

Beschleuniger

Inhalt

Speicherringanlage HERA	181
Speicherring DORIS III	187
Die Vorbeschleuniger	189
Freie-Elektronen-Laser FLASH	193
Die zukünftige Synchrotronstrahlungsquelle PETRA III	199
Planungen und Untersuchungen für den Röntgenlaser XFEL bei DESY	203
Aktivitäten in Zeuthen	207
Arbeiten der Gruppen des Bereichs Beschleuniger	211
–MPY– Beschleunigerphysik und Beschleunigerkoordination	211
–MIN– Injektion / Ejektion	216
–MHF– Hochfrequenztechnik	221
–MCS– Control System	226
–MPS– Personen-Sicherheitssysteme	229
–MDI– Diagnose und Instrumentierung	230
–MSK– Strahlkontrollen	235

–MVS– Vakuum	237
–MKS– Kryogenik und Supraleitung	241
–MKK– Energieversorgung	252
–MPL– Maschinen Planung	256
–MEA– Aufbau von Beschleunigern und Experimenten	258
Strahlenschutz	265

Speicherringanlage HERA

Das Jahr 2007 war das letzte Betriebsjahr des HERA Speicherrings nach insgesamt 16 Jahren Protonen/Elektronen bzw. Protonen/Positronen Kollisionen. Im Bewusstsein der begrenzten verbleibenden Zeit wurde daher das Hauptaugenmerk des Betriebes auf zwei wesentliche Punkte gerichtet: maximale Effizienz und Stabilität des HERA Betriebes sowie auf Wunsch der Experimente Strahlkollisionen bei niedrigeren Protonen Energien, um für die Detektoren H1 und ZEUS neue kinematische Bereiche der Lepton/Protonen Kollisionen zugänglich zu machen.

In Tabelle 4 sind die Betriebsarten der HERA Anlage im Jahr 2007 zusammengefasst.

Die in der Vergangenheit etablierten Maßnahmen zur Verbesserung der Betriebseffizienz, die in einzelnen Maschinenstudien getestet und verbessert worden waren, waren daher vor allem im Jahr 2007 wesentlich und konnten erfolgreich im Routinebetrieb umgesetzt werden (vgl. auch Jahresbericht DESY 2006).

Dazu gehörten Systeme zur Stabilisierung schneller Strahllageschwingungen in HERA-e, das longitudinale Multibunch Feedback der Protonen, das auch bei hoher Intensität der Protonenbunche deren Strahlqualität erhält, sowie vor allem ein System zur Stabilisierung des Protonen Arbeitspunktes (*Tune Controller*), das sowohl bei der Beschleunigung als auch im Luminositäts-Betrieb eingesetzt wurde. Die Bedingungen des

HERA Betriebes konnten insgesamt soweit verbessert werden, dass nach einer kontinuierlichen Steigerung der Protonenintensität im April 2007 mit einer Gesamtintensität von 116 mA ein neuer Bestwert für den gespeicherten Protonenstrom erreicht werden konnte. Vom 1. Januar 2007 bis 21. März konnte daher innerhalb von achtzig Tagen eine Luminosität von 62 pb^{-1} pro Wechselwirkungszone akkumuliert werden.

HERA Betrieb bei 460 und 575 GeV

Auf Wunsch der Experimente ZEUS und H1 wurde am 21.3.2007 der 920 GeV Betrieb HERAs beendet, um Untersuchungen in einem neuen kinematischen Bereich mit einer Protonen Energie von 460 GeV zu ermöglichen. Dieser sogenannte *Low Energy Run* stellte die in diesem Runjahr größte Herausforderung für die HERA Betriebsmannschaft dar. In beiden HERA Speicherringen wurden entsprechend der geänderten Strahlenergie die Strahloptiken neu gerechnet und an die zu erwartende Protonen-Emittanz angepasst. Erste Tests mit Einzelstrahlen geringer Intensität wurden im Lauf von Maschinenstudien am 6./7. Dezember 2006 und am 1./2. Februar 2007 durchgeführt.

Nach einer Woche Maschinenstudien-Zeit, in der die neuen Strahloptiken bei voller Intensität eingestellt und

23. Dez. 2006 – 27. Dez. 2006	Betriebsunterbrechung
27. Dez. 2006 – 21. März 2007	920 GeV Protonen / 27.5 GeV Positronen
21. März 2006 – 1. Juni 2007	460 GeV Protonen / 27.5 GeV Positronen
1. Juni 2007 – 30. Juni 2007	575 GeV Protonen / 27.5 GeV Positronen
seit 1. Juli 2007	Ende des HERA Betriebs

Tabelle 4: Betriebsdaten der HERA Anlage im Jahr 2007.

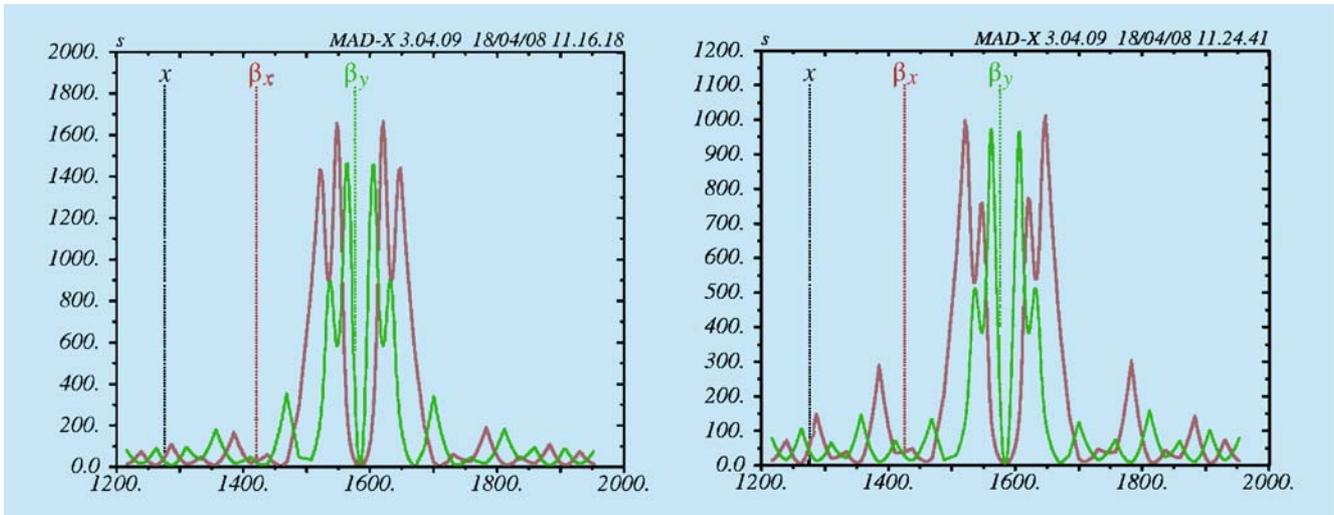


Abbildung 121: Protonen-Strahloptiken für den 920 GeV Standard Betrieb (links) und im Vergleich dazu für den low energy run bei einer Energie von 460 GeV (rechts).

die Untergrund Bedingungen für die drei Experimente H1, ZEUS und HERMES optimiert wurden, konnte Kollisionsbetrieb ab 27. März 2007 zur Verfügung gestellt werden.

In der Abbildung 121 sind die beiden Strahloptiken des Protonenspeicherrings für diese Energien gegenübergestellt: Im linken Teil der Abbildung ist die HERA Standard Optik des Protonenstrahls gezeigt: Aufgrund der kleinen Strahlemittanz bei hoher Energie können Betafunktionen von bis zu 1600 m im Bereich der Wechselwirkungszone toleriert werden.

Bei 460 GeV ist die Strahlemittanz im Vergleich dazu doppelt so groß und sowohl Orbit als auch Strahlfokussierung müssen diesen Gegebenheiten neu angepasst werden. Eine maximale Betatronfunktion von 1000 m wurde in den Quadrupollinsen der Wechselwirkungszone als tolerierbare Grenze angesehen.

Die Skalierung der Strahlparameter in beiden HERA Speicherringen wurde so durchgeführt, dass in jedem Fall optimal auf einander angepasste Strahlquerschnitte am Wechselwirkungs-Punkt erzielt werden konnten.

Dabei wurde – analog zum physikalisch bedingten Verhalten der Protonen – auch im Fall des Leptonenstrahls sowohl die Betafunktion als auch die Strahlemittanz modifiziert.

Eine Übersicht der für die im Jahr 2007 damit etablierten Strahlparameter ist in Tabelle 5 gezeigt.

Im HERA-e Speicherring wurde dabei die Betafunktion am Kollisionspunkt durch geänderte Fokussierung der Mini Beta Quadrupole erzielt, die Strahlemittanz wurde modifiziert durch Änderung des Phasenvorschubs in den Bögen ($72^\circ \rightarrow 60^\circ$) und Feinabstimmung der 500 MHz Hochfrequenz.

Die erreichbare Luminosität eines Protonenstrahls hängt deutlich von der Strahlenergie ab. Sie ist bedingt durch die effektive Strahlgröße σ_x und σ_y in der horizontalen bzw. vertikalen Ebene gemäß:

$$L \propto \frac{I_p \cdot I_e}{\sigma_x \cdot \sigma_y} .$$

Dabei ist im einfachsten Fall die transversale Strahlgröße bestimmt durch

$$\sigma = \sqrt{\epsilon \cdot \beta} .$$

Da beide die Strahlgröße bestimmenden Faktoren umgekehrt proportional zur Strahlenergie sind, ist beim Betrieb mit kleinerer Protonenenergie eine quadratische Reduktion der Luminosität zu erwarten.

$$\epsilon \propto \frac{1}{\gamma} ; \quad \beta \propto \frac{1}{\gamma} ; \quad L \propto \frac{1}{\gamma^2} .$$

Protonen Strahl	920 GeV	460 GeV	575 GeV
β_x	2.45 m	4.9 m	3.7 m
β_y	0.18 m	0.36 m	0.27 m
$\varepsilon_x = \varepsilon_y$	$5.1 \cdot 10^{-9}$ rad m	$10.2 \cdot 10^{-9}$ rad m	$8.2 \cdot 10^{-9}$ rad m
σ_x	112 μm	224 μm	174 μm
σ_y	30 μm	60 μm	52 μm
Positronen Strahl	27.5 GeV	27.5 GeV	27.5 GeV
β_x	0.6 m	1.28 m	1.02 m
β_y	0.26 m	0.51 m	0.42 m
ε_x	$21 \cdot 10^{-9}$ rad m	$39 \cdot 10^{-9}$ rad m	$30 \cdot 10^{-9}$ rad m
ε_y	$3.5 \cdot 10^{-9}$ rad m	$7 \cdot 10^{-9}$ rad m	$5.7 \cdot 10^{-9}$ rad m
σ_x	112 μm	224 μm	174 μm
σ_y	30 μm	60 μm	52 μm

Tabelle 5: Strahlparameter in den beiden HERA Speicherringen für die drei im Jahr 2007 optimierten Protonen Energien.

Am 27. März 2007 konnte dann nach nur einer Woche Maschinenstudien die neue Einstellung für 460 GeV Betrieb aufgesetzt und die kollidierenden Strahlen den Experimenten zur Datennahme zur Verfügung gestellt werden. Die in diesem Zustand erzeugte spezifische Luminosität lag mit $L_{\text{sp}} = 4.4 \dots 4.9 \cdot 10^{29} \text{ cm}^{-2} \text{ mA}^{-2} \text{ s}^{-1}$ sogar etwas über dem erwarteten Wert und die Pola-

risation des Positronenstrahls überstieg nach nur einer Woche Optimierung wieder die wichtige Schwelle von 50%. Nach wie vor konnten die Untergrundraten für alle drei HERA Experimente auch in dieser neuen Betriebsart auf niedrigem Niveau gehalten werden, so dass die Datennahme-Effizienz mit dem 920 GeV Betrieb vergleichbar gute Werte erreicht und mit 93%

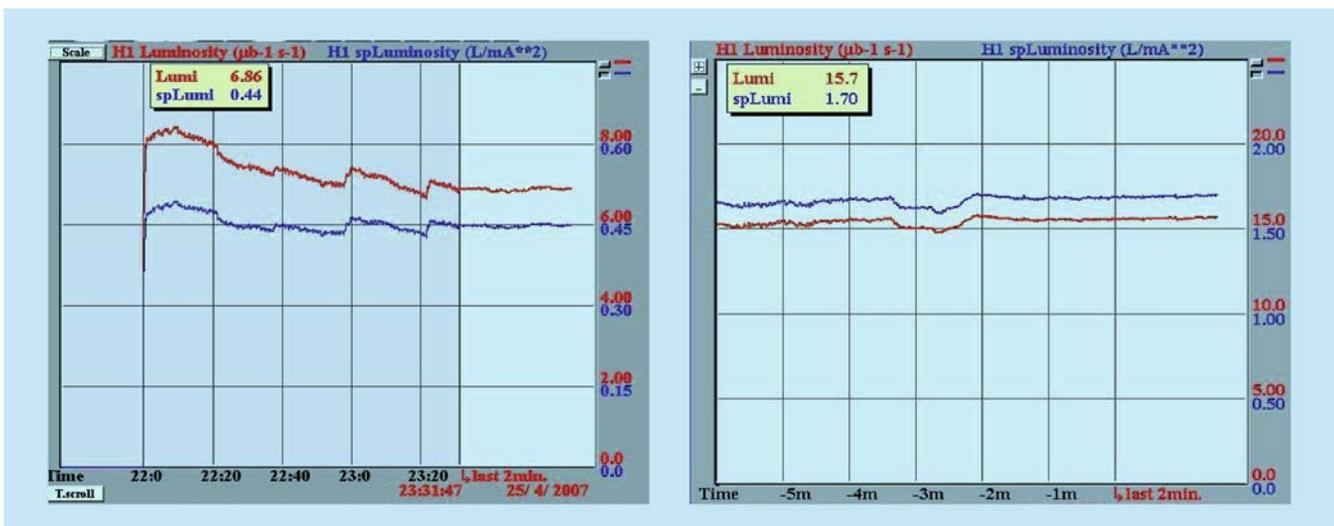


Abbildung 122: HI Messung der spezifischen Luminosität. Erzielt wurden typische Werte von $L_{\text{spez}} \approx 4.4 \cdot 10^{29} \text{ cm}^{-2} \text{ mA}^{-2} \text{ s}^{-1}$ im 460 GeV Betrieb im Vergleich zu $L_{\text{spez}} \approx 1.7 \cdot 10^{30} \text{ cm}^{-2} \text{ mA}^{-2} \text{ s}^{-1}$ im Standard Betrieb bei 920 GeV.

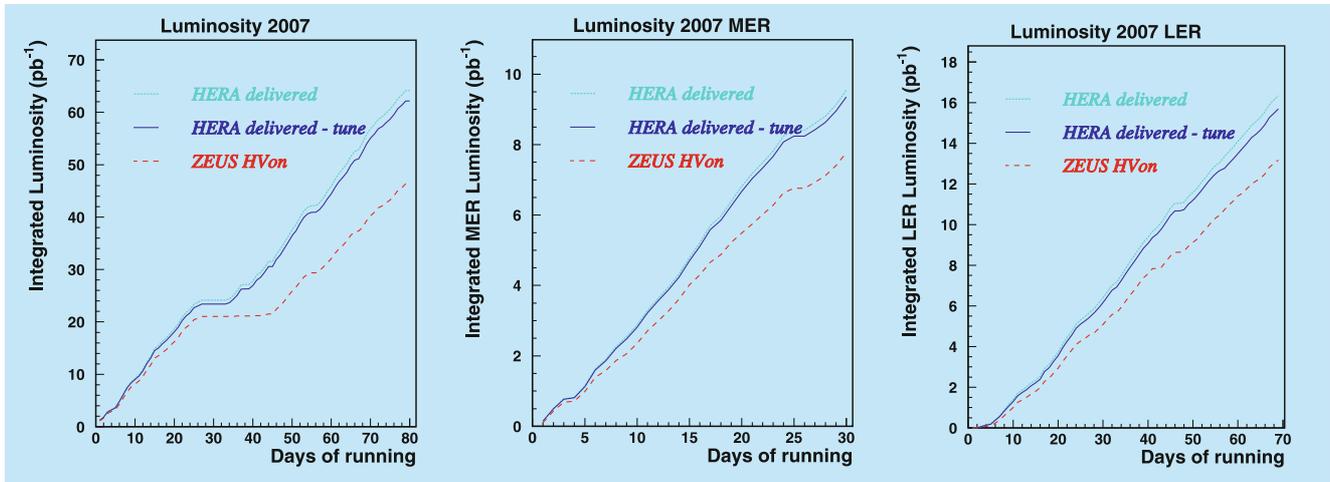


Abbildung 123: HERA Betrieb bei 920 GeV (links), 575 GeV (mitte) und 460 (rechts). Gezeigt ist hier jeweils die in dieser Betriebsart integrierte Luminosität.

Effizienz im Experiment H1 ein neuer Bestwert erzielt werden konnte.

Die bei dieser Betriebsart gemessene und im Vergleich dazu die mit 920 GeV Strahlen erzielte Luminosität sind basierend auf einer Messung von H1 in Abbildung 122 dargestellt.

Insgesamt wurde in dieser neuen Betriebsart (460 GeV Protonen / 27.5 GeV Positronen) eine Luminosität von 16.8 pb⁻¹ akkumuliert (siehe Abbildung 123) – ein Wert, der das ursprünglich angestrebte Ziel von 10 pb⁻¹ deutlich übersteigt.

Daher wurde der Luminositäts-Betrieb HERAs ein weiteres Mal modifiziert. Am 1. Juni 2007 wurde die Strahlenergie der Protonen auf 575 GeV umgestellt. Wie bereits im Niederenergie Run mussten dazu in beiden Speicherringen die Strahloptiken neu berechnet und für die bei dieser Energie gegebene Strahlemittanz angepasst werden. Nach nur einem Tag Optimierung mit Strahlen geringer Intensität konnte die Anlage bereits wieder für die Datennahme der Experimente bei voller Intensität zur Verfügung gestellt werden: Wiederum lag die spezifische Luminosität exakt auf dem vorausberechneten Wert von ca. $6.7 \cdot 10^{29} \text{ cm}^{-2} \text{ mA}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Die Polarisation wurde bereits im ersten Run bei dieser neuen Energie auf Werte über 53% gesteigert.

