste Kategorie weist auf die Fremdelemente (oft erhöhter Gehalt von Kohlenstoff) hin. Die zweite Gruppe von Defekten ist durch Abweichungen von der glatten Oberflächenstruktur (Vertiefungen, Beulen, Beizstrukturen) charakterisiert.

TIARA

Ein Vorschlag für ein neues R&D-Programm TIARA (www.eu-tiara.eu) ist in Kooperation von einigen europäischen Institutionen ausgearbeitet und bei der Europäischen Kommission (Directorate B – European Research Area: research programmes and capacity) beantragt worden. Die MPL – Beteiligung hat sich auf das Arbeitspaket WP6 (Zusammenarbeit mit der Industrie) konzentriert.

Aufbau von Beschleunigern und Experimenten –MEA–

Die Gruppe MEA beteiligt sich an der technischen Projektierung neuer Beschleuniger und Experimente sowie der technischen Betreuung 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 ging es hauptsächlich um die Fertigstellung des PETRA-III-Beschleunigers, die gestaffelten Betriebsunterbrechungen für den Einbau weiterer Undulatoren und den FLASH Umbau. Weitere Schwerpunktthemen waren der Aufbau und die Inbetriebnahme von ausgedehnten Verteilersystemen für kaltverflüssigte Gase, Hallenwarnanlagen und Laser-Interlocksysteme für die Synchrotronstrahlungsnutzer. Die Vorbereitungsarbeiten für den europäischen Röntgenlaser XFEL innerhalb der drei Projektarbeitspakete *Warme Magnete*, Geodäsie und Tunnelinstallation für den Aufbau des Beschleunigerkomplexes sind aktuelle Aufgaben der Gruppe.

Beschleuniger

PETRA III

Im ersten Quartal 2009 war der Beschleuniger PETRA III samt Vorbeschleunigerkette vollständig aufgebaut, geodätisch vermessen und an die Physiker zur Inbetriebnahme übergeben worden. Im Verlauf des Jahres gab es weitere Einbauten von Undulatoren und kleinere Wartungsarbeiten. Von den 14 Undulatorpositionen sind bereits an den Positionen PU3 bis PU10 Undulatoren eingebaut, justiert und für den Betrieb freigegeben. An der Position PU4 befindet sich ein *Apple Type* Undulator.

Nachdem im Vorjahr die Serienmessungen an den Magneten für den Umbau von PETRA III abgeschlossen worden waren, fanden im Berichtszeitraum 2009 an mehr als 20 Magnettypen für den Speicherring und den

Injektionsweg zu PETRA zahlreiche spezielle Messungen statt, die der Feineinstellung und Optimierung des Beschleunigerbetriebes dienen. In einem Fall galt es, innerhalb kürzester Zeit aus einem HERA-Dipolmagnet CV durch Einbau neuer Polplatten einen Ersatz für einen als zu schwach erkannten neuen Dipolmagnettyp PDB zu entwickeln und bereitzustellen.

Die PETRA-III-Vorbeschleunigerkette im Bereich LINAC II, PIA und L-Weg ist teilweise mit alten Quadrupolmagneten vom Typ QL-DORIS ausgerüstet. Um einen fehlerfreien Betrieb der teilweise 40 Jahre alten Magnete zu gewährleisten, werden sukzessive die Spulen ausgetauscht. MEA4 konnte schon in diesem Jahr 12 Magnete mit neuen Spulen bestücken. Im Zuge dieser Arbeiten hat MEA3 das Magnet-Interlock neu verdrahtet und getestet.

Neben diesen Arbeiten hat MEA1 das selbstentwickelte System von 88 optischen Positionsgrenzschaltern an den Magnetträgern in der PETRA-III-Halle fertig gestellt und in Betrieb genommen. Die Notabschaltung der Stellantriebe wird bei mehr als 0.3 mm transversaler Verschiebung der Träger gegeneinander sichergestellt. Eine Web-Visualisierung basierend auf konventioneller PC-Technik erlaubt eine schnelle Funktionskontrolle und die Übersicht aller aufgezeichneten und archivierten Parameter.