Technische Probleme und Betriebseffizienz

Besonderes Augenmerk wurde unter den gegebenen Bedingungen auf eine hohe Betriebseffizienz gelegt. Bei der begrenzten verbleibenden Betriebsdauer war eine hohe Effizienz des Betriebes Voraussetzung für die Umstellung der Anlage auf diese neuen Maschineneinstellungen und das Erreichen der erwarteten integrierten Luminosität. Trotz einiger Unterbrechungen aufgrund technischer Ausfälle konnte die HERA Effizienz im Jahr 2007 einschließlich des Nieder- und Mittelenergie Betriebs (460 GeV / 575 GeV Run) auf 63% gesteigert werden. Abbildung 124 zeigt die Verteilung der Zeit auf die einzelnen Betriebszustände.

Technische Probleme, die merkbare Auswirkungen auf die Betriebseffizienz hatten, waren vergleichbar zum Vorjahreszeitraum:

- die Vakuum Systeme der Wechselwirkungszonen, die nach wie vor unter starker Belastung durch die Synchrotronstrahlungsfächer standen
- Netzgeräte und Kühlwasser Probleme
- sowie technische Probleme in der Vorbeschleunigerkette.

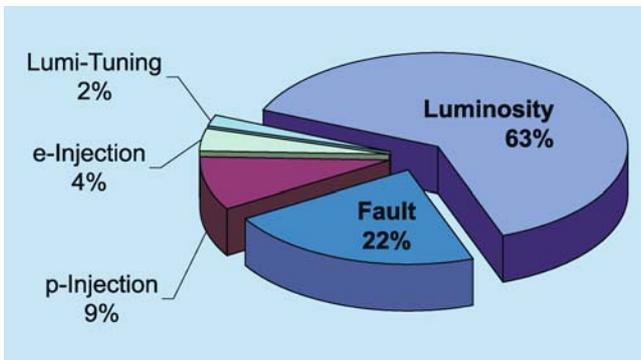


Abbildung 124: HERA Betriebsstatistik 2007: Die Zeit mit Kollisionen der beiden Strahlen nimmt den größten Raum ein (63%) gefolgt von Betriebsunterbrechungen durch technische Fehler, deren Beseitigung und dem darauf folgenden Wiederanlauf des Betriebs (22%). Die restlichen 15% der Zeit entfallen auf Injektion, Beschleunigung und Einstellen der Luminosität.

Wie bereits in den Vorjahren war die Wärmebelastung der Flansche im Bereich der Wechselwirkungszonen hoch und Vakuumlecks vor allem am Hauptabsorber 4 nicht immer vermeidbar.

Eine Verbesserung dieser Situation wurde dadurch erreicht, dass zum einen die Strahlintensität im Luminositätsbetrieb auf ca. 40 mA begrenzt wurde. Darüber hinaus wurde ein neues Verfahren etabliert, bei dem vor dem Dump eines Strahls am Ende des Luminositätsruns

die Energie der Positronen von 27.5 GeV auf 23 GeV reduziert wurde: Durch diese Entschleunigung des HERA Strahls wurden abrupte Änderungen der Synchrotronstrahlungslast, wie im Moment des Strahldumps bei hoher Energie auftraten, vermieden.

Resume des HERA Betriebes

Am 30. Juni 2007 gegen 23:30 endete der Betrieb von HERA, der mit den ersten Teilchen-Kollisionen am 19. Oktober 1991 begonnen hatte. Tabelle 6 zeigt die im Laufe des Betriebes erreichten Strahlparameter im Vergleich zu den Designparametern. Zwar wurden die angestrebten Strahlströme nicht erreicht, dafür wurden aber durch verbesserte Strahloptiken die Strahl Dimensionen am Wechselwirkungspunkt (IP) so weit verkleinert, dass die angestrebte Luminosität deutlich überschritten wurde. Damit wurde es möglich, in 16 Jahren Kollisionsbetrieb mit ständigen Verbesserungen an Technik, Strahlparametern und Bedienung der Maschine eine integrierte Luminosität von jeweils 800 pb^{-1} in den Wechselwirkungszonen von H1 und ZEUS zu produzieren. Dabei erreichte die longitudinale Spinpolarisation der Leptonen mit Spinrotatoren an einer Wechselwirkungszone Werte von etwa 60% und mit Spinrotatoren an drei Wechselwirkungszonen etwa 50%.

	Design	Erreichte Spitzenwerte
Bunchzahl	210	180
Strahlenergie Leptonen	30 GeV	27.5 GeV
Strahlenergie Protonen	820 GeV	920 GeV
Strahlstrom Leptonen	58 mA	50 mA
Strahlstrom Protonen	130 mA	110 mA
Strahlgröße am IP (σ_x/σ_y)	0.29/0.07 mm	0.11/0.03 mm
Luminosität per IP	$1.5 \cdot 10^{31} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$	$5.12 \cdot 10^{31} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$

Tabelle 6: Strahlparameter von HERA im Design und erreichte Spitzenwerte.

Speicherring DORIS III

Strahlbetrieb

Die Forschung mit Synchrotronstrahlung bei DORIS begann 2007 am 18. Januar und endete am 21. Dezember. Unterbrochen wurde die Messzeit von einer Wartungszeit im Sommer vom 2. Juli bis zum 15. August. Wegen der großen Nachfrage nach Messzeit und im Hinblick auf die lange Unterbrechung in 2008 wurde versucht, die Wartungszeiten möglichst kurz zu halten. Die sechswöchige Unterbrechung im Sommer war notwendig wegen der jährlichen Überprüfung des Personeninterlocks, die in diesem Jahr zusammenfiel mit der HERA Abschaltung, was umfangreiche Umbauten am Interlocksystem der Vorbeschleuniger zur Folge hatte.

Im Jahr 2007 war die geplante Strahlzeit für Nutzer 5959 Stunden, wovon 5660 Stunden als Messzeit zur Verfügung standen. Weitere 68 Stunden wurden für die Injektion benötigt. Damit lag die Verfügbarkeit bei 96% und die mittlere Zeit zwischen 2 Ausfällen betrug 53,9 Stunden (siehe Abbildung 125). Es gab einen längeren Ausfall, als am 4. Oktober ein Vakuumleck an einem Schiebestück auftrat das gewechselt werden musste. Nach 30 Stunden Ausbackzeit konnte der Nutzerbetrieb fortgesetzt werden. Die gesamte Ausfallzeit im Jahr 2007 betrug 214 Stunden.

Arbeiten am Beschleuniger

Zu Beginn des Jahres wurden die beiden 500 MHz Senderanlagen umgebaut, so dass jetzt ein DORIS Betrieb



Abbildung 125: Verfügbarkeit und mittlere Zeit zwischen Ausfällen bei DORIS.

bei vollem Strahlstrom mit jeder der beiden Anlagen allein möglich ist. Dadurch steht eine komplette Anlage als Reserve zur Verfügung, darüber hinaus wird der Stromverbrauch deutlich reduziert.

In der Sommerpause wurden die Kabel der Dipolkorrekturspulen neu isoliert, da hier Strahlungsschäden aufgetreten waren. Außerdem wurden wegen Korrosionsschäden die Kühlrohre des longitudinalen Multibunch Feedbacks teilweise erneuert.

Im September wurde das Klystron für das longitudinale Multibunch Feedback abgeschaltet und durch einen Halbleiterverstärker ersetzt. Ausführliche Tests hatten gezeigt, dass die Leistung ausreicht und man somit von der einfacheren Handhabung und Wartung sowie der deutlich geringeren Leistungsaufnahme profitieren kann.

Die Vorbeschleuniger

LINAC II und PIA

LINAC II und PIA wurden im Jahr 2007 routinemäßig sowohl mit Elektronen als auch mit Positronen betrieben. Nach Beendigung des HERA-Betriebes wurden ab Juli nur noch DORIS und die Teststrahlen bedient.

Derzeit wird ein Ersatz für den bisherigen Konverter aufgebaut, der mechanisch erheblich vereinfacht ist, keine Lötstellen an Kühlleitungen im Vakuum mehr enthält, und im Sinne des Strahlenschutzes optimiert wird. Die Konstruktionsphase ist abgeschlossen, die Fertigung ist im vollen Gange. Der Einbau ist für April 2008 vorgesehen. Ein Reservesender für das 125 MHz System in PIA ist vollständig aufgebaut und getestet.

LINAC III

Im Berichtszeitraum standen beide H^- -Ionenquellen am LINAC III sowie der Linac selbst mit sehr hoher Zuverlässigkeit zur Verfügung. Seit dem Abschalten von HERA werden die H^- -Ionenquellen für Testzwecke weiterbetrieben. Begonnene Entwicklungsarbeiten sollen zu einem sinnvollen Abschluss gebracht werden. Aus diesem Grund wurden die Computerkontrollen so umgerüstet, dass ein autarker Betrieb des Linacs und der Quellen möglich bleibt. Ein Test steht allerdings noch aus.

DESY II

Im Betriebsjahr 2007 wurde das Synchrotron DESY II vom 1.1. bis zum 2.7. und vom 10.8. bis zum 21.12.,

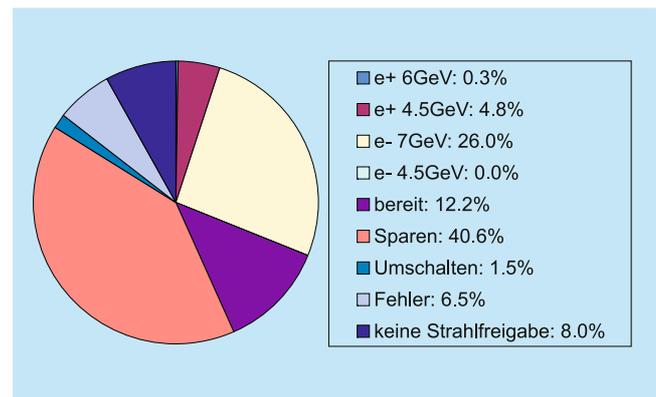


Abbildung 126: Betriebszeitanteile DESY II.

also insgesamt an 317 Tagen, mit Strahl betrieben. Abbildung 126 stellt die Zeitanteile der verschiedenen Betriebsmoden für die zweite Jahreshälfte dar. Servicezeiten sind hierbei nicht gesondert berücksichtigt, sondern bilden im Wesentlichen einen Teil der Fehlerzeiten bzw. der Zeiten ohne Strahlfreigabe.

Die Hauptaufgabe von DESY II bestand darin, PETRA II mit Positronen bei 6 GeV und DORIS III mit Positronen bei 4.5 GeV zu beliefern. Es gab hierbei keine größeren Probleme. Die Strahlintensitäten lagen, wie üblich, im Bereich von 10^{10} Teilchen/Zyklus.

Da sich einige Anforderungen an DESY II mit der Inbetriebnahme von PETRA III Anfang 2009 ändern, wurden bereits in diesem Jahr, parasitär zum Routinebetrieb, einige dieser Änderungen vorgenommen oder getestet. So läuft DESY II seit Anfang 2006 ohne Frequenzmodulation. Ein weiteres Beispiel ist ein Testbetrieb mit nur der Hälfte der installierten Cavities.

Neben dem Vorbeschleunigerbetrieb wurde DESY II im Betriebsmode mit Elektronen bei 7 GeV auch wieder intensiv als Teststrahlquelle genutzt. In Vorbereitung des zukünftigen Strahlbetriebs mit PETRA III als Haupt-

nutzer wurden einige Untersuchungen durchgeführt, wie der Teststrahlbetrieb auch weithin mit akzeptablen Bedingungen für die Nutzer erfolgen kann. Unter anderem wurden dickere interne Targets verwendet.

DESY III

Das Protonensynchrotron DESY III wurde im Betriebsjahr 2007 vom 1.1. bis zum 30.6., also an 181 Tagen betrieben und ist Ende Juni, zusammen mit PETRA II und HERA, endgültig abgeschaltet worden. Wie auch in den Vorjahren lief DESY III ausgesprochen zuverlässig und konnte Strahlintensitäten von typischerweise 210 nA an PETRA liefern. Es gab auch bei DESY III keine größeren Probleme oder Komponentenausfälle.

PETRA II

Im Betriebsjahr 2007 wurde PETRA an 181 Tagen betrieben. Nach einer kurzen Weihnachtspause Ende 2006 lief PETRA ohne Unterbrechung vom 1.1.07 bis zum endgültigen Abschalten am 30.6.07. Neben der Hauptfunktion als Vorbeschleuniger für HERA stand PETRA auch wieder als Synchrotronlichtquelle für HASYLAB zur Verfügung. Der HASYLAB-Experimentierbetrieb wurde aber bereits Ende April beendet und das Experimentiergebiet am 9.5.07 endgültig außer Betrieb genommen.

Abbildung 127 zeigt die Betriebszeitanteile der vergangenen Jahre, wobei der echte Fehlerzeitanteil hier überschätzt ist, da es in diesem Jahr insbesondere wegen Vorbereitungen zu PETRA III (z. B. geplante Zugänge zum Tunnel) zu bewussten Fehlerzeiten kam.

Betrieb als Vorbeschleuniger

Etwa 10% der Zeit lief PETRA als Positronen-Vorbeschleuniger für HERA. Wie schon in den letzten Wochen im Jahr 2006 wurde die von 7 GeV auf 6 GeV reduzierte Injektionsenergie verwendet, um DESY II schon im Betriebsmode wie für PETRA III betreiben zu können.

Der Positronenbetrieb war, wie in den vorangegangenen Jahren auch, unproblematisch.

In 7% der Zeit wurde PETRA als Protonen-Vorbeschleuniger für HERA benutzt. Da der schnelle Magnetzyklus bei PETRA über eine gemeinsame elektrische Versorgung Auswirkungen auf die DORIS-Senderanlage und damit Strahlverluste zur Folge hatte, wurde die Zykluszeit bewusst verlängert.

Das sehr hohe Intensitätsniveau des vergangenen Jahres konnte leider nicht ganz gehalten werden, wie in Abbildung 128 zu sehen ist. Es gab aber keine größeren Komponentenausfälle oder -probleme. Neben vielen kleineren technischen Problemen, die sich überwiegend aus dem Alter der Komponenten ergeben (etwa zwei Hauptnetzteilausfälle pro Woche, etwa

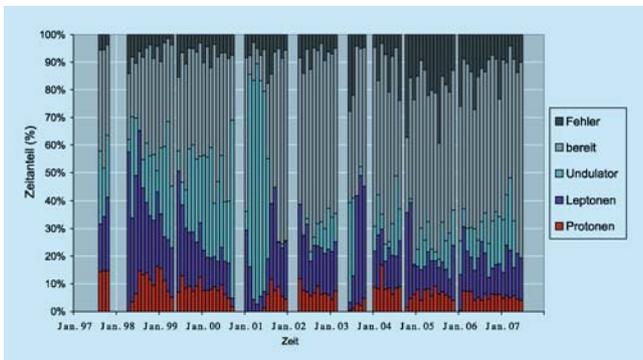


Abbildung 127: Übersicht der Betriebszeitanteile seit 1997.

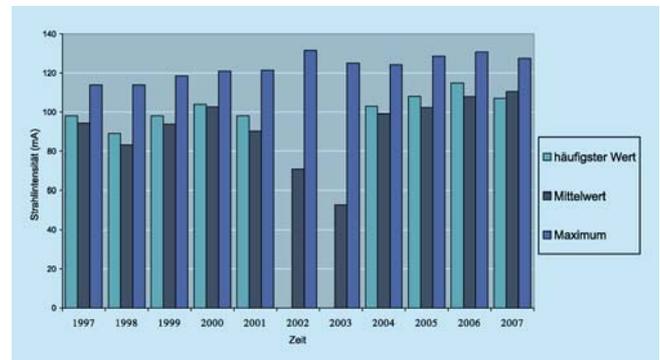


Abbildung 128: Übersicht der Protonenintensitäten bei Ejektion seit 1997.

zwei Kicker/Septa-Ausfälle pro Monat, häufige Rauch- oder Feuer-Fehlalarme, zahlreiche Kühlwasserlecks usw.), waren insbesondere Phasensprünge in den pHF-Systemen auffällig, die zu Betriebsbeeinträchtigungen geführt haben.

Die bereits begonnen Bauarbeiten zu PETRA III haben darüber hinaus in beiden Vorbeschleunigerbetriebsmoden mehrfach zu Orbitänderungen geführt, die die saubere Extraktion zu HERA beeinträchtigt haben und nur von HERA-Seite korrigierbar waren.

Betrieb als Synchrotronstrahlungsquelle

Mit 9% war der Zeitanteil, der in diesem Jahr auf den Betrieb als Synchrotronstrahlungsquelle entfiel,

wieder relativ gering. Der Betrieb litt unter teilweise erheblichen Strahlverlusten während der Beschleunigung der Teilchen, so dass der Betrieb teilweise nur mit geringen Intensitäten durchgeführt werden konnte. Statt eines erwarteten Strahlstroms von 40-50 mA lag der Strahlstrom oft nur bei 20 mA. Aus der Vergangenheit war bekannt, dass für diese Strahlverluste höchstwahrscheinlich longitudinale Instabilitäten verantwortlich sind. Der Einbau eines *Nearby-Mode* Feedbacks hatte die Situation deutlich verbessert, aber in diesem Jahr gab es wieder erhebliche Probleme mit dessen Funktion im Zusammenspiel mit der Senderanlage.