Die PETRA-III-Experimentierhalle für die Synchrotronstrahlungsnutzer erstreckt sich über einen Oktanten von PETRA. Um eine exzellente Forschungsplattform zur Verfügung zu stellen, bedarf es einer professionellen Hallentechnik. Am Ausbau der technisch-wissenschaftlichen Infrastruktur ist die Gruppe MEA stark beteiligt. MEA2 hat sämtliche Girder, Undulatoren und Komponenten wie Monochromatoren und Beamstops im Bereich der Tunnelabschnitte und der Experimente-Hütten auf die geplanten Sollpositionen justiert. Sämtliche Girder wurden mit einem von MEA2 entwickelten HLS Hydrostatic Levelling System ausgestattet, welches eine Höhenbestimmung der Komponenten mit einer Genauigkeit von weniger als 5 µm ermöglicht. Das durchgehende Höhenmesssystem der Girder schließt auch die Optikhütten mit ein.

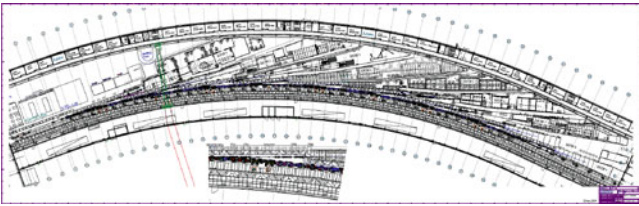


Abbildung 78: Anlagendokumentation PETRA-III-Experimentierhalle.

Die Fachgruppe MEA3 arbeitet an neuen Konzepten für die Personensicherheit der Experimentatoren und die technische Sicherheit der Photonenstrahlkomponenten an den Beamlines. Die Konzepte für Hallensicherheit, Gaswarnanlagen und Laserinterlocks sind komplex und umfangreich. Die zugrunde liegenden Konzepte sind modular angelegt und werden abschnittsweise realisiert. Die Fertigung von Interlock-Komponenten hat ebenso begonnen wie die Installationsarbeiten in den Sektoren 5, 6, 7 und den zugehörigen Laborräumen. Der Sektor 6 ist sicherheitstechnisch nahezu vollständig ausgerüstet.

Um die 12 Kryokühler an den Beamlines mit Flüssig-Stickstoff zu versorgen, hat MEA6 ein Versorgungskonzept erarbeitet, die technischen Spezifikationen erstellt und die Ausschreibung begleitet. Die Flüssig-Stickstoff-Leitung ist so konzipiert, dass sowohl die Inbetriebnahme als auch der Routinebetrieb abschnittsweise erfolgen kann. Um den gasförmigen Volumenanteil im Betrieb zu minimieren, wurde der Wärmeeintrag des Leitungssystems, der Kupplungen, der Ventile und die adiabatische Entspannung in den Kryokühlern berücksichtigt. Das kryogenische Gesamtsystem mit einer Leitungslänge von ca. 520 m besteht aus 2 Stickstofftanks außerhalb der Experimentierhalle, einem 200 Liter Phasentrenner unter dem Hallendach in der technischen Abseite der Experimentierhalle und der Verzweigung zu den Anwendern. In Berichtszeitraum sind die Kryokühler in Sektor 6 und 7 angeschlossen worden.

Für die Versorgung mit gasförmigem, kohlenwasserstoff- und wasserfreiem sowie partikelarmen Reinst-Stickstoff hat MEA6 den Aufbau eines weit verzweigten System mit einer Gesamt-Leitungslänge von ca. 1000 m und 55 Entnahmestellen von der Planung bis zur Bauüber-

wachung übernommen. Die Sektoren 2 bis 7 und 16 Laborräume werden mittlerweile versorgt. Für den Beschleuniger wurden auf Anforderung von MVS weitere 10 Entnahmestellen eingerichtet.

MEA1 betreut weiterhin das CAD Gesamtmodell für die PETRA-III-Anlage. Die Übersichtszeichnung des neuen Achtels (Abbildung 78) mit der Experimentierhalle bildet den aktuellen Zustand des Gebäudekomplexes ab.

DORIS

Für die Umsetzung der Sicherheitsanforderungen des Strahlenschutzes sind an DORIS Erweiterungen und jährliche Wartungsarbeiten durchgeführt worden. Die Arbeiten erstrecken sich neben der Erweiterung am BW 2 HASYLAB 4 und dem teilweisen Rückbau im Bereich Fächer D HASYLAB 4 auch auf die Hallenwarnanlagen HASYLAB 1 bis 5.