Auch in diesem Betriebsmode konnten Orbitänderungen in Verbindung mit Bauarbeiten beobachtet werden, die aber durch geeignete Orbitkorrekturen in der Prozedur abgefangen werden

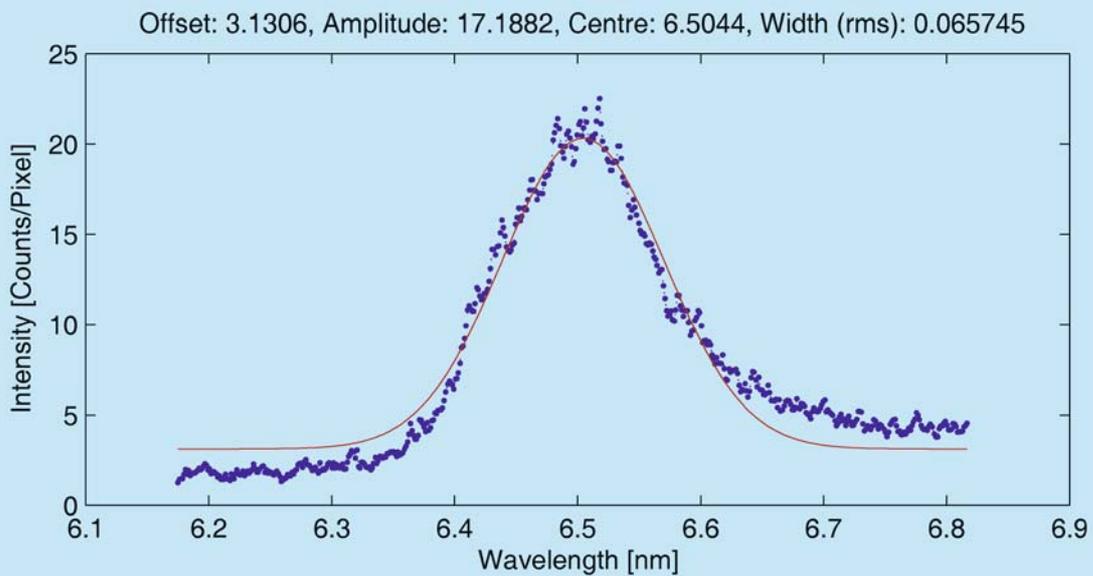
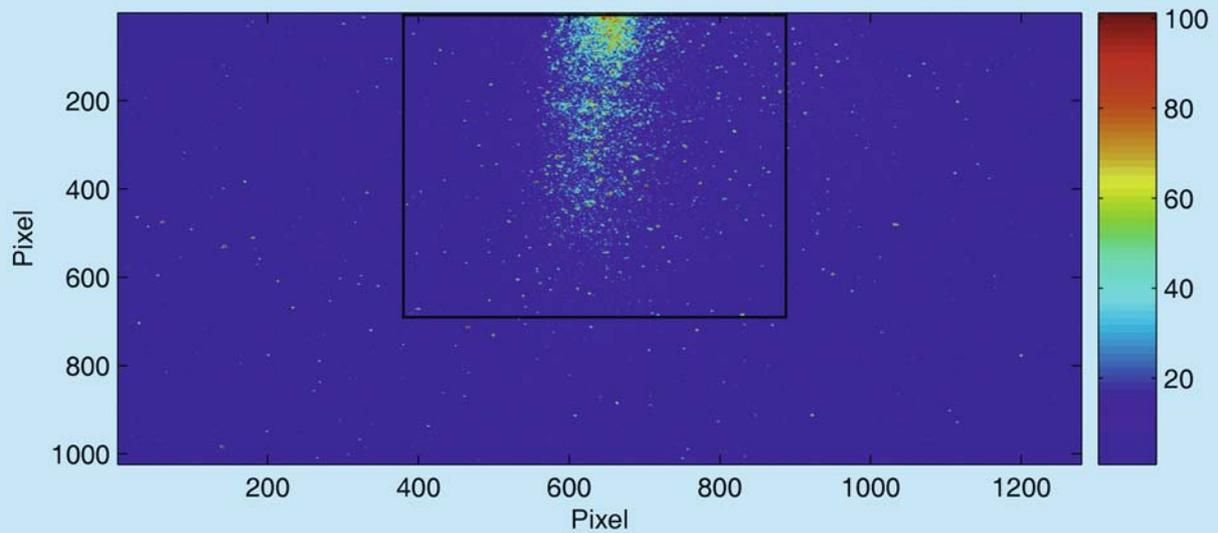


Abbildung 129: Bereits zwei Wochen nachdem FLASH eine Strahlenergie von 1 GeV erreichte, gelang auch die Wellenlänge von 6.5 nm. Die Abbildung zeigt ein über 50 Pulse gemittelttes Wellenlängenspektrum, aufgenommen mit einer bildverstärkten CCD-Kamera (oben) und die Projektion (unten).

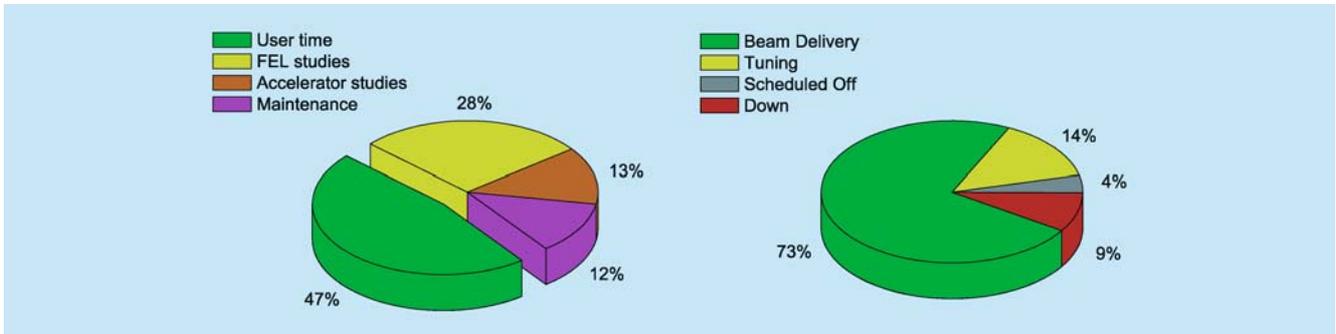


Abbildung 131: Verteilung der Strahlzeit während der zweiten Hälfte der ersten Nutzerperiode von Mai 2006 bis März 2007. Fast 50% der Strahlzeit wurde für Nutzerexperimente eingeplant (links, grünes Feld). Während 75% der geplanten Strahlzeit für Nutzerexperimente konnte tatsächlich Strahl geliefert werden (rechts, grünes Feld).

Im Vergleich zum Beginn der ersten Nutzerperiode von Mitte 2005 bis Mai 2006 wurden ab Mitte 2006 neben einer Wellenlänge von 32 nm auch verschiedene andere Wellenlängen gefordert. Favorit war die bis Sommer 2007 erreichbare kürzeste Wellenlänge von 13.5 nm.

In 2007, überstieg die mittlere Energie der einzelnen SASE-Pulse meist 20 μJ (siehe Abbildung 132). Der

Wechsel der Wellenlänge ist zwar im Vergleich zu 2006 deutlich verbessert, dennoch wird ein erheblicher Teil der Strahlzeit von 14% zur Feinabstimmung benötigt.

In Abbildung 132 ist auch zu erkennen, dass nicht nur der Wechsel von Wellenlängen, sondern auch die Verschlechterung der Photokathode der Elektronenquelle führen kann. Die ursprüngliche SASE-Energie wurde nach einem Tausch der Kathode sofort wiederhergestellt. Der Kathodentausch kann innerhalb eines normalen Wartungstages durchgeführt werden.

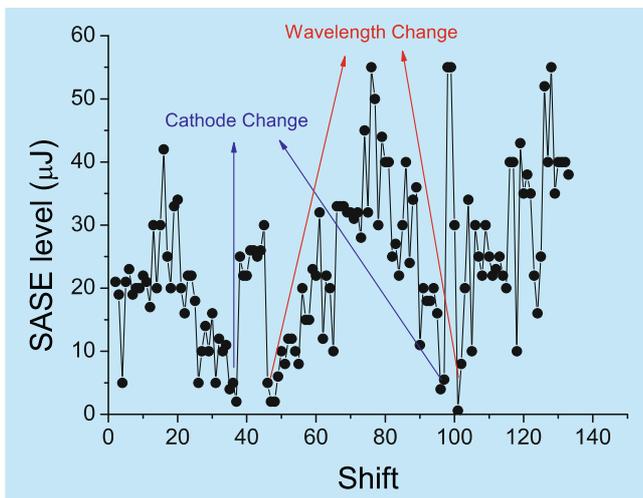


Abbildung 132: Energie der FEL-Strahlung während der ersten Nutzerperiode 2007 (SASE level). Die mittlere Einzelpulsenergie übertrifft meist 20 μJ . Nach einem Wechsel der Wellenlänge und bei einer Verschlechterung der Kathode kann die mittlere Energie absinken. Nicht berücksichtigt ist die Reduktion der gemessenen Energie durch benutzte Aperturen.

Umbau und Erweiterungen

Von Ende März bis Anfang Juli wurden wichtige Umbauten und Erweiterungen vorgenommen:

- Einbau eines sechsten supraleitenden Beschleunigungsmoduls
- Austausch des Moduls 3* gegen Modul 7 mit etwa 100 MeV/Modul höherer Beschleunigung
- Aus- und Einbau des Modul 5 zur Reparatur der Cavity-Tuner
- Einbau eines Undulators für infrarote Strahlung zur Messung der longitudinalen Form der Elektronenpulse und für Pump-Probe-Experimente

- Ein vakuumgeführter Strahlengang, um die infrarote Strahlung zur Experimentierhalle zu führen
- Einbau von zwei Undulatoren und weitere Komponenten für das Optical-Replica-Experiment, ebenfalls zur Messung der longitudinalen Struktur der Elektronenpulse
- Neubau der Sektion zwischen RF-Gun und dem ersten Beschleunigungsmodul
- Verschiebung der RF-Gun um 30 cm weg vom Modul
- Neue Drahtscanner integriert mit Schirmstationen zur Messung der Emittanz vor dem Undulator
- Einbau eines neuen Detektors zur Messung der FEL-Strahlung für Wellenlängen bis zu 6 nm
- Einbau von speziellen Monitoren zur Messung der Ankunftszeit der Elektronenbunche
- Verlegen von speziellen Glasfasern für das Synchronisationsexperiment
- Bau eines Laborgebäudes und Strahlführungen zu FLASH für Lasersysteme, die für verschiedene Experimente genutzt werden

Beschleunigungsmodule

Der Einbau eines sechsten Moduls und der Austausch des dritten Moduls war notwendig, um die Energie des Elektronenstrahls wie geplant auf 1 GeV zu steigern. Außerdem ist der Aus- und Einbau des fünften Moduls notwendig geworden, um die Motoren der Cavity-Tuner zu reparieren. Durch eine fehlerhafte Elektronik wurden die Tunermotoren beschädigt. Die Reparatur war erfolgreich; alle Motoren sind getestet und voll funktionsfähig.

Nach dem Umbau konnte die Strahlenergie nach dem dritten Modul, also im zweiten Bunchkompressor um 100 MeV auf 470 MeV erhöht werden. Mit den folgenden drei Modulen wird eine Endenergie von knapp über 1 GeV erreicht, was einer Wellenlänge der Undulatorstrahlung von 6.3 nm entspricht. Tatsächlich wurde die Energie neben der Messung mit dem Dipolspektrometer

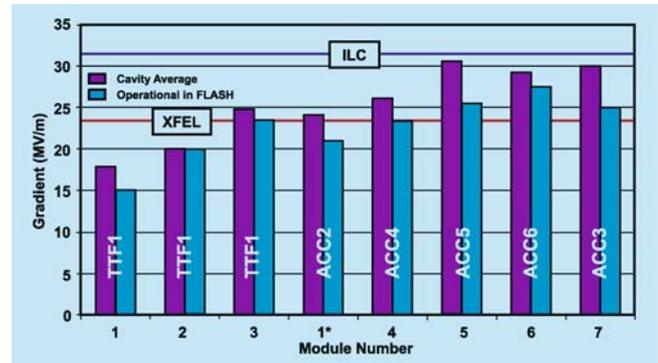


Abbildung 133: *Betreibbare Beschleunigungsgradienten von Modulen, die bei TTF1 in Betrieb waren (Module 1, 2 und 3) und den Modulen die jetzt bei FLASH eingebaut sind. Die roten Balken zeigen die Gradienten, die bei individueller Anpassung der RF-Leistung für jede Cavity erreichbar wäre, die blauen Balken zeigen die tatsächlich im Betrieb erreichten Werte. Da die Leistung auf die Cavities jedes Moduls (Ausnahme Modul 6) gleichverteilt werden, bestimmt im Betrieb die schwächste Cavity den Modulgradienten. Die Planungsziele für den Europäischen XFEL und den ILC sind eingezeichnet.*

auch durch die Messung der Wellenlänge der spontanen Undulatorstrahlung bestätigt.

Abbildung 133 zeigt die betreibbaren Beschleunigungsgradienten von Modulen, die bei TTF1 in Betrieb waren (Module 1, 2 und 3) und der Module, die momentan bei FLASH eingebaut sind. Die roten Balken zeigen die Gradienten, die bei individueller Anpassung der RF-Leistung für jede Cavity erreichbar wäre, die blauen Balken zeigen die tatsächlich im Betrieb erreichten Werte. Da die Leistung auf die Cavities jedes Moduls mit Ausnahme von Modul 6 gleichverteilt werden, bestimmt im Betrieb die schwächste Cavity den Modulgradienten. Die neuen Module 6 und 7 sowie die Module 4 und 5 erreichen oder übertreffen das Planungsziel für den Europäischen XFEL.

Durch die Off-Crest-Beschleunigung zur Komprimierung der Elektronenbunche, die für den SASE Prozess notwendig sind, gehen etwa 20 MeV verloren, so dass FEL-Strahlung mit einer Wellenlänge von 6.5 nm erreicht wurden (Abbildung 129).

Longitudinale Bunchlängenmessung

Um die physikalischen Prozesse des SASE-Prinzips besser zu verstehen, ist eine genaue Kenntnis der longitudinalen Struktur der Elektronenbunche notwendig. Daher sind neben der existierenden THz-Diagnostik und der transversal ablenkenden Cavity LOLA zwei weitere Experimente eingebaut worden: das Optical-Replica-Experiment und ein Undulator zur Erzeugung von infraroter Strahlung. Da dieselben Elektronenbunche sowohl die infraroten Strahlungspulse als auch die FEL-Strahlungspulse erzeugen, sind beide zeitlich gekoppelt und können für Pump-Probe-Experimente genutzt werden.

Elektronenquelle

Die gesamte Sektion zwischen der RF-Gun und dem ersten Modul wurde neu konstruiert. Die Vakuumkammern sind jetzt auf einer leicht justierbaren Platte montiert. Damit wurde die Aufstellgenauigkeit der Komponenten deutlich verbessert. Der Abstand der Polschuhe des Spektrometerdipols ist jetzt vergrößert und dadurch besser an die Strahlgröße in diesem Bereich angepasst. Das Design des Diagnosekreuzes ist weiter optimiert worden, um den Einfluss der Wakefelder auf die Elektronenbunche so klein wie möglich zu halten. Mit neuen eisenfreien Korrekturspulen können Orbitkorrekturen jetzt reproduzierbar eingestellt werden. Die Laserstrahlführung und die Strahlwege der Kamerasysteme zur Messung der Laser- und Elektronenstrahlprofile wurden verbessert.

Eine wichtige Verbesserung in der Kollimation des Dunkelstroms im Gun-Bereich ist dadurch erreicht worden, dass die RF-Gun um 30 cm vom Kollimator weg längs der Strahlachse verschoben wurde. Mit der neuen Anordnung werden jetzt etwa 70% des Dunkelstroms kollimiert. Eine weitere Reduktion wird mit dem Einbau eines Dunkelstromkickers an dem so freigewordenen Platz erwartet.

Trotzdem wird noch ein Teil des Dunkelstroms beschleunigt und führt an einigen Stellen zu einer un-

erwünschten Aufaktivierung von Vakuumkammern und anderen Elementen.

Die Undulatoren sind das Herzstück des FELs. Die Lebensdauer der Undulatoren ist durch die absorbierte Strahlungsdosis limitiert. Durch eine Reihe von Maßnahmen zur Reduktion der Strahlenbelastung ist die vom Undulator absorbierte Dosis weiter reduziert worden. Dazu gehören die Reduktion des Dunkelstroms der Elektronenquelle als auch eine verbesserte Elektronenstrahloptik und ein verbessertes Warnsystem, das bei erhöhter Belastung die Operateure warnt und gegebenenfalls den Strahl abschaltet.

Abbildung 134 zeigt die integrierte Strahlungsdosis gemessen im Undulator seit Anfang 2005. Jeder Messpunkt ist die Summe der während einer Woche gemessenen Dosen aller 30 Messpunkte entlang des Undulators. Die Dosen sinken kontinuierlich und erreichen Werte unter 100 Gy pro Woche, das sind im Mittel etwa 3 Gy pro Messstelle.

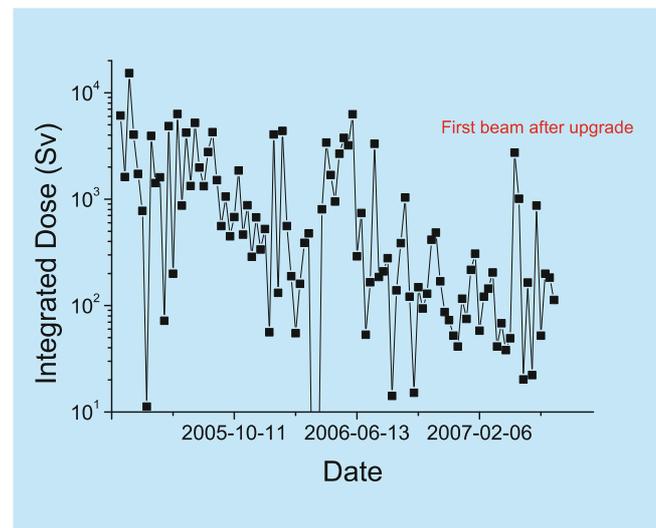


Abbildung 134: Integrierte Strahlungsdosis gemessen im Undulator seit Anfang 2005. Jeder Messpunkt ist die Summe der während einer Woche gemessenen Dosen aller 30 Messpunkte entlang des Undulators. Die Dosen sinken kontinuierlich und erreichen Werte unter 100 Gy pro Woche, im Mittel etwa 3 Gy pro Messstelle.

Weitere Höhepunkte

Die Konditionierung der drei neu installierten Beschleunigungsmodule gelang sehr zügig innerhalb einer Woche. Damit erweist sich die Konditionierung der Koppler und Cavities im Modulteststand vor dem Einbau als Erfolg. Damit konnte die Anlaufzeit im Vergleich zu früheren Jahren erheblich verkürzt werden. Für die Konditionierung der Hauptkoppler werden sonst mehrere Wochen benötigt.

Ein weiterer wichtiger Höhepunkt war die Erzeugung von FEL-Strahlung in langen Pulszügen. FLASH kann innerhalb von Pulsen mit einer Dauer von 800 μs bis zu 800 Pulse mit einem Abstand von jeweils 1 μs erzeugen. Die Wiederholrate ist 5 Hz. Der Transport dieser Pulszüge ist sehr schwierig, da auch kleine Strahlverluste vermieden werden müssen. Der Pulszug liegt allerdings nur dann stabil, wenn das Beamloading durch Anpassung und Regelung der Amplitude und Phase der Beschleunigungsfelder korrekt über den gesamten Pulszug stabilisiert werden.

Zunächst wurde ein kürzerer Pulszug mit 300 bis 400 Pulsen erzeugt. Es gelang, über den gesamten Pulszug eine gleichmäßige Energieverteilung der FEL-Pulse zu realisieren. Die Wellenlänge betrug 13.5 nm, die Energie der Pulse lagen zwischen 20 und 30 μJ mit einem zeitlichen Abstand von 1 μs .

Anschließend konnte zum ersten Mal der FEL-Pulszug auf 800 Pulse verlängert werden (Abbildung 135). Die Energie der Einzelpulse variiert jetzt allerdings zwischen etwa 5 und 20 μJ . Die mittlere Energie der Einzelpulse beträgt 14 μJ , also mehr als 11 mJ pro Pulszug. Mit einer Wiederholrate von 5 Hz ergibt das eine mittlere Leistung von 55 mW. Während des RF-Pulses ändert sich die Temperatur der RF-Gun, was zu einer Verstimmung führt. Dieser Effekt ist bei voller RF-Pulslänge von fast 1 ms besonders groß und führt zur in Abbildung 135 gezeigten Verteilung der Einzelpulsenergie.

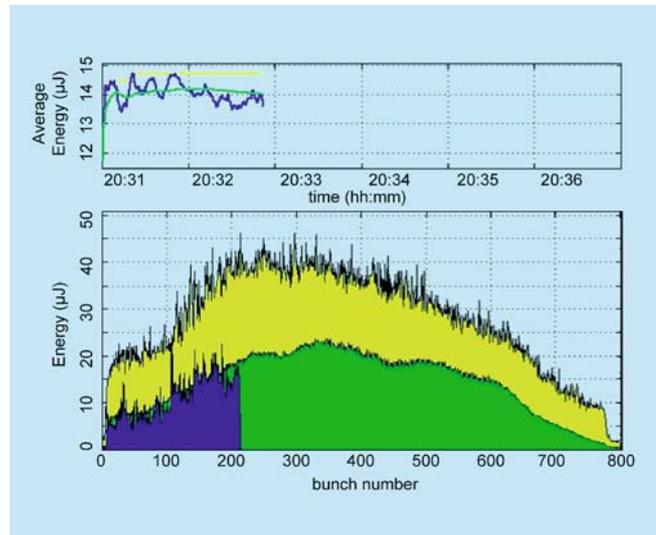


Abbildung 135: *FEL-Strahlung im Pulszug von 800 Pulsen. Die Pulse haben einen zeitlichen Abstand von 1 μs . Die Wellenlänge beträgt 13.4 nm. Gezeigt ist in Blau der momentane Pulszug, in Grün die mittlere Strahlungsenergie für jeden Puls, und in Gelb die maximale Energie innerhalb des Messzeitraums. Der obere Bereich der Graphik zeigt die mittlere Energie pro Puls gemessen mit dem Ionensignal des Gasmonitor-Detektors.*

Eine weitere Verbesserung der RF-Regelung zur Kompensation dieses Effekts ist in Arbeit.

In der Regelung der RF sind weitere Fortschritte erzielt worden. Sowohl die RF-Gun als auch das erste Beschleunigungsmodul ACC1 sind jetzt standardmäßig mit FPGA unterstützter Elektronik (SIMCON3.1) ausgerüstet. Stabilität von Amplitude und Phase der RF sind hier besonders wichtig. Durch die verkürzte Latenzzeit der neuen Elektronik konnte eine außerordentlich gute Stabilität der RF-Phase in der Gun von Puls zu Puls von 0.1° (rms) bzw. 0.4° (pp) gemessen werden. Auch die Stabilität der Energie des Elektronenstrahls gemessen bei 127 MeV ist verbessert worden und liegt jetzt bei 0.016% (rms).

Die zukünftige Synchrotronstrahlungsquelle PETRA III

Dieses Jahr war geprägt durch die Fertigung und den Test von Komponenten sowie die Vorbereitungen für den Umbau PETRAs in eine Strahlungsquelle. Ein wichtiges Ereignis war sicherlich der Start der Bauarbeiten des neuen Achtels und der Deinstallations- bzw. Installationsarbeiten in den sieben sogenannten alten Achteln PETRAs ab Juli. Im Einzelnen lassen sich die Aktivitäten wie folgt zusammenfassen.

Alle Beschleunigerkomponenten für das neue Achtel müssen neu beschafft werden. Dies schließt den Bau von ca. 100 neuen Dipol- und Quadrupolmagneten ein. Die Lieferung dieser Magnete wurde in diesem Jahr abgeschlossen und deren magnetische Vermessung durchgeführt, so dass sie für den Einbau zur Verfügung stehen. Die für die Orbitkorrektur notwendigen Korrekturmagnete werden entweder bis Ende 2007 oder aber zu Beginn 2008 geliefert. Außerdem wird für das neue Achtel ein kompliziertes Vakuumsystem gefertigt, was den Bau der Kammern für die Undulatoren und deren Stützsystem einschließt. Die Komponenten dieses Abschnitts der Maschine werden auf speziellen Trägern (Girder) montiert, um den hohen Anforderungen an die Aufstellgenauigkeit gerecht zu werden. Die verschiedenen Teile der Träger, wie z. B. Unterbauten, Auflagen und Motoren zur Positionierung der Träger sind im Wesentlichen bis Ende des Jahres geliefert worden. Mit dem Aufbau der Magnete auf den Girdern ist bereits begonnen worden. Leider konnte bis jetzt keiner der Girder endgültig bestückt werden, da sich die Lieferung der Vakuumkomponenten verzögert hat. Falls notwendig kann durch Änderung des Zeitplans für die Installation der Komponenten auf den Girdern die Verzögerung aufgeholt werden, so dass die Girder bis Mai zur endgültigen Vermessung in einem klimatisierten Raum in der neuen Halle und anschließendem Einbau bereit stehen werden.

Die Komponenten der alten Achtel müssen für den weiteren Betrieb des Beschleunigers ertüchtigt werden, was zum guten Teil auch einen Neubau von Komponenten bedingt.

Unter anderem wird auch das Vakuumsystem der alten Achtel komplett ersetzt. Fertigung und Lieferung der entsprechenden Kammern ist bis auf wenige Elemente abgeschlossen, so dass sie für den Einbau zur Verfügung stehen. Die Magnete dieses Teils der Maschine, die ursprünglich in PETRA II eingebaut waren, werden alle mit neuen Spulen versehen, da die alten aufgrund von Strahlenschäden für einen längeren Betrieb nicht mehr geeignet sind. Die Lieferung dieser Spulen war in der ersten Jahreshälfte erfolgt. Die Arbeiten an Kickern und Septum, wie auch an den neuen HF-Komponenten wurden fortgeführt. Zum erfolgreichen Betrieb der Lichtquelle wird auch ein aufwendiges Diagnosesystem notwendig sein. Dies beinhaltet Möglichkeiten zur Vermessung der Emittanz des Teilchenstrahls aber auch ein neues Monitorsystem einschließlich Elektronik für die Orbitmessung. An PETRA II wurden in der ersten Jahreshälfte noch einige Messungen durchgeführt, um die Monitorelektronik endgültig zu spezifizieren. Die Lieferung der Elektronik erfolgte dann im Laufe des Jahres. Die neue Elektronik wird integraler Bestandteil eines Systems zur Orbitstabilisierung sein. Ebenfalls wichtig für dieses System sind spezielle Magnete und Netzgeräte sowie eine digitale Regelungseinheit. Diese Komponenten konnten in der ersten Hälfte des Jahres an PETRA II erfolgreich getestet werden. Darüber hinaus wurde ein aufwendiges Simulationsprogramm erstellt, um zum einen die früher angestellten Überlegungen zur Orbitstabilisierung zu überprüfen und zum anderen später während des Betriebes des neuen Beschleunigers zur Diagnose und Verbesserung des komplizierten Stabilisierungssys-

tems benutzt zu werden. Weitere Rückkopplungssysteme werden notwendig sein, um die gewünschte Teilchenzahl und damit den geforderten Strahlstrom speichern zu können. Solche Systeme waren auch schon in PETRA II im Einsatz, müssen aber ersetzt werden, weil ein wesentlicher Parameter, nämlich der Abstand zwischen den Teilchenpaketen verkleinert werden muss. Das neue vertikale Feedback wurde mit Prototypen der neuen Komponenten aufgebaut und an PETRA II getestet. Der Test verlief erfreulich positiv, d. h. mit dem neuen System ließ sich Strahl injizieren und speichern bis zu der aus Sicherheitsgründen gesetzten Grenze von 60 mA. Schwächen des Systems konnten ebenfalls identifiziert werden, was z. B. bedeutet, dass der Schwingungsdetektor überarbeitet werden muss. Es konnte zwar nicht direkt nachgewiesen werden, dass der gewünschte Strom von 100 mA gespeichert werden kann, allerdings lassen die durchgeführten Messungen den Schluss zu, dass das Ziel erreichbar sein sollte.

In die alten Achtel werden aber auch komplett neue Komponenten eingebaut. Um die angestrebte Emittanz von 1 nm rad zu erzielen, muss die Strahlungsdämpfung mit Hilfe von 20 vier Meter langen Wigglern erheblich erhöht werden. Jeweils 10 dieser Wiggler werden in die geraden Strecken West und Nord eingebaut. Die Wiggler sowie das aufwendige und komplizierte Vakuumsystem werden von Kollegen des Budker Instituts (BINP) aus Novosibirsk erstellt. Im Laufe des Jahres wurden 15 von 21 Wigglern geliefert und magnetisch vermessen. Aufgrund der Ergebnisse der Magnetfeldmessung wurde beschlossen noch Maßnahmen zu ergreifen, um die Feldqualität der Wiggler zu verbessern. Zurzeit kann man davon ausgehen, dass die Wiggler rechtzeitig für den Einbau zur Verfügung stehen. Die Konzeptionsphase für das Vakuumsystem ist weitgehend abgeschlossen und mit der Fertigung der Kammern und Absorber, die zur sicheren Beseitigung der auftretenden Synchrotronstrahlung notwendig sind, ist begonnen worden. Die inneren Flächen der Wigglerkammern müssen mit NEG-Material (Mischung aus Vanadium, Zirkonium und Titan) beschichtet werden, um die geforderten Vakuumeigenschaften zu erfüllen. Das Beschichten erwies sich zu Beginn als sehr schwierig. Der erste Versuch scheiterte, aber nach Verbesserung des Verfahrens

waren die nächsten beiden Versuche erfolgreich und bis Ende des Jahres waren circa sieben Kammern erfolgreich beschichtet. Die ersten Vakuumkomponenten, einschließlich der ersten beiden erfolgreich beschichteten Wigglerkammern, wurden Mitte November geliefert, um den Aufbau einer Teststrecke zu ermöglichen. Die Teststrecke enthielt zwei Quadrupole, einen Dämpfungswiggler und eine vertikale Korrekturspule, sowie eine Wiggler-, eine Quadrupolkammer und einen 80 cm langen Synchrotronlichtabsorber. Darüber hinaus wurden auch die Stütz- und Justiereinrichtungen und die Mimik zum Öffnen und Schließen und Verfahren des Wigglers getestet. Bis auf eine Unklarheit hinsichtlich der Justierung des Absorbers verlief der Test erfolgreich. Die nächste Lieferung von Komponenten aus Novosibirsk soll im Februar des nächsten Jahres erfolgen, so dass die erste Dämpfungswigglerstrecke im Februar und die zweite im April aufgebaut werden kann.

Nach Einstellung des HERA- und damit auch des PETRA-II-Betriebs konnte der eigentliche Umbau ab dem 2. Juli starten. Zuerst musste der Abschnitt Nordost bis Ost komplett geräumt werden, so dass die Bauarbeiten für die neue Experimentierhalle beginnen konnten. Ende Juli war dieser Tunnelabschnitt ausgeräumt, und die Baufirma konnte mit dem Abriss des alten Tunnels beginnen. Ende August waren auch die Deinstallationsarbeiten in den anderen Tunnelabschnitten abgeschlossen. Diese Arbeiten schlossen unter anderem den Ausbau sämtlicher Magnete, des Vakuumsystems und der alten Rohre für die Wasserkühlung ein. Diese Arbeiten stellten ein anspruchvolles logistisches Problem dar, welches schneller erledigt wurde als ursprünglich geplant. Unmittelbar mit dem Ausbau der Magnete startete auch der Austausch der alten Spulen sowie die Transfer- und Magnetvermessung. Bis Ende des Jahres waren sämtliche Spulen getauscht und bis auf wenige Ausnahmen sämtliche Magnete (mehr als 600!) vermessen. Die Installation der erneuerten Magnete, der neuen Wasserrohre und neuen Stützen verlief bis jetzt auch schneller als geplant. Nur die Installation der Vakuumkomponenten ist leicht verzögert, was aber bis jetzt die Fertigstellung der alten Achtel zeitlich nicht gefährdet. Zurzeit sind mehr als 50% der neuen Wasserrohre verlegt, mehr als 60% der neuen Magnetstützen

gesetzt und mehr als 30% der Hauptmagnete eingebaut. In dem Achteck von Ost nach Südost ist der größte Teil des Vakuumsystems ebenfalls wieder eingebaut und verbunden worden.

Die Arbeiten an der neuen Experimentierhalle verlaufen auch im Zeitplan. Wie oben gesagt, begannen die

Arbeiten ca. Anfang August. Seit dem ist in großen Teilen der Rohbau erstellt worden. Ein wichtiger Meilenstein war das Gießen der Betonbodenplatte. Die 1 m dicke Platte wurde vom 14. bis 16. Dezember gegossen und bindet zurzeit ab. Nach jetzigem Plan können die Installationsarbeiten in der neuen Halle ab April wie vorgesehen beginnen.



Abbildung 136: Bekanntgabe des XFEL Projektstarts am 5. Juni 2007 in Hamburg.

Planungen und Untersuchungen für den Röntgenlaser XFEL bei DESY

Übersicht

Das europäische Röntgenlaser-Projekt XFEL basiert auf einem supraleitenden 20 GeV Elektronen-Linearbeschleuniger in der von der TESLA-Kollaboration erfolgreich entwickelten Technologie sowie dem SASE-FEL Prinzip zur Erzeugung von Photonenstrahlen extrem hoher Brillianz mit Wellenlängen im Ångströmbereich. 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 ca. 60% beim Bund und den Ländern Hamburg und Schleswig-Holstein, ca. 40% sind von ausländischen Partnern zu erbringen.

Die Projektvorbereitung hatte zu Beginn des Jahres plangemäß einen Status erreicht, von dem aus mit der Realisierung des Projekts begonnen werden konnte. Bis zum Frühjahr 2007 wurden dann auch in den bilateralen Verhandlungen zwischen Deutschland und den internationalen Partnern bezüglich der auswärtigen Finanzierungsbeiträge die erforderlichen Fortschritte erzielt, die den Einstieg in die Projektrealisierung erlauben. Am 5. Juni wurde von Frau Ministerin Schavan in einer feierlichen Zeremonie in Hamburg im Beisein von Vertretern der XFEL Partnerländer (Abbildung 136) der Projektstart für den Europäischen XFEL bekannt gegeben.

Startversion der Anlage

Mit Unterzeichnung eines gemeinsamen Kommuniqués haben die Partnerstaaten am 5. Juni 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-Strahlführungen 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).

Diese Ausbauversion wurde von der *Working Group for Scientific and Technical Issues* (STI) untersucht und bewertet und als Ergebnis ihrer Sitzung am 25. April 2007 dem *Internationalen Steering Committee* (ISC) als Szenario für den sofortigen Projektstart empfohlen. Das ISC hat in seiner Sitzung am 3. Mai 2007 dem Vorschlag zugestimmt, mit diesem Startscenario in die Projektrealisierung einzutreten. In seiner Sitzung im Oktober 2007 hat die STI-Gruppe dann zusätzlich eine Priorisierung der Undulatoren und der wissenschaftlichen Instrumente vorgenommen. Das ISC hat von dieser Priorisierung Kenntnis genommen. In der sich daraus ergebenden Konfiguration der Startversion wird ein Schwerpunkt in der Bereitstellung von FEL Strahlung im weichen und im konventionellen Röntgenbereich liegen. Abstriche in Bezug auf Polarisation der FEL Strahlung im weichen Röntgenbereich sowie bei der Bereitstellung von spontaner emittierter Synchrotronstrahlung im sehr harten Röntgenbereich

lassen sich im angestrebten Ausbau zur Voll-Version (TDR-2006) ausgleichen. Für die wissenschaftlichen Experimente werden zunächst sechs statt der ursprünglich vorgesehenen zehn Instrumente realisiert werden. Vier bzw. zwei Instrumente werden dabei für die Nutzung konventioneller, bzw. weicher Röntgenstrahlung zur Verfügung stehen. Ein späterer Ausbau der Anlage auf die TDR-Vollversion bleibt uneingeschränkt möglich.

Vorbereitung der Baumaßnahmen

Das ISC hat in seiner Sitzung am 3. Mai 2007 ferner beschlossen, DESY mit der Durchführung dringend anstehender Maßnahmen (u. a. Ausschreibungen für Tiefbau sowie technische Arbeiten) zu betrauen, während parallel die Gründung der XFEL GmbH betrieben wird.

Die Erstellung der umfangreichen Ausschreibungsunterlagen für die Tiefbaugewerke wurde von einer Arbeitsgruppe unter Hinzuziehung eines externen Projektsteuerers koordiniert. Die Einteilung des Bauvolumens in Auftragslose und die Art der Ausschreibung (funktional bzw. nach Leistungsverzeichnis) wurde in mehreren Workshops unter Einbeziehung des DESY Einkaufs, der XFEL Projektleitung, der technischen Planer sowie juristischer Beratung definiert. Das europaweite Ausschreibungsverfahren wurde am 6. Juni 2007 eröffnet. Die im Dezember 2007 eingegangenen Firmenangebote werden im Detail ausgewertet, und die Vergabe von Bauaufträgen ist für das Frühjahr 2008 geplant.

Entwicklungsarbeiten und Industrialisierung

Die umfangreichen Entwicklungsarbeiten und die Vorbereitungen auf die industrielle Serienfertigung technischer Komponenten wurden fortgesetzt. Die folgende kurze Zusammenfassung beschränkt sich auf einige Beispiele.

Auf dem *Cryo Module Test Bench* (CMTB) wurden drei Beschleunigermodule im kaltgefahrenen Zustand mit voller Hochfrequenzleistung erfolgreich getestet. Besonders hervorzuheben sind die problemlose Durchführung einer größeren Anzahl von Abkühl-/Aufwärm-Zyklen sowie die kurzen Konditionierzeiten für die Hochfrequenz-Leistungskoppler. Nach Einbau dieser Module bei FLASH konnte dort nach nur kurzer Inbetriebnahmephase die volle Entwurfsenergie von 1 GeV erreicht werden.