Die im letzten Jahr begonnene Überprüfung und Modernisierung der Stickstoffringleitung in den unterirdischen Beschleunigerbereichen lief in diesem Jahr weiter. Die Entnahmestellen im DORIS-Beschleuniger und dem Injektionsweg von DESY zu DORIS (Roter Kanal) sind in ihrer Anzahl reduziert und auf selbst schließende Armaturen umgerüstet worden.

Defekte am IM2-Magnet im Quadranten Nord-Links und am Dipol M50 an der Ober- und Unterspule erforderten Reparaturen.

FLASH

Der FLASH-Umbau findet mit starker Beteiligung von MEA statt und endet im Februar 2010. Die fachgruppenübergreifende Koordinierung der Gewerke organisiert der Halleningenieur vor Ort. Die komplexe Verschachtelung beim Ein- und Ausbau von Komponenten im Tunnel erfordert den Einsatz von fachkundigem MEA-Personal. Die Energieerhöhung des Beschleunigers durch den Austausch des Moduls ACC1 und der Einbau des XFEL Prototyp-Moduls ACC7 sowie der Einbau der supraleitenden 3.9 GHz Resonanzstruktur

zur Linearisierung des Bunchprofils im longitudinalen Phasenraum sind ebenso Schwerpunkt der Arbeiten wie der Einbau des Seeding-Experiments SFLASH. Im Rahmen dieser Arbeiten wurden die 3 Seeding-Undulatoren vom Typ PETRA III und ein Undulator vom Typ DORIS auf dem Magnetmessplatz vermessen. Die durch Strahlenschäden in Mitleidenschaft gezogenen Permanentmagnete des Undulators vom Typ DORIS wurden neu aufmagnetisiert, nach dem Wiedereinbau abgeglichen und abschließend präzise vermessen. Bei diesen Montagevorgängen und Messungen leistete MEA intensive Hilfestellung. Drei Phasenschieber für SFLASH sind bei MEA spezifiziert und die externe Fertigung koordinierend begleitet worden. Langwierige Messreihen dienten der Optimierung der Stromwerteinstellung für ein minimales 1. und 2. Feldintegral bei verschiedenen Setzwerten und lieferten Wertetabellen für den Betrieb.

Die Funktion der Korrekturmagnete TCA 40 im Injektor übernehmen in Zukunft Magnete vom neuen Typ TCA 40S (short) mit einer Jochlänge von nur noch 20 mm. Diese Magnete erzeugen ein integrales Feld von 2.27 mT m mit einem Randfeldanteil von ca. 79%. Diese 25 Magnete hat MEA4 in eigener Werkstatt samt Adapterplatte gebaut und nach der Prüfung auf dem Magnetmessplatz für den Betrieb freigegeben.

Neue Positionen in der gekippten Ebene für die Sextupole im Bypass lassen jetzt die zweite Ableitung der Dispersionsfunktion (am Ende der Strecke der aufsteigenden Strahlführung) zu Null werden.

Im Gebäude 28g wurde die Erweiterung des Laserinterlocks für SFLASH vorbereitet und Servicearbeiten durchgeführt. Zusätzliche Shutter sind integriert und mit der Sicherheitsabnahme dem Nutzerbetrieb übergeben worden.

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. In Übereinstimmung mit dem Maschinenkoordinator wird MEA die CAD-Anlagendokumentation nach dem SFLASH Umbau für FLASH und FLASH II aufbauen und betreuen.

XFEL

Im Arbeitspaket 33, Tunnelinstallation, des europäischen Röntgenlaserprojekts XFEL arbeiteten MEA1 und MEA3 hauptsächlich an der Inbetriebnahme des Tunneltransportfahrzeuges. Die Abnahme des Fahrzeuges durch die Berufsgenossenschaft fand im Juni statt. Bei der Inbetriebnahme auf dem DESY-Gelände in der zweiten Jahreshälfte zeigte sich, dass wichtige technische Komponenten nicht den Anforderungen genügten. Die optische Spurführung und die Dimensionierung von Hydraulikmotoren waren ebenso zu beanstanden wie die Auslegung und Programmierung von Softwaremodulen. Probleme mit Unterauftragnehmern des Herstellers verursachten Verzögerungen. Erst die intensive Mitarbeit der MEA3-Fachgruppe führte zu Lösungen der technischen Probleme. Das Fahrzeug ist nun einsatzbereit. Direkt nach der Übergabe wurde mit dem Spezialfahrzeug im Testtunnel das zweite Montagemodell eines Beschleunigermoduls installiert (Abbildung 79). Vom Testtunnel existiert mittlerweile ein CAD Modell.