Beim Hochfrequenzsystem macht die Prototypen-Entwicklung der für den Einbau im Tunnel geeigneten horizontalen Klystrons gute Fortschritte. Eine der drei beauftragten Firmen hat das Klystron, nach erfolgreichen Tests in der Firma, bereits einige Monate vor dem vereinbarten Termin ausgeliefert. Am FLASH-Linac wurde ein Systemtest mit 10 kV-Puls-kabeln durchgeführt, wie sie später beim XFEL benötigt werden, um die Pulstransformatoren im Tunnel mit den Modulatoren in der oberirdischen Halle zu verbinden. Eine befürchtete Störung des FLASH Betriebs durch elektromagnetische Interferenz aufgrund der hohen Pulsströme im Kabel konnte nicht beobachtet werden. Ebenfalls am FLASH-Linac erfolgreich erprobt wurde ein verbessertes Hohlleiter-Verteilungssystem, das nicht nur eine flexible Anpassung der Hochfrequenzleistung erlaubt, sondern gleichzeitig auch einfacher und platzsparender aufgebaut ist als das bisherige System.

Im Rahmen der Industrialisierung der Niob-Resonator Oberflächenbehandlung wurden Aufträge an zwei Firmen vergeben, um die bei DESY erprobte Elektropolitur für die spätere Serienfertigung in der Industrie zu etablieren. Erste Testergebnisse mit industriell elektro-polierten Kavitäten werden Anfang 2008 erwartet.

Zur Erprobung und Optimierung der Installationsprozeduren im XFEL Tunnel wurde auf dem DESY Gelände ein 50 m langer Testtunnel aufgebaut (Abbildung 137). Neben einem Installations-Test der Beschleuniger-Komponenten können hier auch Versuche zur Temperaturstabilisierung der Undulator-Sektionen durchgeführt werden.

Erste Prototypen für die Undulatoren wurden an DESY ausgeliefert, und mit der mechanischen und magneti-



Abbildung 137: Blick in den XFEL Testtunnel.

schen Vermessung wurde begonnen. Für die magnetische Vermessung der ca. 100 Undulatorsegmente des XFEL werden zusätzliche Kapazitäten erforderlich. Im abgelaufenen Jahr wurde daher damit begonnen, eine neue Messbank aufzubauen, die die Anforderungen an die hochpräzise Vermessung der Magnetfelder der XFEL Undulatoren erfüllt. Diese Messbank einschließlich der zugehörigen Infrastruktur war Ende des Jahres weitgehend aufgebaut. Erste Messungen sind im Frühjahr 2008 vorgesehen. Bezüglich der erforderlichen extrem engen Toleranzen der Undulator-Parameter wurden umfangreiche Simulationsrechnungen durchgeführt. Es zeigt sich, dass sowohl hinsichtlich der mechanischen Toleranzen der Undulator-Segmente als auch der Temperaturstabilisierung über lange Distanzen in den Undulator-Tunneln weniger enge Anforderungen gestellt werden müssen, als in einer ersten konservativen Abschätzung angenommen.

Im Bereich der Röntgen-Optiken und Strahlführungssysteme wurde begonnen, die Auslegung dieser Optiken im Detail zu planen. Wichtig ist dabei die Kenntnis über den Transport kohärenter Röntgenstrahlung und den Einfluss von Abweichungen der Optiken von der

Idealform. Simulationen und Messungen möglicher Schädigungen von Röntgen-Optiken durch die intensive FEL-Strahlung wurden im abgelaufenen Jahr begonnen. Diese Tätigkeiten werden in den Jahren 2008/09 fortgesetzt werden.

Für das Entwicklungsprogramm von Flächen-Detektoren für die Experimente wurden mit Hilfe eines internationalen Beratergremiums (*Detector Advisory Committee – DAC*) drei Vorschläge ausgewählt. Die Ergebnisse der Evaluierung der Vorschläge hat dazu geführt, dass ein Konsortium seinen Antrag zurückgezogen hat und einen überarbeiteten Vorschlag einreichen 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 bei der Organisation und Durchführung des Baus der Beschleunigeranlage eine besondere Rolle zu. Die Errichtung des Beschleuniger-Komplexes wird i. W. in Form von *in-kind* Beiträgen seitens einer Reihe von Instituten aus den XFEL-Partnerländern (einschließlich DESY) erfolgen. DESY übernimmt in diesem *Accelerator Consortium* die Aufgabe des Koordinators. Nach dem offiziellen Projektstart im Juni 2007 wurden die Aktivitäten zur Organisation dieses Konsortiums verstärkt und in einer Reihe von Workshops und Gesprächen mit Partnerinstituten die Abstimmung der Aufgabenverteilung und des Umfangs der jeweiligen Beiträge vorangetrieben. Aufgrund der bis Ende des Berichtszeitraums erzielten guten Fortschritte bei diesem Abstimmungsprozess ist zu erwarten, dass die Organisation der Zusammenarbeit für den Bau des XFEL-Beschleunigers zeitgerecht gelingen wird.

Aktivitäten in Zeuthen

PITZ

Der Photoinjektor-Teststand Zeuthen (PITZ, Abbildung 138) dient der Entwicklung und Optimierung von Elektronenquellen für Freie-Elektronen-Laser (FEL), zurzeit insbesondere für das Projekt des Europäischen Röntgenlasers (XFEL).

Das Hauptziel im Jahr 2007 bestand in dem Konditionieren und der Charakterisierung der neuen Elektronenkanone (Gun 3.2) sowie einem wesentlichen Ausbau der bestehenden Anlage.

Zum Jahresbeginn wurden die Arbeiten an der Anlage, die im Herbst 2006 begonnen hatten, fortgesetzt. Hauptziel war die Inbetriebnahme der inzwischen fertig gestellten Gun 3.2. Bei der Inbetriebnahme gab es mehrere Probleme mit Vakuumlecks an HF-Einkopplern, welche die Messungen um zwei Monate verzögerten. Während dieser Zeit wurden vier neu entwickelte Schirmstationen eingebaut.

Nach dem umfassenden Umbau war ein eine mehrwöchige Inbetriebnahme der gesamten Anlage mit den neuen Diagnosekomponenten und Elektronenstrahl erforderlich.

Im April konnte das Konditionieren der Gun 3.2 beginnen. Ziel war es mit dieser Gun erstmals Beschleunigungsgradienten von 60 MV/m zu erreichen. Mit einem derartig hohen beschleunigenden Feld kann man eine verbesserte Qualität des Elektronenstrahls (verkleinerte transversale Emittanz) erwarten. Hierzu wurden 2007 erstmalig etwa 6.5 MW HF-Leistung aus einem 10 MW Klystron an der Gun im kontinuierlichen Betrieb in Zeuthen realisiert. Der Normalbetrieb der Gun mit dieser HF-Spitzenleistung fand bei einer HF-Pulslänge von 0.1 ms statt. An der Gun 3.2 wurden ungewöhnlich hohe Dunkelströme gemessen, bis zu 8 mA bei einer HF-Leistung von 6.5 MW. Dies führte während des Betriebes zu hohen Strahlungsniveaus im Tunnel mit der Konsequenz häufiger Ausfälle von Diagnose- und elektronischen Komponenten. Als eine der Ursachen wird ein Fertigungsfehler im Kathodenbereich von Gun 3.2 vermutet.

Trotz der hohen Dunkelströme konnte eine erfolgreiche Charakterisierung der Gun 3.2 in den Monaten Juni bis August durchgeführt werden. Insbesondere konnte im Vergleich zu bisherigen Messungen eine verbesserte transversale Emittanz gemessen werden. Die transversale Emittanz beträgt demnach 1.26 mm mrad bei einer Ladung von 1 nC und einem Feldgradienten von circa

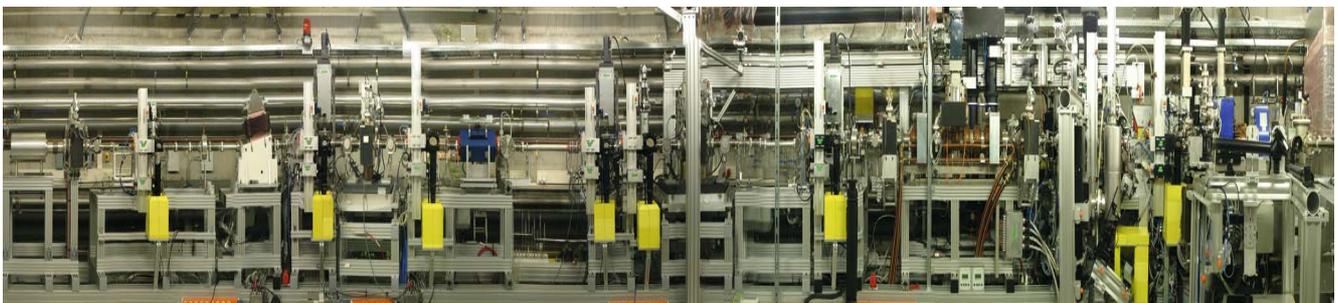


Abbildung 138: Panorama des PITZ Aufbaus 2007.

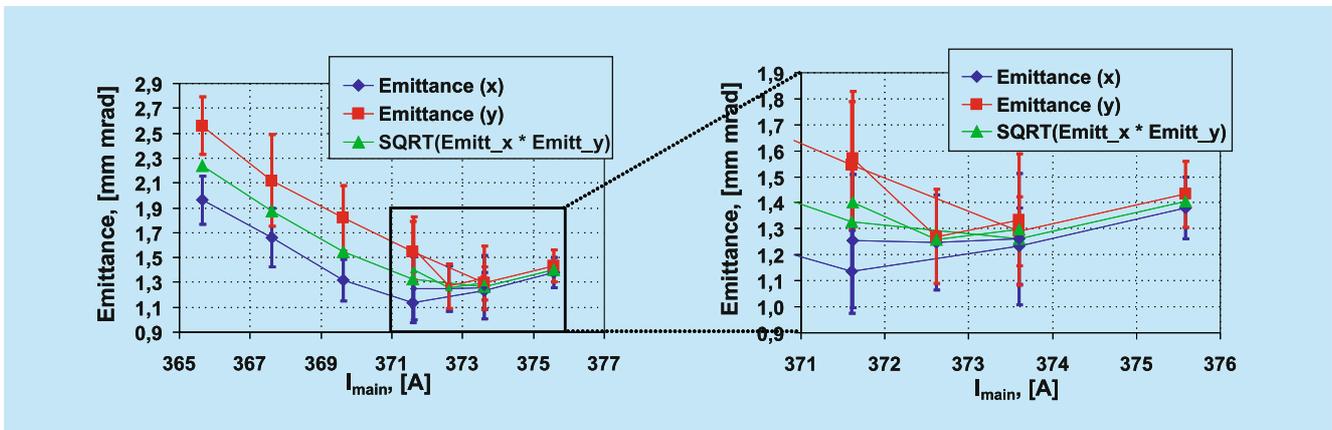


Abbildung 139: Transversale Emittanz für 1 nC und 60 MV/m.

60 MV/m (Abbildung 139). Verwirft man einen Teil der Elektronen, der voraussichtlich nicht zum Lasing des XFEL beiträgt, ergibt sich sogar eine Emittanz von ca. 0,8 mm mrad.

Dies erfüllt die Anforderungen der für das Europäische XFEL-Projekt notwendigen projizierten Emittanz und kennzeichnet die derzeit weltbeste gemessene Emittanz. Trotzdem müssen noch eine Reihe von Untersuchungen und Verbesserungen durchgeführt werden (Dunkelstrom, Stabilität), bevor die Quelle für den XFEL einsatzfähig ist.

Die thermische Emittanz, welche die kleinste theoretisch erreichbare Emittanz ist, wurde ebenfalls gemessen. Sie betrug bei einer Strahlfleckgröße von 0,35 mm (rms) 0,47 mm mrad. Dies ist um den Faktor 1,6 größer als erwartet. Daher müssen in Zukunft noch detailliertere Untersuchungen zur thermischen Emittanz durchgeführt werden, um die Emissionsprozesse besser zu verstehen.

An den Photokathoden wurden in Zusammenarbeit mit BESSY XPS-Untersuchungen (Röntgen-Photoelektronen-Spektroskopie) durchgeführt. Dies betraf insbesondere auch einen Vergleich neuer und bei PITZ und FLASH benutzter Kathoden. Es wurde eine Änderung der chemischen Zusammensetzung während der Nutzung nachgewiesen. Die Untersuchungen werden fortgesetzt.

Am 20.8. begann eine weitere Umbauphase. Ausgehend von der Projektstufe PITZ1.6 wird dadurch die Projektstufe PITZ1.7 erreicht.

Ein Großteil der Diagnosekomponenten im hochenergetischen Teil der Beschleunigeranlage wurde und wird umgebaut. Der Anlass ist der Einbau des neuen Magnet-Spektrometers HEDA1. Das Spektrometer wurde bei PITZ entwickelt, der Magnet in Kooperation mit LAL Orsay in Frankreich gebaut. HEDA1 erlaubt eine deutlich verbesserte Vermessung des longitudinalen Phasenraumes und ermöglicht erste slice-Emittanz Messungen. Mit diesem Umbau werden außerdem viele Komponenten auf die Sollpositionen für die Projektstufe PITZ2 gebracht. Außer den Änderungen in der Hochenergiesektion wurde um den Jahreswechsel 2007/2008 die Niederenergiesektion wesentlich umgebaut.

Im November 2007 wurde mit der Installation eines völlig neuen Photokathodenlasers, der von dem Max-Born-Institut Berlin (MBI) entwickelt wurde, begonnen. Die Laserpulse werden Anstiegs- und Abfallzeiten von 2 ps haben. Hiervon erwartet man eine weitere Verbesserung der Strahlqualität (transversale projizierte Emittanz). Dazu war es notwendig, die Laserhütte zu erweitern und eine verbesserte Klimatisierung des Laserraumes mit einer Temperaturkonstanz von $0,1^\circ$ aufzubauen. Das System der Laserstrahl Diagnostik wird ebenfalls verbessert.

Ein neu entwickelter Konditionierungs-Teststand (CTS) für Elektronenkanonen (Guns) wurde im Tunnel aufgebaut. Die neue Gun 4.2, die eine Reinigung erstmals nicht mit Wasser, sondern mit Trockeneis durchlief, wurde auf diesem CTS montiert. Mit der Konditionierung der neuen Gun wurde im Dezember 2007 begonnen.

Der Bau der neuen Boosterkavität *CDS-Booster* läuft weiterhin in Hamburg, sie soll 2008 in PITZ eingebaut werden, um die Elektronenenergie auf etwa 30 MeV zu erhöhen.

Weiterhin wurden die Arbeiten zur Entwicklung weiterer Komponenten der Anlage fortgesetzt, die für eine zukünftige Nutzung vorgesehen sind.

Strahldynamik-Simulationen wurden zu folgenden Themenkreisen durchgeführt:

- Simulation des aktuellen PITZ-Aufbaus, um die gemessenen Resultate von Gun 3.2 zu vergleichen
- Simulation zum longitudinalen Phasenraum
- Simulationen zur Beurteilung systematischer Unsicherheiten der verschiedenen Messmethoden
- Simulation zu Quadrupol-Magneten und Phasenraum-Tomographie teilweise zur Vorbereitung der *slice*-Emittanz Messung
- Simulationen für die HF-Ablenkungskavität
- Simulation für den XFEL zur Geschwindigkeits-Kompression (*velocity bunching*) der Elektronenpakete

Weitere Simulationen wurden zur Entwicklung des Spektrometers HEDA2 und für die Rekonstruktion des Magneten LEDA unter Verwendung von CST Software und zur Weiterentwicklung des optischen Systems für die Messungen mit der Streak-Kamera unter Verwendung des Programms ZEMAX durchgeführt.

Die im Herbst begonnenen Arbeiten zum Ausbau der Anlage, wie der Laseraufbau und der Umbau der gesamten Elektronenstrahl-Diagnostik werden 2008 fortgesetzt. Nach den Umbauphasen ist ein ausführliches Messprogramm durchzuführen und der Einfluss der verbesserten Laserstrahlparameter auf die Qualität des Elektronenstrahls zu untersuchen.

FLASH

Im Routinebetrieb des Beschleunigers FLASH wird der Röntgenlaserstrahl durch Spiegel in die verschiedenen Strahlrohre geführt. Die Ausrichtung der Spiegel und damit eine Veränderung der Strahlführung erfolgt im Zeitraum von Tagen bis Wochen. In Zeuthen wurde ein Prototyp einer schnellen Spiegelkammer aufgebaut, der unter Laborbedingungen zeigte, dass es möglich ist, mit der geforderten Präzision (Endlage eines Spiegels im Sub-Mikrometerbereich, Verkantung unter einer Bogensekunde) eine Strahländerung im Takt von einigen Hertz zu realisieren.

Der in Zeuthen gefertigte *Ionisation Profile Monitor* (IPM, Abbildung 140) wurde in den Beschleuniger FLASH eingebaut und in das Auslesesystem eingebunden.

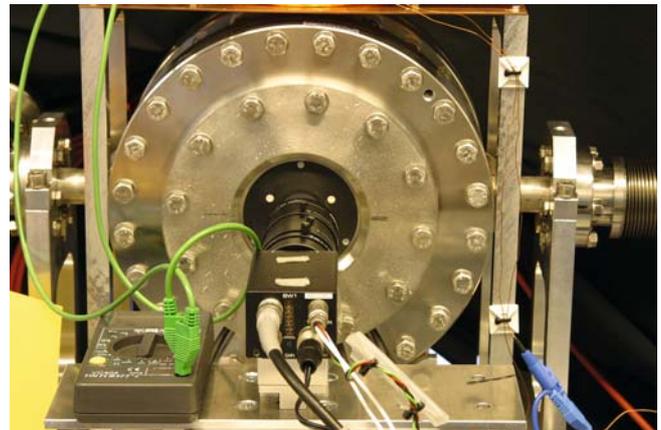


Abbildung 140: Kompletter Ionisation Profile Monitor.

XFEL

Modulator Test Facility (MTF)

Im Januar wurden an zwei Firmen Aufträge zur Entwicklung und zum Bau von Modulator-Prototypen vergeben. Danach wurden intensive Abstimmungen mit diesen Firmen geführt mit dem Ziel, die Prototypen

XFEL-gerecht aufzubauen. Dieser Prozess wird auch 2008 fortgesetzt. Parallel dazu wurde begonnen, alle für die Steuerung erforderlichen elektronischen Komponenten in den entsprechenden Racks zu installieren

und zu verkabeln. Mitte des Jahres wurden auch die beiden Pulstransformatoren geliefert und in der Testhalle installiert. Die Lieferung der ersten Prototypen wird Mitte 2008 erwartet.

Arbeiten der Gruppen des Bereichs Beschleuniger

Beschleunigerphysik und Beschleunigerkoordination –MPY–

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

Spinpolarisation

HERA

HERA lief in 2007 bis zu Abschaltung am 30.06.2007 in 3 verschiedenen Betriebsmoden, welche hauptsächlich durch unterschiedliche Energie der Protonen unter Kollisionen, nämlich 920 GeV, 460 GeV und 575 GeV, charakterisiert waren.

Setzt man kollidierende Strahlen gleicher Strahlgröße voraus und nimmt an, dass die dominierende Apertur-einschränkung unter Kollisionen im Bereich der Mini-betaquadrupole liegt, so folgt aus der Invarianz der normierten Protonenemittanz, dass die Luminosität in etwa invers proportional zum Quadrat der Protonen Energie ist. (Die horizontale und die vertikale Strahlgröße sind jeweils in etwa invers proportional zur Energie.) Um zu vermeiden, dass die Protonenlebensdauer, die Stabilität der Luminosität und Untergrund für die Experimente leiden, müssen die Strahlgrößen beider Strahlen angepasst bleiben, d. h. die Betriebsparameter der Positronenmaschine müssen zusammen mit denen der Protonenmaschine konsistent geändert werden.

Für die drei Betriebsmodi wurden dabei sowohl die Befunktionen am Wechselwirkungspunkt, als auch die Gleichgewichtsemittanzen der Positronen jeweils im Verhältnis der Protonenenergien skaliert.

Die Gleichgewichtsemittanz der Positronen wurde dabei durch Reduktion des Phasenvorschubes in den Bögen von 72° auf 60° und Reduktion der HF-Frequenzverschiebung angepasst. In diesem Szenario bleibt bei allen Energien der Strahl-Strahl tune shift auf die Protonen erhalten und der Strahl-Strahl tune shift auf die Positronen skaliert mit der Protonen-Energie.

HERA-e und HERA-p liefen die gesamte Zeit bei Spiegel-tunes (d. h. tunes oberhalb der halben und unterhalb der ganzen Zahl). Bei Proton/Positron-Kollisionen ist das der Betriebszustand, in dem die Strahl-Strahl tune-Verschiebung auf die Positronen die Luminosität leicht erhöht und die Polarisation der kollidierenden Bunche (172 Stück) um typisch 10% gegenüber den nicht-kollidierenden (8 Stück) reduziert.

Es wurden im Standard Betriebszustand (bis 21. März 2007, 920 GeV p auf 27.5 GeV e^+ , d. h. nominale Strahl-Strahl tune Verschiebung auf die Positronen) in der Regel Polarisationen von ca. 35%-40% mit steigender Tendenz zum Ende des runs erreicht. Die Spitzenwerte der Polarisation lagen bei etwa 45%.

Im Betriebszustand mit niedriger Protonen Energie (ab 22.03.2007, 460 GeV auf 27.5 GeV, d. h. halber nominale Strahl-Strahl tune Verschiebung auf die Positronen) wurden regelmäßig Polarisationen von ca. 45%-50% mit Spitzenwerten um 55%, schon relativ früh im jeweiligen run erreicht.

Auch im Betriebszustand mit mittlerer Protonen Energie (ab 01.06.2007, 575 GeV auf 27.5 GeV, d. h. ca. 60% der nominalen Strahl-Strahl tune Verschiebung auf die

Positronen) wurden normalerweise Polarisierungen von ca. 40%–50% ebenfalls relativ früh im run erreicht.

Die Polarisation der nicht kollidierenden Bunche lag in der Regel bei frisch optimierten Polarisationsbedingungen bei ca. 55%–60%. Diese gemessene Polarisation ist vergleichbar mit den optimalen Werten aus der Simulation für HERA-Modelle mit 3 Rotator-Paaren, unkompenzierten Experimente-Solenoiden und realistisch gestörtem closed orbit.

Ein neues longitudinales Polarimeter (Cavity-LPOL) wurde erfolgreich von der Polarimeter-Gruppe in Betrieb genommen. Mittels eines optischen (Fabry-Perot) Cavities, erzielt es deutlich bessere Statistik und damit bessere Zeitaufösung als die beiden herkömmlichen Polarimeter (TPOL und LPOL).

In den letzten Tagen des HERA Betriebes (25.–27. Juni 2007) wurde in Zusammenarbeit mit den Polarimeter Gruppen eine Kalibration des transversalen Polarimeters und des Cavity Polarimeters durchgeführt. Dazu wurden Positronen-runs ohne Protonen in den Zustand gebracht bei dem normalerweise Kollisionen erfolgen. Dabei baute sich eine Gleichgewichtspolarisation von ca. 58% auf. Der Strahl wurde durch Verschieben der tunes und durch Orbit-Beulen, die die Polarisation empfindlich stören, depolarisiert um dann, nach zügiger Korrektur dieser Störungen, die charakteristische Aufbauzeit der Polarisation zu bestimmen. Zwischen der Gleichgewichtspolarisation und der Aufbauzeit besteht ein relativ genau bekannter Zusammenhang, so dass die absolute Polarisationsmessung kalibriert werden kann. Hauptunsicherheit ist hierbei der Beitrag der sogenannten kinetischen Polarisation, der nur relativ grob in Simulationen abgeschätzt werden kann. Diese Simulationen sind erst zum Teil abgeschlossen.

Andere Aktivitäten

Die Dynamik polarisierter Protonen- und Deuteronen-Strahlen ist in vielen Instituten weiterhin ein reges Forschungsgebiet. DESY konnte in vielen Fällen Erkenntnisse und Erfahrungen aus früheren Studien zur der mathematischen Beschreibung von Spin-Bewegung in Speicherringen beitragen. Insbesondere ist hier die

Spin Dynamik im Beisein von hochfrequent veränderlichen magnetischen Feldern zu nennen.

Die Studien zur Spin Dynamik von Elektronen und Positronen beim International Linear Collider wurden weitergeführt. Die Weiterentwicklung von Spin-Orbit Tracking Programmen durch die Einbeziehung von nicht-linearer Orbit-Bewegung, eine Kollaboration mit dem Cockcroft Institute (UK) und mit Kollegen vom KEK (Japan), ist weit fortgeschritten.

Die Erzeugung polarisierter Antiprotonen bei FAIR (GSI, Darmstadt) ist eine enorme Herausforderung. Ein DESY Mitarbeiter hat einen workshop organisiert bei dem Experten zusammen kamen, um die vielversprechendsten Strategien zu diskutieren.

Erstellung eines Impedanzmodells für PETRA III

In Zusammenarbeit mit der Technischen Universität Darmstadt, der Otto-von-Guericke Universität Magdeburg, dem CANDLE, Yerevan Universität, Armenien, sowie dem Budker Institut, BINP, Novosibirsk, Russland, wurden vom Strahl induzierte transiente Felder (sogenannte Wakefields) für Vakuum-Komponenten für die Synchrotronlichtquelle PETRA III berechnet. Insbesondere wurden in diesem Jahr die abgeschrägten Übergänge zu den Undulatorvakuumkammern mit Hilfe des Programms PBCI, das am Institut für Theorie Elektromagnetischer Felder der Universität Darmstadt entwickelt wurde, untersucht und die Ergebnisse wurden auf der Particle Accelerator Conference, PAC07, vorgestellt.

Ein Modell zweier abgeschrägten Übergänge, wie sie für die Berechnungen mit dem Programm PBCI verwendet wurde, wird in Abbildung 141 gezeigt.

Die Berechnung von elektromagnetischen Feldern in den Vakuumkomponenten sind für die Erstellung eines Impedanzmodells der Synchrotronlichtquelle PETRA III notwendig, um mögliche Limitierungen des speicherbaren Stromes beurteilen zu können. In diesem Jahr konnten alle wichtigen Berechnungen für das Impedanzmodell abgeschlossen werden, so dass nunmehr

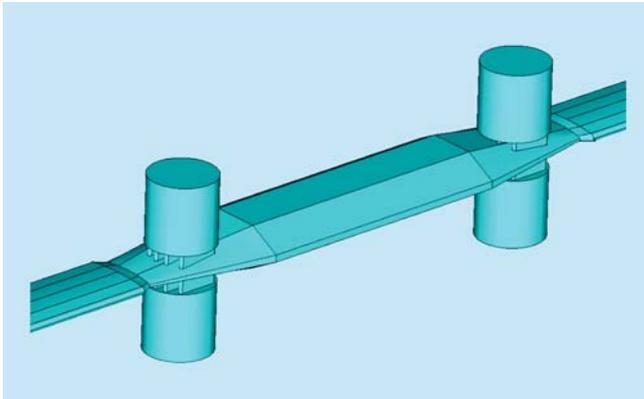


Abbildung 141: Modell der abgeschrägten Übergänge zu den Undulatorvakuumkammern für die Berechnungen mit dem Programm PBCI. Die Abbildung zeigt das Strahlvakuumsystem und die in den Abschrägungen integrierten Rohre für die Vakuumpumpen.

eine gute Datenbasis für die weiteren Untersuchungen zu Strahldynamik von kollektiven Effekten zur Verfügung steht.

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. Beiträge, Tagesordnungen und weiteres befinden sich auf der Web-Seite: <http://www.desy.de/xfel-beam>.

Projizierte Emittanzen

Ein wesentlicher Strahlparameter für jeden FEL ist die Emittanz als Maß für die Strahlgröße. Die im vorigen Jahr begonnenen experimentellen Studien an FLASH wurden fortgeführt. Dabei wurden die zum Messen der Strahlgröße verwendeten Drahtscanner erstmals genau charakterisiert. Mit den dadurch gewonnen Erkenntnissen war es möglich die Emittanz an verschiedenen Positionen in FLASH genau zu bestimmen. Bei korrekt eingestelltem Beschleuniger wächst die projizierte Emit-

tanz laut diesen Messungen und in Übereinstimmung mit den numerischen Vorhersagen nicht an.

Eine wesentliche Frage ist nun, ob das Anwachsen der Emittanz bei nicht korrekten Einstellungen ebenfalls mit der Theorie übereinstimmt. Hierzu wurden umfangreiche Messungen und Simulationen durchgeführt. Dazu wurde die Simulation des Beschleunigers um bislang noch nicht berücksichtigte Effekte (Störfelder der HF-Einkoppler und HOM-Koppler) erweitert sowie die Berechnung der elektromagnetischen Felder im TESLA Modul nochmals überprüft. Die Abhängigkeit der Emittanzvariation von der Position des Strahls im TESLA Modul stimmt auch hier mit den Vorhersagen überein. Damit lässt sich das bestehende Modell der elektromagnetischen Felder im TESLA Modul im Rahmen der Messgenauigkeit bestätigen.

Velocity Bunching

Im SASE Routinebetrieb von FLASH werden magnetische Schikanen zur longitudinalen Kompression des Elektronenstrahls genutzt. Hierbei wird eine Korrelation zwischen Energie und longitudinaler Position entlang des Bunches mit Hilfe des HF-Systems erzeugt, so dass Elektronen im Kopf des Bunches über weniger Energie verfügen als nachfolgende Teilchen. Nach dem ersten Beschleunigermodul (ACC1) ist eine Energie von etwa 120 MeV erreicht. Bei diesen Energien sind die Teilchen relativistisch, so dass die longitudinale Dispersion von magnetischen Schikanen zur Kompression nötig ist.

Der Ansatz bei *Velocity Bunching* besteht darin, bereits in der ersten Beschleunigungsstruktur einen korrelierten Energiespread zu erzeugen da dort, bei Energien von ca. 5 MeV, eine longitudinale Kompression alleine durch Geschwindigkeitsunterschiede möglich ist.

Velocity Bunching ist keine Alternative zur herkömmlichen Kompression, da kurze Bunche bei niedrigen Energien stark unter Selbstwechselwirkungen wie Raumladungskräften leiden. Es ist aber möglich, *Velocity Bunching* zu nutzen um durch geeignete Vorkompression das Bunchkompressionssystem von sowohl FLASH als auch vom XFEL weiter zu optimieren.

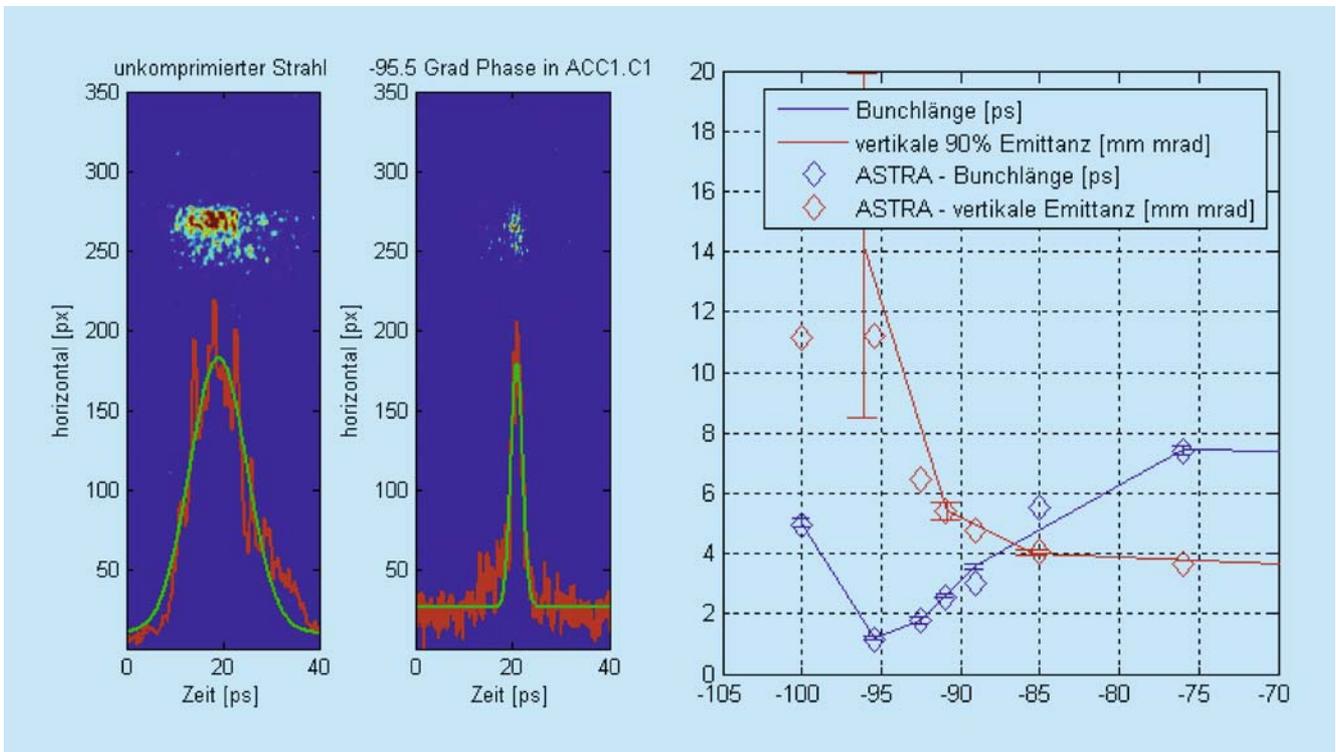


Abbildung 142: *Bunchkompression bei FLASH durch Velocity Bunching, gemessen mit einer Streak-Kamera hinter dem ersten Beschleunigungsmodul. Links: Der Strahl ist unkomprimiert (HF-Phase on-crest). Rechts: Die HF-Phase der ersten Beschleunigungsstruktur ist in die Nähe des Null-Durchgangs (-95.5°) gestellt – der Strahl ist durch Velocity Bunching stark verkürzt. Die Bunchlänge wird als Standardbreite eines Gaussfits (grün) an das longitudinale Intensitätsprofil (rot) bestimmt. Ganz rechts gemessene Bunchlängen und Emittanzen als Funktion der HF-Phase der ersten Beschleunigungsstruktur, verglichen mit ASTRA Simulationsrechnungen. Der Anstieg der Emittanz bei kurzen Bunchlängen ist auf Raumladungseffekte zurückzuführen.*

Bei FLASH sind 2007 numerische und experimentelle Studien zum *Velocity Bunching* durchgeführt worden. Für verschiedene HF-Phasen des ersten Beschleunigungsmoduls wurden die Bunchlänge und die Strahl-Emittanz gemessen.

Zur Messung der Bunchlänge wurde die Synchrotronstrahlung des Elektronenstrahls von einem Ablenkmagnet zu einer Streak-Kamera geleitet. Die Streak-Kamera ist in der Lage mit einer Auflösung von etwa einer pico-Sekunde zeitaufgelöste Aufnahmen des Synchrotronstrahlungspulses zu machen, aus denen die Bunchlänge bestimmt wird (siehe Abbildung 142).

Die Strahl-Emittanz wird mit Hilfe von vier, an verschiedenen Stellen gemessenen Strahlprofilen, bestimmt. Die Ergebnisse sind zusammen mit den gemessenen Bunchlängen in Abbildung 142 dargestellt. Von besonderem Interesse ist hier die vertikale Emittanz, da diese nicht durch Effekte der Abstrahlung kohärenter Synchrotronstrahlung im BC2 vergrößert wird. Es ist zu beobachten, dass die Emittanz für kurze Bunchen deutlich ansteigt – dies ist auf Raumladungskräfte zurückzuführen. Die Effekte dieser Raumladungskräfte wurden durch numerische Simulationen mit dem Programm ASTRA analysiert und mit den Messungen verglichen.

CSR Studien Im Rahmen einer Doktorarbeit sind bei FLASH mit Hilfe der transversal deflektierenden HF-Sektion (LOLA) Strahlgrößen und -schwerpunkte entlang der longitudinalen Position im Bunch unter dem Einfluss kohärenter Synchrotronstrahlung (CSR) in Abhängigkeit von der Bunch-Ladung gemessen und mit Simulationen verglichen worden. Die gute Übereinstimmung der Rechnungen mit den Messungen belegt auch hier das fortgeschrittene Verständnis der Elektronenstrahldynamik und die Zuverlässigkeit der verwendeten Simulationsprogramme.

Impedanz-Budget Es ist eine Datenbank erstellt worden, die für alle wichtigen Komponenten der XFEL Vakuumkammer die Wake-Felder enthält und fortlaufend ergänzt wird. Die Felder werden auch als Greens-Funktionen parametrisiert sein, so dass für beliebige longitudinale Strahlprofile die integrierten induzierten Energieabweichungen schnell berechnet werden können.

Bisher sind neben den Wake-Feldern entlang des LINACs und der Undulatorkammer auch die in Kickern, Septa und den Vakuumkammern des Strahlverteilungssystems auftretenden Felder berechnet worden, um ihren Einfluss auf den SASE-Prozess zu simulieren. Als Folge dieser Untersuchung konnte der Durchmesser der Vakuumkammern in der Kollimations- und Strahlverteilungssektion und damit die Öffnung der verwendeten Magnete reduziert werden.