Die CAD-Integration des XFEL-Bauwerkes beinhaltet jetzt die Freiräume für Transport und Installation. CAD-Modelle von externen Firmen, wie zum Beispiel das Transportfahrzeug werden in die DESY CAD-Bibliotheken konvertiert und archiviert. Für die Abschirmung in der AMTF-Halle sind die Fertigungsunterlagen erstellt worden.

Im Arbeitspaket 12 *Warme Magnete* sind die technischen Spezifikationen und Zeichnungen für die Mag-



Abbildung 79: XFEL Tunnelfahrzeug.

nettypen vervollständigt worden. Die Anzahl der Magnete und Magnettypen wurde festgelegt. Die Prototypenfertigung für den Quadrupolmagneten XQA in der Undulatorsektion hat begonnen und wird im ersten Quartal 2010 fertig gestellt. Mit der Prototypenfertigung des Dipols XBB für die Bunchkompressoren kann begonnen werden. Beide Magnettypen müssen so extreme Anforderungen an die Feldqualität erfüllen, wie sie es bisher bei DESY in keinem Beschleunigerprojekt gab. Bei dem XQA-Magneten darf sich die Lage der magnetischen Achse bei einer Änderung des Erregerstromes von 10% um maximal $5\ \mu\text{m}$ verschieben. Bei dem Dipol muss innerhalb des zentrisch guten Feldbereiches von 400 mm die Homogenität des Feldes in transversaler Richtung besser als 0.01% auf 20 mm sein. Die Abweichungen über den gesamten Bereich dürfen 0.1% nicht überschreiten. Diese engen Toleranzen lassen sich nur durch den Einsatz von Beilageblechen oder -Folien (Shims) einhalten.

Im Rahmen des Arbeitspakets 32, Geodätische Vermessung, hat MEA2 für die GPS-Kampagne zur Erstellung eines einheitlichen Lagereferenznetzes für die drei XFEL-Baustellen die Planung, Durchführung und Auswertung übernommen. Insbesondere an den Landesgrenzen zwischen Schleswig-Holstein und Hamburg existierten Widersprüche in den Koordinaten, die es zu beseitigen galt. Zum Aufbau eines einheitlichen Höhenmeßsystems über die Landesgrenzen hinweg, wurden durchgehende Präzisionsnivelements durchgeführt. Sämtliche für den Bau der Anlage erforderlichen Koordinaten hat MEA2 kontrolliert und in ein einheitliches, übergeordnetes Koordinatensystem transformiert, mit dem man länderübergreifend die Absteckungen der Bauten in der Örtlichkeit oder die Steuerung der Tunnelbohrmaschine vornehmen kann. An den Fundamenten der Heliumtankanlage auf dem DESY-Gelände, sowie an einigen Leitwänden wurden Kontrollmessungen durchgeführt, um Abweichungen der ausführenden Firmen erkennen zu können.

Zur Justierung der Photonenbeamlines entwickelt MEA2 ein refraktionsfreies Justiersystem mit optischer Referenzgerade (Laser), das die Übertragung der Geradheitsinformation über 500 m bis 1000 m Länge ermöglicht. Damit können Maschinenkomponenten

wie Undulator und Monochromator relativ zueinander mit hoher Genauigkeit justiert werden, obwohl sie weit voneinander entfernt liegen.

Experimente

OLYMPUS/ARGUS

Im Berichtszeitraum wurde der Aufbau des OLYMPUS-Experiments vom MIT in Boston/USA am Speicherring DORIS genehmigt. Dazu muss der alte ARGUS-Detektor in der DORIS-Halle abgebaut werden. Die Installation des OLYMPUS-Detektors in Verbindung mit Konstruktionsarbeiten und Zeichnungen zur Adaption des Experiments in die DORIS-Halleninfrastruktur sind genauso Schwerpunkt der Arbeiten wie die Abbauplanung des ARGUS-Detektors und der Wiederaufbau als Exponat auf dem DESY-Gelände.

ZEUS

Um das 2000 t schwere Eisenjoch zu zerlegen (Abbildung 80), waren Brennschnitte mit einer Länge von insgesamt 3700 m durch 73 mm dicke Stahlplatten nötig. Einige Einzelteile mit einem Gewicht von bis zu 81 t konnte man mit einer von Blohm&Voss geliehenen Traverse und zwei gekoppelten 40 t Krananlagen bewegen. Sorgfältige Koordination und Leitung der Gewerke führten zu $1\frac{3}{4}$ Jahren sicherer und unfallfreier Arbeit.



Abbildung 80: Abbau des ZEUS Eisenjochs.

Strahlenschutz

Die DESY Strahlenschutzgruppe ist zusammen mit den Strahlenschutzbeauftragten bei DESY für die Umsetzung der gesetzlichen Vorschriften, der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV), der Röntgenverordnung (RöV) sowie der behördlichen Genehmigungen und Auflagen verantwortlich. Es ist ihre Aufgabe diese Vorschriften durch verschiedene Maßnahmen im Sinne der Sicherheit und Gesundheit der DESY Mitarbeiter und der Bevölkerung sowie des Schutzes der Umwelt durchzusetzen. Zu diesen Maßnahmen gehören u. a. die Abschirmungen der Beschleuniger und Experimentiergebiete zu planen und zu kontrollieren, die Interlocksysteme mit zu entwerfen und regelmäßig gemäß den Vorschriften zu prüfen, Kontrollen radioaktiver Stoffe und Strahlenschutzunterweisungen der DESY Mitarbeiter durchzuführen. Weiterhin werden bei DESY Personen- und Ortsdosen gemessen sowie Luft- und Wassermessungen durchgeführt, durch die die Wirksamkeit der oben beschriebenen Maßnahmen überwacht wird. Die so gewonnenen Messwerte dürfen die in den vorher genannten Verordnungen und Vorschriften festgelegten Grenzwerte nicht überschreiten. Die Strahlenschutzgruppe muss mit Hilfe der Strahlenschutzbeauftragten dies ebenso überwachen wie auch durch gezielte Unterweisungen darauf hinwirken, daß jeder Mitarbeiter seine eigene Verantwortung beim Umgang mit ionisierender Strahlung erkennt und wahrnimmt.

Organisation des Strahlenschutzes bei DESY

Der Strahlenschutzverantwortliche im Sinne der StrlSchV ist das DESY Direktorium, welches in Person von dem Direktor des Maschinenbereiches vertreten wird. Der Leiter der Strahlenschutzgruppe und des-

sen Vertreter sind als Strahlenschutzbevollmächtigte das entsprechende Bindeglied zwischen dem Strahlenschutzverantwortlichen, den Strahlenschutzbeauftragten und der Aufsichtsbehörde. Es gibt zurzeit bei DESY 49 Strahlenschutzbeauftragte, welche sich in 30 Arbeitsbereichen die Verantwortung für Personengruppen und räumliche Bereiche so aufteilen, dass alle diese Gruppen und Bereiche eindeutig abgedeckt sind, d. h. keine Lücken oder Überschneidungen entstehen. Die Strahlenschutzbeauftragten verfügen über eine entsprechende Fachkunde und tragen die Verantwortung in Sachen Strahlenschutz für ihre Gruppen und Bereiche. Alle übergeordneten Tätigkeiten, wie z. B. Dosimetrie, Einrichtung von Strahlenschutzbereichen, Aufsicht über radioaktive Stoffe oder Planung neuer Projekte werden durch die Strahlenschutzgruppe durchgeführt.

Ortsdosimetrie

Den Vorschriften der Strahlenschutzverordnung entsprechend gibt es auf dem DESY-Gelände neben Sperrbereichen, in denen keine Ortsdosen gemessen werden, Kontroll- und Überwachungsbereiche, in denen Ortsdosen, die von Photonen und/oder Neutronen herrühren können, gemessen werden. Dazu werden zwei unterschiedliche Messprinzipien verwendet.

Das eine Messprinzip besteht aus einem passiven System aus Festkörperdosimetern (Thermolumineszenz-Dosimetern in Polyethylen-Moderatoren zur Messung der Photonendosen und des niederenergetischen Anteils des Neutronenspektrums) und Spaltfragment-Dosimetern (Thorium-Folien mit Makrofol zur Messung des hochenergetischen Anteils des Neutronenspektrums), die an vielen Messpunkten über das DESY-

Gelände verteilt angebracht sind und die Dosis in einem Zeitraum von einem Monat aufsummieren. Die Dosimeter werden im Labor der Strahlenschutzgruppe ausgewertet und die gemessenen Dosiswerte entsprechend den gesetzlichen Bestimmungen archiviert. Dieses System ist gut zur Überwachung des Betriebsgeländes geeignet, Resultate erhält man aber erst nach Ablauf der einmonatigen Messperiode.