Undulator Studien In Zusammenarbeit mit dem CANDLE Institut (Armenien) wurde der Frage der optimalen Strahlfokussierung im XFEL nachgegangen. Hierzu wurden vorbereitende Studien zur Sensibilität der FEL Ausgangsleistung auf Fehler in der Strahloptik durchgeführt und dann verschiedene Fokussierungskonfigurationen miteinander verglichen. Für einige FEL-Szenarien ergibt sich ein deutlicher Vorteil wenn eine geringere Anzahl Quadrupole zur Strahlfokussierung verwendet wird. Diese Studie wird im Hinblick auf optimale und fehlertolerante Einstellungen für die Inbetriebnahme des XFEL fortgeführt.

Kollimationssektion Die Auslegung der über 200 m langen Kollimationssektion des XFEL wurde nochmals überarbeitet um eine flexible Anpassung der energieabhängigen Weglänge (R_{56}) zu ermöglichen. Diese Änderung war aufgrund von Ergebnissen der Studien zur micro-bunching Instabilität nötig geworden. Die innovativen Lösungen wurden in einem ausführlichen TESLA-Report dokumentiert, die hierbei gewonnen Erkenntnisse konnten auch bei der Planung einer eventuellen FLASH-Erweiterung genutzt werden.

Optik für BC Diagnostik-Sektion Auch die Auslegung der Diagnostiksektionen hinter den beiden Bunch-Kompressoren erfuhr eine umfangreiche Überarbeitung. Hierbei konnte eine deutlich kompaktere und weniger komplexe Lösung gefunden werden, ohne dass die vielfältigen Messmöglichkeiten in dieser Sektion wesentlich beeinträchtigt werden.

Optik für FLASH Für FLASH sind neue Optiken sowohl für den SASE-Betrieb als auch für spezielle Maschinenexperimente entwickelt und getestet worden. Die neue SASE-Optik wird mittlerweile erfolgreich im Routinebetrieb eingesetzt.

SASE Simulationsprogramm Alice Das Programm für die Simulation des FEL SASE Prozesses ist weiterentwickelt worden. Das Programm stellt eindimensionale, rotationssymmetrische und 3-D Algorithmen zur Feldberechnung zur Verfügung und berücksichtigt in der neuen Version auch die transversale Teilchendynamik.

Longitudinal Phase Space Tracking and Optimization (Litrack+) In Zusammenarbeit mit der Helmut-Schmidt-Universität wurde ein Computer-Programm zur nichtlinearen Optimierung der longitudinalen Phasenraumverteilung in LINACs mit Bunch-Kompressoren erstellt und getestet. Zusätzlich ist jetzt in das Programm ein Modell der Raumladungskräfte integriert.

FLASH Optic Server Package Die Matlab Library, die aktuelle Optik Daten on-line berechnet und zur Verfügung stellt, ist erweitert worden, um eine genauere Modellierung der HF und z. B. des neuen Infrarot-Undulators zu gewährleisten. Das Programmpaket ist umfassend dokumentiert in: <http://ttfinfo.desy.de/TTFelog/index.jsp>, wo auch viele Beispiele und Tips zu seiner Benutzung zu finden sind.

Kollaborationen Plasma-Beschleuniger sind mittlerweile in der Lage, Strahlen mit Energien von einigen hundert MeV mit kleinen transversalen Abmessungen ($\sim 1 \mu\text{m}$) und sehr hohen Spitzenströmen ($\sim 100 \text{kA}$) zu erzeugen. Wir kooperieren mit dem Max Planck Institut für Quantenoptik bei den Strahldynamikrechnungen für diese extremen Parameter.

Das LCLS am SLAC hat ganz ähnliche Anforderungen an die Strahlqualitäten wie der XFEL. Die Inbetriebnahme des LCLS Injektor und Bunch-Kompressor-Systems ist daher von Mitgliedern unserer Arbeitsgruppe so weitgehend wie möglich begleitet worden.

FEL Theorie

In verschiedenen Studien wurde der starke Einfluss der Raumladungsfelder auf die Eigenschaften intensiver Elektronenstrahlen untersucht und gezeigt, dass diese Effekte zu einer signifikanten Verschlechterung der FEL Eigenschaften führen können. Dies trifft insbesondere auf FELs zu, die durch *Laser wake field* (LWF) Beschleuniger getrieben werden.

Untersuchungen der physikalischen Grundlagen der nichtlinearen Erzeugung von Strahlung höherer harmonischer Wellenlängen und der Entstehung transversaler Kohärenz in SASE FELs zeigten, dass in XFELs, die von Elektronenstrahlen geringer Energie getrieben werden, eine deutliche Verschlechterung der transversalen Kohärenz zu erwarten ist.

Es wurden verschiedene Konfigurationen von Pump-Probe Experimenten mit XFEL Strahlungspulsen und intensiven Pulsen externer optischer Laser vorgeschlagen. Die Grundidee besteht darin, das Problem der

absoluten Synchronisation durch das Problem der Messung des relativen Jitters zwischen den beiden Pulsen zu ersetzen. Mit Hilfe der Kenntnis der Relativzeit zwischen den beiden Pulsen jedes einzelnen Pump-Probe Ereignisses können die Messergebnisse entsprechend sortiert werden.

Arbeiten der technischen Gruppen

Injektion/Ejektion –MIN–

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

Elektronen/Positronen LINAC II und PIA

In 2007 wurden für HERA und DORIS Positronen geliefert, für die ausgiebige Nutzung der Teststrahlen wurde jedoch regelmäßig auf Elektronenbetrieb umgeschaltet. Dies reduzierte die Belastung des Konverters und somit dessen Aktivierung und das Risiko von Ausfällen.

Der letzte der in den vergangenen Jahren neu gefertigten 14 Beschleunigerabschnitte wurde im Januar 2007

abschließend mit Hochfrequenzleistung konditioniert. Zunächst hatte ein schlechtes Vakuum den Beginn der Konditionierung verzögert, später zeigten sich auch während der Konditionierung deutlich häufiger Gasausbrüche als sonst üblich. Hierdurch wurde die Dauer der Behandlung, die 2006 begonnen hatte bis in 2007 hinein verlängert. Ein weiterer Abschnitt wartet auch jetzt, Anfang 2008, auf das Konditionieren; hier musste der Pumpstutzen nachgearbeitet werden, da Kontrollmessungen ein schlechtes Stehwellenverhältnis am Eingangskoppler ergeben hatten. Ein weiterer Abschnitt ist seit 2007 in der Fertigung. Nach Fertigstellung dieses Abschnitts wird die Serie von neuen Abschnitten vorerst abgeschlossen sein. Da das Abstimmen des letzten Abschnitts erfolgreich durchgeführt wurde, ist die Tuning-Apparatur abgebaut und eingelagert worden.

Der Neubau eines Reservesenders für das 125 MHz System in PIA ist abgeschlossen.

Für den LINAC II sind zwei größere Neukonstruktionen geplant. Zum einen soll der Konverter durch eine verbesserte Variante ersetzt werden. Bei diesem Modell soll vollkommen auf bewegliche Teile verzichtet werden, was die Mechanik vereinfacht, und Raum für Verbesserungen der Vakuumtechnik und Abschirmung erlaubt. Es wird keine Lötstellen der Kühlleitungen im Vakuum mehr geben. Der neue Konverter (Abbildung 143) wird kompakter sein, was eine bessere strahlenschutztechnische Abschirmung erlaubt. Während des Betriebes soll eine Abschirmung aus Aluminium die Aufaktivierung der näheren Umgebung reduzieren. Die Konstruktion des Konverters ist abgeschlossen, die Fertigung läuft. Der Einbau ist für April 2008 vorgesehen.

Neue Elektronenkanone

Die seit mehreren Jahrzehnten eingesetzte thermische DC-Gun mit gepulster Hochspannung (150 kV / 3 μ s / 50 Hz) arbeitet zwar sehr robust, wartungsarm und zuverlässig, birgt jedoch potenziell das Risiko eines gravierenden Ausfalls des LINAC II, falls das unter Öl betriebene System inklusive der Keramik ein Leck be-

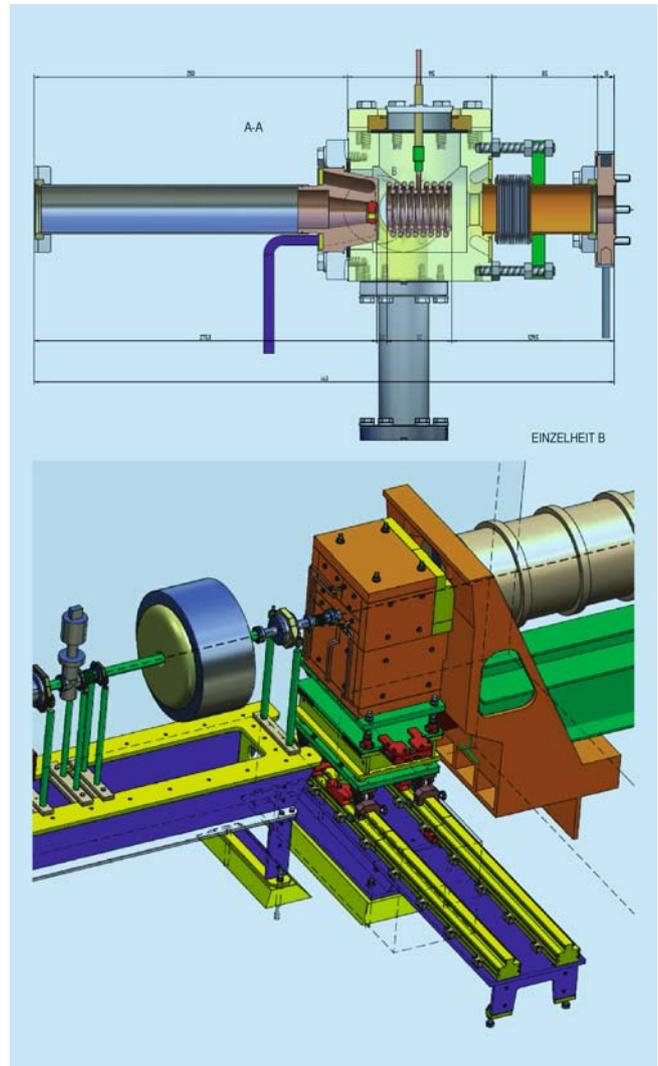


Abbildung 143: Konverter oben: Seitenansicht, unten: Im Beschleuniger.

kommt. Wegen der geringen Injektorenergie (150 keV) sowie fehlender an die Elektronengeschwindigkeit angepasster Vorbeschleunigungsstrukturen ist die longitudinale Anpassung beim Einschuss in den LINAC nicht optimal. Dies führt zu Verlusten (Aktivierung) in den ersten Beschleunigerabschnitten. Ein Strompuls von 6 A aus der Gun ist nötig, um am Positrontarget den mittleren Strom von ca. 1.5 A in einer rund 30 ns langen Kette aufeinanderfolgender Bunche (~ 0.5 nC per Bunch) im 3 GHz Raster zu erhalten.

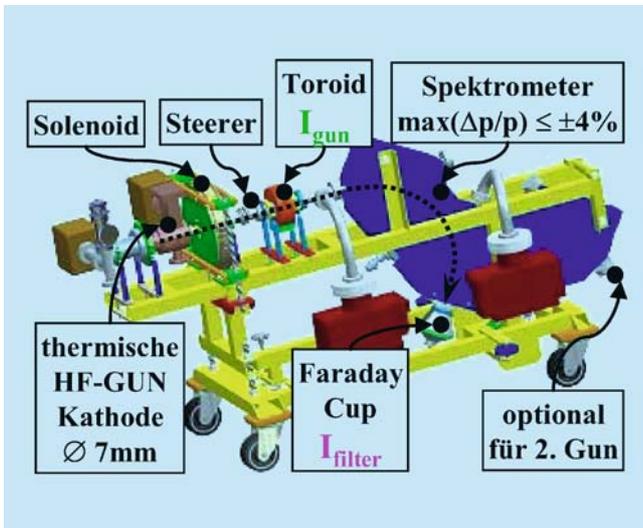


Abbildung 144: Aufbau zum Test der thermischen HF Quelle.

Als attraktive Alternative könnte eine S-Band HF-Kanone mit thermischer Kathode dienen, die bereits einen für den Einschuss in die LINAC Abschnitte passenden Bunchzug relativistischer Elektronen erzeugt. In einem in Abbildung 144 dargestellten Testaufbau wurde das Verhalten einer solchen Quelle für die am LINAC II geforderten Betriebsbedingungen untersucht. Die 1 1/2 zellige S-Band Kanone und die Spektrometereinheit wurden freundlicherweise vom MAXLAB Labor in Lund/Schweden zur Verfügung gestellt.

Mit kurzen leistungsstarken 22 MW/260 ns HF-Pulsen konnte im 50 Hz Betrieb ein über die 3 GHz Struktur gemittelter Strom von $I_{\text{gun}} \sim 4.5 \text{ A}$ aus der Gun (Füllzeit $\sim 400 \text{ ns}$) extrahiert werden. Bei maximalem Impuls von etwa 1.7 MeV/c verbleibt davon hinter dem Spektrometer in einem Fenster von $\Delta p/p \leq \pm 4\%$ ein etwa 60 ns (FWHM) langer Puls mit $I_{\text{filter}} \sim 1 \text{ A}$.

Durch SLED Unterstützung war mit 45 MW/190 ns HF-Pulsen sogar eine Steigerung auf $I_{\text{gun}} \sim 6.5 \text{ A}$ und $I_{\text{filter}} \sim 1.4 \text{ A}$ möglich, wie in Abbildung 145 gezeigt. Gegenüber dem o. g. Betrieb ohne SLED musste der Heizstrom der 7 mm großen BaO Kathode von 6.7 A auf 4.7 A reduziert werden, da deren Emissionsver-

halten in dem hier betriebenen Stromregime bereits erheblich durch sogenanntes e-Back-bombardement bestimmt wird. Ein Heizstrom von 4.7 A reicht nicht um die Emission zu starten. Je höher die Feldstärke in der Gun umso größer die Emissionsfähigkeit der Kathode, wodurch das Cavity schließlich so stark belastet wird, dass das Feld auf Null absinkt, weil mehr Energie entzogen als nachgeführt wird. Eine weitere über die in Abbildung 145 gezeigten Verhältnisse hinausgehende Erhöhung der Nutzströme, etwa durch längere oder stärkere HF-Pulse, war wegen der geschilderten Rückkopplung zwischen HF-Parametern und Emission nicht möglich.

Der Test hat gezeigt, dass die HF-Gun in der Lage ist, im 50 Hz Betrieb Bunchzüge mit annähernd der für den LINAC II Betrieb erforderlichen Länge ($\sim 30 \text{ ns}$) und Intensität (1 A bis 1.5 A) zu liefern. Letzteres unterstellt, dass die Bunche nahezu verlustfrei und ohne zu große Energieverteilung zum Positrontarget gelangen. Dazu ist eine hinreichend kleine Bunchlänge erforderlich, deren aufwendige Messung in diesem Experiment nicht vorgesehen war. Aussagen hierzu könnten Messungen in einem erweiterten Aufbau mit nachfolgendem LINAC II Beschleunigungsabschnitt liefern.

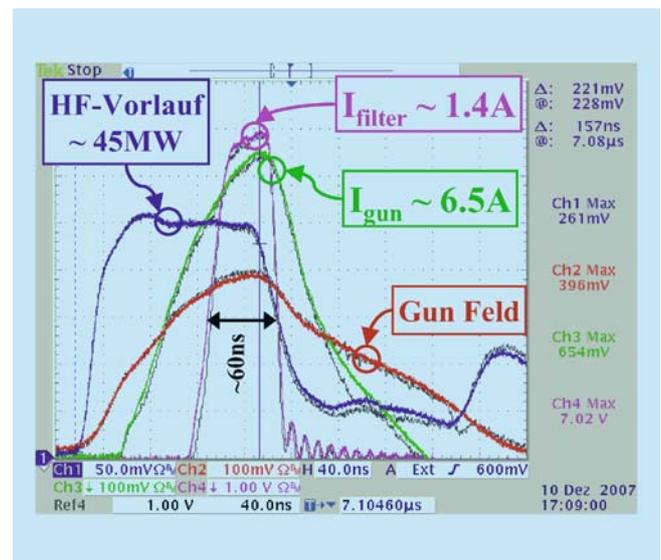


Abbildung 145: Charakteristischen Signale bei maximal erreichtem Strahlstrom; Zeitskala 40 ns/div.

Eine Abnahme des Emissionsverhaltens der Kathode konnte auch nach mehr als ca. 500 h im 50 Hz Betrieb mit extrahierten Strömen I_{gun} im Bereich 4.5 bis 6.5 A nicht festgestellt werden. Im 22 MW/260 ns Betrieb ohne SLED zeigte die Intensität des Nutzsignals I_{filter} bei durchgehendem Betrieb über 10 Tage eine Stabilität im Bereich von 5%, worin sich alle Schwankungen der beteiligten Komponenten widerspiegeln.

Im SLED Betrieb traten jedoch nach etwa 1 Woche zunehmende Multipactoreffekte auf. Eventuell ist dafür das starke Kathodenbombardement verantwortlich, wodurch eine rauere Kathodenoberfläche sowie in der Gun sublimiertes Kathodenmaterial hervorgerufen und damit die Feldemission begünstigt worden sein könnte.

Ziel muss es sicherlich sein, die Gun mit moderaten HF Leistungen ohne den Aufwand eines SLED-Systems zu betreiben. In diesem Zusammenhang ist auch die Untersuchung einer Laser unterstützten getriggerten Emission mit einer an der Grenze der thermischen Emission vorgeheizten Kathode sinnvoll.

Über einen zuverlässigen Langzeitbetrieb bzw. die Lebensdauer der Kathode auf einer Zeitskala von einem Jahr oder länger lässt dieses Experiment keine endgültige Schlussfolgerung zu.

LINAC III

Nachdem CERN sich 2006 entschieden hatte die HERA HF H^- -Quelle für das LINAC IV Project zu verwenden, war die Quelle 2006 zum Patent angemeldet worden, das 2007 erteilt wurde. Auf der Basis eines Vertrags zwischen CERN und DESY wurde ein Technologietransfer durchgeführt.

Die für die Fertigung bei CERN erforderliche umfangreiche Dokumentation führte zu einer Neugestaltung der Quelle (Abbildung 146).

Die wesentlichste Änderung ist, dass das Plasma nur noch im Bereich des Teilchenkonverters mit Metall in Berührung kommt und die Plasmakammer zur Hochspannungsisolation in einer Keramikscheibe aufgehängt wird.