Um eine sofortige Eingriffsmöglichkeit im Falle zu hoher Dosisleistungen zu haben, verwendet man ein zweites Messprinzip, bestehend aus aktiven Detektoren. Es gab 2009 noch ältere, getrennte Detektoren, die sowohl Photonen (Ionisationskammern) als auch Neutronen (Rem-Counter mit BF_3 -Zählrohr) nachweisen können. Teilweise werden bereits neuere kombinierte Detektoren (PANDORA-System s. u.) eingesetzt, welche aus einem Kohlenstoffaktivierungsdosimeter und einem ^3He -Proportionalzählrohr bestehen und sowohl Photonen wie auch Neutronen (auch hoher Energie und in gepulster Form) nachweisen können. Beide Systeme sind in der Lage, bei Überschreitung eines bestimmten Alarmschwellwertes der Dosisleistung, in den Beschleunigerbetrieb aktiv einzugreifen. Die Detektoren sind vorwiegend an Stellen positioniert, an denen eine höhere Dosisleistung möglich erscheint.

Das Gelände wird derzeit an 185 Stellen mit integrierenden passiven Festkörperdosimetern und an 43 Positionen mit älteren, sowie an 26 Positionen mit neueren aktiven Geräten überwacht. Alle Messwerte werden für das jeweils zurückliegende Jahr in einem internen Bericht veröffentlicht. Im Jahre 2009 haben sich die gemessenen Ortsdosen gegenüber den Werten von 2008 nicht deutlich verändert, da sich die Beschleuniger Linac2, DESY2, DORIS und FLASH im störungsfreien Routinebetrieb befanden. Anfang 2009 wurde PETRA III in Betrieb genommen, wobei auch hier keine Auffälligkeiten in Bezug auf die passive und aktive Dosimetrie festgestellt werden konnten. Damit kann man zusammenfassend betrachtet auf einen sehr reibungslosen und relativ verlustfreien Betrieb der Beschleuniger schließen.

Personendosimetrie

Die Messung der Personendosen für Photonen erfolgt mit Festkörperdosimetern (Photolumineszenz-Dosimetern), wohingegen Personendosen, die von Neutronen herrühren mit Kernspur-Detektoren (CR-39 Dosimetern) registriert werden. Die Bereitstellung und Auswertung der Festkörperdosimeter wurde bis Oktober 2009 von der Auswertungsstelle Hamburg im Helmholtz-Zentrum München (nun direkt vom Helmholtz-Zentrum München) durchgeführt, während die Bereitstellung und Auswertung der Kernspur-Detektoren für Neutronen vom Paul-Scherrer-Institut (PSI) in Villigen (Schweiz) übernommen wurde. Festkörperdosimeter werden bei DESY im 2 Monatsrhythmus, Kernspur-Detektoren im 12 Monatsrhythmus getauscht.

Im Jahre 2009 wurden regelmäßig 957 Personen überwacht. Dazu kamen 118 Gäste, die nur kurzzeitig bei DESY arbeiteten. Insgesamt wurden im Jahr 2009 5228 Photonendosimeter und 1075 Neutronendosimeter verteilt und deren Auswertergebnisse in einer Datenbank den gesetzlichen Vorschriften entsprechend archiviert. Im Zeitraum November 2008 bis Oktober 2009 wurden auf 11 Dosimetern (von insgesamt 6303 Dosimetern) Dosen registriert, die über den Nachweisschwellen von 0.1 mSv (Photonendosimeter) bzw. 0.5 mSv (Neutronendosimeter) lagen. Die höchste Personenjahresdosis betrug 0.8 mSv, die nächst höchste 0.6 mSv. Damit liegen alle gemessenen Dosiswerte bei DESY deutlich unter den maximal zugelassenen Dosiswerten für beruflich strahlenexponierte Personen von 6 mSv (Kategorie B) bzw. 20 mSv (Kategorie A) pro Arbeitsjahr.

Detektorentwicklung

Um beim Betrieb der neuen und geplanten Beschleunigeranlagen (PETRA III, XFEL, ILC) geeignete aktive Dosisleistungsmesssysteme für gepulste Strahlungsfelder hochenergetischer Photonen und Neutronen zu

haben, wurde in den letzten Jahren ein Aktivierungsdetektor in einer Zusammenarbeit zwischen DESY und den Firmen *Berthold Technologies* und *Struck innovative Systeme* entwickelt. Dieses von A. Leuschner (DESY) erfundene Kohlenstoffaktivierungsdosimeter besteht aus einem Plastik-Szintillator mit Photomultiplier und nutzt die Aktivierungsreaktion $^{12}\text{C}(n,p)^{12}\text{B}$ durch Neutronen mit mehr als 13 MeV Energie aus. Auch Photonen lassen sich mit dem Serienmodell messen. Ferner hat der Detektor auch ein ^3He -Zählrohr in einem Moderatorgehäuse mit Cadmium-Bleichen, welches nieder- und mittlere Neutronen messen kann. Die Auslese der beiden Teilsysteme erfolgt mit einem FLASH-ADC System. Das Gerät trägt den DESY eigenen Namen PANDORA (Photon And Neutron DOse Rate meter for Accelerators). Das PANDORA System wurde Anfang 2009 bei PETRA III erfolgreich in Betrieb genommen. Nach einer Betriebsdauer von ca. einem Jahr kann dieses System als sehr zuverlässig bezeichnet werden. Im Jahre 2009 wurde zusätzlich das Ansprechverhalten der PANDORA Detektoren gegenüber kontinuierlicher Photonenstrahlung im Bereich von 17 keV bis 1.2 MeV und gegenüber kontinuierlicher Neutronenstrahlung im Bereich von 0.025 eV bis 17 MeV vermessen.

Arbeiten für FLASH

Weiterhin ist die Strahlenschutzgruppe aktiv an der Weiterentwicklung von FLASH beteiligt, mit der Kontrolle und der Anpassung der Abschirmmaßnahmen, der Überwachung und Prüfung des Interlocksystems und der Bereitstellung einer neuen Strahlenüberwachungsanlage. Diese soll in Form des neuen PANDORA Systems in der Betriebsunterbrechung von FLASH Anfang 2010 eingebaut und in Betrieb genommen werden und damit die alte Anlage komplett ersetzen. Die Arbeiten um die Optimierung der Strahlabsorber-Beam-Line in Bezug auf das Beam-Monitoring wurden von der Strahlenschutzgruppe begleitet, so dass für den 9 mA-Run im Herbst 2009 zu-

verlässig gewährleistet werden konnte, dass möglichst der gesamte Strahl den Strahlabsorber erreicht.

Arbeiten für PETRA III

Für PETRA III wurde im Dezember 2008 die Erweiterung der Betriebsgenehmigung von der Aufsichtsbehörde erteilt. Der Start des Betriebes von PETRA III mit Strahl wurde im April 2009 von der Strahlenschutzgruppe begleitet. Auf der einen Seite mit einer Reihe von Sondermessungen, auf der anderen Seite mit der erfolgreichen Inbetriebnahme des PANDORA Systems mit 26 Geräten, welche an den Winkelgängen in den alten PETRA-Hallen, dem Injektionsweg zu PETRA III und auf den Dächern, an den Abschirmwänden und auf der Galerie in der neuen PETRA-III-Experimentierhalle aufgestellt wurden. Der Betrieb des PANDORA Systems ist sehr erfolgreich und zuverlässig. Neben dem Aufspüren von Verlustpunkten wird das System mittlerweile auch zum optimalen Aufsetzen der Maschine verwendet, was damit auch der Optimierung des Strahlenschutzes dient.

Arbeiten für den XFEL

Auch im Jahr 2008 wurde intensiv weiter an der Detaillierung der Bauplanung des European XFEL mitgearbeitet. Hierbei wurden eine Vielzahl verschiedener Fragestellungen mit den planenden Ingenieuren diskutiert und Lösungen erarbeitet, die auf der einen Seite die Strahlensicherheit der Anlage gewährleisten sowie auf der anderen Seite den Betriebsablauf optimal gestalten und die Kosten möglichst gering halten. Die Optimierung der Betonmischung in Bezug auf möglichst geringe Aktivierung an den relevanten Stellen an denen der XFEL-Strahl vernichtet werden soll, wurde 2009 durchgeführt und konnte im Herbst erfolgreich abgeschlossen werden.