Abbildung 146: Die neue HERA HF Multicusp H^- -Ionen Quelle mit vollisolierter Plasmakammer und Aufhängung in einer Keramikscheibe.

Der Teilchenkonverter zur Erzielung hoher H^- -Ströme ist ein konisch zylindrisches Element. Die Elektroden des Konverters sind longitudinal geschlitzt und gegeneinander isoliert, um sie mit unterschiedlichem Bias vorzuspannen.

Es ist die bislang umfangreichste Studie der Emittanz an einer H^- -Quelle durchgeführt worden. Die Emittanz wurde in Abhängigkeit vom Quelledruck, dem Filterfeld und der Leistung gemessen. Eine detaillierte Dokumentation, in der auch der Elektronenstrom mit erfasst ist, wurde publiziert.

Erstmals wurde auch die HF Impedanz des Plasmas in einem Kompensationsverfahren gemessen.

Am 27. August wurde an Dr. Jens Peters der *Brightness Award* auf der ICIS 2007 (*Internationale Conference on Ion Source*) in Korea verliehen (Abbildung 147). Ausgezeichnet wurden die Arbeiten auf dem Gebiet der H^- -Quellen. Diese Technologie wird nicht nur zum CERN sondern auch zur Spallationsquelle SNS sowie zum Fermilab exportiert. Besonders hervorgehoben wurde auch die gute Zusammenarbeit mit anderen internationalen Instituten. So wurde ein Weltrekord – die Erzeugung des längsten Strompulses mit einer Quelle dieses Typs – nur durch die Bereitstellung von Geräten anderer Institute möglich.



Abbildung 147: Überreichung der Brightness Award Urkunde durch Prof. Jose Alonso, den Präsidenten des Preiskomitees auf der ICIS 2007 in Korea.

Kickerlabor

Im Kickerlabor standen die Entwicklungsarbeiten für den zukünftigen PETRA III Betrieb im Vordergrund. Hinsichtlich Amplituden- und Zeitstabilität bestehen hier besonders hohe Anforderungen an das Injektionssystem aus Kickermagnet und Pulser.

Durch eine einfache Messmethode können diese Genauigkeitsanforderungen bestimmt werden. Zwei identische Anlagen pulsen gegeneinander und die Differenz wird gemessen. Ist der Aufbau der Pulser, Kicker und der Zuleitungen nicht identisch (Induktivität und Kapazität) entsteht eine leichte Wellenform, deren Amplitude ein Maß für die Pulsungleichheit (Pulsform) der einzelnen Pulse ist. Die Amplitudenstabilität wird

hauptsächlich durch das HV-Netzgerät und den verwendeten Behlke Schalter bestimmt. Die Zeitstabilität hängt von der Steilheit des Anstiegs zu Beginn des Pulses, vom Ausschwingverhalten des Pulser, sowie vom zeitlichen Jitter des verwendeten Schalters ab. Die gemessene maximale Pulsvariation beträgt $5,9 \cdot 10^{-3}$.

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. Überbräumen, Einschaltfeld, Überstromabschaltung, Triggersperre und Pulserüberwachung soll künftig die Ersatzteilhaltung vereinfachen. Lediglich die Hochspannungsteile bleiben unterschiedlich. Für DESY II und PETRA III wurden insgesamt 19 Pulser entwickelt und aufgebaut.

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

Nach der Abschaltung von HERA wurden in PETRA II alle In- und Ejektionsanlagen demontiert. Am FLASH Beschleuniger wurden Vorstudien für den XFEL durchgeführt. Hierzu wurde ein Stripline-Kicker (Teil des LOLA Aufbaus) durch einen Ferritkicker ersetzt, um eine Verdopplung des ablenkenden Feldes zu erzielen. Mit dem Ziel, die Pulslänge von $1 \mu\text{s}$ auf 320 ns zu verringern, wurde die Kapazität verkleinert; die Induktivität ist durch den Kickeraufbau festgelegt. Als Folge erhöht sich zwangsläufig die elektrische Spannung im

Pulskreis, die wiederum durch den Thyristor-Typ festgelegt ist. Erste Messungen mit Elektronenstrahl zeigen, dass die gewünschten Anforderungen zu erfüllen sind.

Wie schon im letzten Berichtszeitraum erwähnt, wurde ein Sweeper-System für den PITZ Strahlfänger entwickelt. Dieser Magnet besteht aus einem horizontalen und einem vertikalen Stromleiter, der jeweils von einem separaten Pulser angesteuert wird. Dadurch wird der Bunchzug nach einer Lissajousfigur auf dem Dumpblock verteilt und eine punktuelle Temperaturerhöhung kann verhindert werden. Die beiden Schwingkreispulser und der Magnet sind für den Einbau fertig gestellt.

Für das XFEL Projekt entstanden zwei Rechteckpuls-generatoren mit einer Pulslänge von 300 μ s, um auch hier die Pulsleichheit und die Zeit- und Amplitudenstabilität zu untersuchen. Erste Ergebnisse sind für das Frühjahr 2008 geplant.

Septumlabor

Die neue e+/e- Injektion in PETRA III strebt nach 2 Jahren Konstruktions- und Bauzeit ihrer Fertigstellung entgegen und wird die alte Injektion, die noch aus der „Erstausrüstung“ von PETRA aus dem Jahre 1978 stammt, ersetzen. Ziel bei der Neukonstruktion war, die bisherige ca. 4.8 m lange Einheit aus Vakuumkammer und Septumtank in zwei separate Komponenten zu zerlegen. Vorteil neben einer besseren Handhabung bei der Fertigung und Montage ist auch ein leichter Austausch, sollte am Magneten im späteren Betrieb ein Defekt auftreten. Der neu konstruierte Injektionsbereich erstreckt sich über eine Länge von ca. 13.3 m (4.5 m PETRA-Kammer, 1.7 m Septumtank und 7.1 m Quadrupol-/Dipolkammer). Alle Kammern sind, um einer möglichen Erwärmung durch Synchrotronlicht vorzubeugen, wassergekühlt. Bei der innerhalb des Septumtanks weitergeführten PETRA-Kammer wurde eine indirekte Kühlung über eine Kupferbrücke zur Tankwandung gewählt, da die max. zu erwartende Verlustleistung nur 180 W beträgt. Der Septumleiter ist massiv ausgeführt, was die Leitermontage

in den Magnetblock deutlich vereinfacht. Die im Betrieb im Leiter anfallende Verlustwärme wird indirekt über die Septumschiene weggekühlt. Der Magnetblock fungiert dabei als Wärmebrücke. Laborversuche ergaben eine Betriebstemperatur von max. 50°C bei einem Pulsstrom von 5 kA (im späteren Betrieb wird mit ca. 3.5 kA gepulst). Für die Strahldiagnose wurde im vorderen Bereich des Septumtanks und in der Quadrupol-/Dipolkammer je ein Schirmmonitor vorgesehen.

Der für die H-Quelle entwickelte 2 MHz Halbleitersender wurde erfolgreich getestet. In einem Testlauf über 4 Tage lieferte der Sender bei einer Ausgangsleistung von ~ 15 KW an 50 Ohm (150 μ sec Burst) einen H-Strom von 12 mA. Im nächsten Schritt sollen, um mehr Ausgangsstrom aus der Quelle zu erhalten, zwei Senderstufen über einen Power-Combiner parallel geschaltet werden. Der gesamte Sender wird dabei weiterhin nur den Platzbedarf eines 4HE 19"-Einschub aufweisen. Es ist geplant, die derzeit noch extern befindliche Betriebsspannung der Endstufen mit ins 19"-Gehäuse zu integrieren, die Energieversorgung ist dann über einen einzelnen 230Vac Anschluss möglich.

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 sehr umfangreichen normalleitenden 500 MHz Beschleunigungsanlagen und 1000 MHz Rückkopplungssysteme für Elektronen oder Positronen in DESY II, DORIS III, PETRA II, HERA sowie für den Aufbau der HF Anlagen für PETRA III. Die zweite, MHF-sl, betreut das supraleitende 500-MHz-System im HERA-Elektronen-Ring und die supraleitenden 1.3 GHz Resonatoren bei TTF/FLASH. Die Hochfrequenzsysteme für die Protonen-Beschleunigung in DESY III, PETRA II und HERA sowie die 1.3 GHz Klystrons und Modulatoren bei TTF/ FLASH werden von der dritten Untergruppe, MHF-p, betreut, die auch die HF Anlagen für den XFEL plant.

Supraleitende Beschleunigungsstrecken –MHF-sl–

Die Hauptaufgabe der Gruppe MHF-sl ist die Entwicklung von Komponenten für supraleitende HF Beschleunigungsstrecken wie Hochleistungs-HF Einkoppler, Higher Order Mode Koppler und Niob Resonatoren. Weiterhin werden spezielle Apparaturen wie Tuningmaschinen für den mechanischen und elektrischen Abgleich von Resonatoren oder Messplätze für HF Einkoppler und supraleitende Resonatoren aufgebaut und betrieben. In 2007 wurden eine Vielzahl von Resonatoren mechanisch und HF technisch vermessen sowie 85 Messungen im Test-Kryostaten durchgeführt. Für FLASH, den ILC sowie als Vorserie für den XFEL wurden 60 neue Leistungskoppler bestellt. Die Betreuung der Fertigung bei zwei Firmen lag in der Verantwortung von MHF-sl. In einer Kollaboration mit IN2P3, Orsay, Frankreich wurden weitere Koppler für drei Module getestet und konditioniert und bei DESY und Fermilab installiert. Auch ist die Gruppe MHF-sl für den Betrieb der supraleitenden Resonatoren in FLASH und HERA verantwortlich. Nach Beendigung des Betriebes von HERA sind verstärkt Aufgaben zur Vorbereitung der Bauphase des XFEL Beschleunigers übernommen worden. Hierzu gehört eine in Zusammenarbeit mit IN2P3, Orsay, betreute Industriestudie über die Fertigung von 1000 Einkopplern für XFEL sowie die Überarbeitung bzw. Vervollständigung der Spezifikationen und der Zeichnungen zur Ausschreibung der Niob 1.3 GHz Resonatoren. Als Beispiel der Industrialisierung sei der der Bau der verbesserten Tuningapparaturen für Niob Resonatoren genannt. Diese Arbeiten werden gemeinsam mit FNAL und KEK durchgeführt. Es ist vorgesehen zwei dieser Anlagen an Firmen zur Fertigung der Resonatoren für XFEL zu übergeben. Jeweils eine Anlage wird in dem Labor von FNAL und KEK benutzt werden.

Ebenso wurde eine automatische Messeinrichtung zur Frequenzmessung der Niob Schalen während der industriellen Fertigung konstruiert und gebaut. Diese Messungen sind notwendig, um die Schalen frequenzmäßig so zu trimmen, dass der geschweißte Niob Resonator sowohl in der Frequenz als auch in der mechanischen

Länge die korrekten Werte erzielt. Bislang wurden diese kritischen Messungen von Hand ausgeführt, allerdings ist dies bei rund 15 000 Schalen für 800 Resonatoren nicht mehr möglich.

Im Rahmen des CARE (*Coordinated Accelerator Research in Europe*) Projektes in FP6 wurden F&E Arbeiten zur Technologie der Hochfrequenzsupraleitung weitergeführt. Als Beispiel sei die Entwicklung einer neuen Reinigungsmethode mit einem CO₂ Strahl genannt. Dieses Verfahren verspricht im Vergleich zu der Standard Methode mit Hochdruck Reinstwasser eine höhere Reinigungskraft ohne die üblichen Nachteile von Wasser auf Oberflächen einer Vakuum Apparatur. Messungen an Niob Einzellern haben aber bislang nur eine marginale Verbesserung der Hochfrequenzeigenschaften gezeigt. Kürzlich wurde die CO₂-Reinigung an einer normal leitenden Kupfer RF-Gun angewandt. Hier kann Wasser nicht verwendet werden weil bei einer solchen Reinigung das Kupfer Material zu stark oxidiert. Nach der CO₂ Reinigung zeigte der Betrieb der RF-Gun einen wesentlich reduzierten Dunkelstrom, was durch die Oberflächenreinigung im Bereich der Kathode zu begründen ist. Bislang limitierte der hohe Dunkelstrom der Gun die Performance des Strahlstroms im nachfolgenden supraleitenden LINAC. Durch weitere Versuche soll dieses Reinigungsverfahren weiter optimiert werden.

Normalleitende Beschleunigungsstrecken für Elektronen/Positronen – MHF-e –

MHF-e betreibt die 500-/1000-MHz-HF-Systeme aller Elektronen-Ringbeschleuniger. Diese HF-Systeme bestehen aus 16 Senderanlagen mit insgesamt 28 Dauerstrich-Klystrons. Davon sind 23 800-kW-Klystrons, ein 600-kW-Klystron, zwei 300-kW-Klystrons und zwei 250-kW-Klystrons. Die DC-Anschlussleistung der 16 Senderanlagen beträgt 34 MW. Die HF-Leistung wird über ca. 3.5 km Hohlleiter auf ca. 120 normalleitende und 16 supraleitende Resonatoren verteilt.

HF-Betrieb für HERA-e

Im Berichtsjahr 2007 liefen die acht 500-MHz HF-Systeme 170 Tage für den Betrieb von HERA-e. Während dieser Zeit wurden 119 Störungen registriert. In 31 Fällen lagen den Störungen externe Ursachen wie Kühlwasserpumpenausfälle, Fehlbedienung, Netzvischer, usw. zugrunde. Die verbleibenden 88 echten Anlagenstörungen entsprechen knapp vier Störungen pro Woche. In 1/3 der Fälle war zum Störungszeitpunkt kein Strahl in der Maschine, so dass der Beschleunigerbetrieb nicht beeinträchtigt war. Mit Strahlbetrieb ging bei einer HF-System-Störung in 3/4 der Fälle der Strahl verloren. Die Störanfälligkeit des HF-Systems mit den supraleitenden Kavitäten war im Berichtsjahr ebenso gering wie schon im vergangenen Jahr. Die mittlere Zeit zwischen zwei HF-System-Störungen schwankte bei den acht HF-Systemen zwischen neun und 57 Tagen. Der Mittelwert über alle HF-Systeme betrug 15 Tage (Vorjahr 11 Tage).

Ende Juni wurde HERA – und damit auch die HERA HF-Systeme – außer Betrieb genommen.

HF-Betrieb für DORIS III

Im Berichtsjahr 2007 liefen die beiden 500-MHz HF-Systeme zusammen 280 Tage für den Betrieb von DORIS III. Aus Stromspargründen wurde abwechselnd nur eine der beiden Senderanlagen betrieben. Trotz des Betriebes der jeweils aktiven Senderanlage an der Nennleistungsgrenze, wurden während dieser Zeit nur 36 technische Störungen registriert. Das entspricht ca. einer Störung pro Woche. Die mittlere Zeit zwischen zwei Störungen war:

- HF-System DORIS-NL 13 Tage
- HF-System DORIS-SR 8 Tage

Die MTBF-Werte waren im Berichtsjahr zwar deutlich schlechter als 2006, jedoch nur unwesentlich schlechter als 2005. Die Ursache für die deutlich höhere Anzahl von Störungen im Jahr 2007 ist vermutlich nicht der Betrieb nahe der Nennleistungsgrenze, sondern eher zufällige Schwankungen.

PETRA III

Für PETRA III wurden Entwicklungsarbeiten weitergeführt, Prototypen gebaut und getestet und Abnahmetests von Zulieferkomponenten durchgeführt. Arbeitsschwerpunkt war die Software-Entwicklung für die Anlagenautomatisierung. Für die Abschaltung von PETRA II und die anschließende Demontage der alten HF-Systeme in den beiden Senderhallen und der Cavities und Hohlleiter im Tunnel waren lediglich zwei Arbeitswochen erforderlich. Insgesamt war bei den Arbeiten für PETRA III ein Personal-Äquivalent von 10 Vollzeit-Arbeitskräften im Jahresmittel gebunden.

Entwicklung des neuen Automatisierungs-Systems ELWIS

ELWIS ist ein neues Automatisierungs-System, das von MHF-e für PETRA III konzipiert und entwickelt wurde. ELWIS soll bei PETRA III anstelle von *speicherprogrammierbaren Steuerungen* (SPS) eingesetzt werden. Das Automatisierungssystem ist extrem modular und kann mit nur drei unterschiedlichen digitalen und analogen Peripheriebaugruppen sowohl einfache, als auch sehr anspruchsvolle und spezielle Automatisierungsanforderungen, wie sie Hochfrequenzsysteme von Teilchenbeschleunigern erfordern, befriedigen. ELWIS wurde entwickelt, weil konventionellen SPSen wichtige Eigenschaften wie I/Q-Demodulation von HF Signalen und Transientenrekorder-Funktionen fehlen. Zusätzliche Argumente für die Entwicklung von ELWIS waren mangelhafte Servicefreundlichkeit und mangelhafte Zukunftssicherheit konventioneller SPSen. Programmiert wird ELWIS mittels der Programmiersoftware LabVIEW®.

Ein ELWIS-Modul besteht typischerweise aus bis zu 7 Unterbaugruppen, die über kurze, steckbare Kabelverbindungen miteinander und mit der Anlage verbunden werden. Im Störfall können sie ohne Werkzeugeinsatz ausgetauscht werden. Die ELWIS-Module werden in der Anlage dezentral installiert und untereinander über Ethernet verbunden. Bei PETRA III hat jede größere Anlagenkomponente (Klystron, HV-Modulator, Cavity, usw.) sein eigenes ELWIS-Modul.

Insgesamt werden 26 ELWIS-Module eingesetzt. Aufgrund des dezentralen Aufbaus beschränkt sich die Verkabelung im Wesentlichen auf die 2–5 m zwischen den ELWIS-Modulen und den jeweiligen Sensoren und Aktoren der Anlage.

Hochfrequenzsysteme für Linearbeschleuniger und zur Beschleunigung von Protonen –MHF-p–

Die Gruppe MHF-p ist verantwortlich für die Hochfrequenzsysteme zur Protonenbeschleunigung in den Ringbeschleunigern DESY III, PETRA und HERA und für die HF-Systeme des Freie-Elektronen-Lasers, FLASH, und des geplanten Röntgen Freie-Elektronen-Lasers, XFEL.

Protonen-HF-Systeme

Die Hochfrequenzsysteme der Protonenringbeschleuniger arbeiteten im Berichtszeitraum weitgehend problemlos. Es traten lediglich zwei größere Probleme auf. Bei einem der beiden 52-MHz-Systeme für HERA musste eine Röhre der Endstufe getauscht werden. Bei einem der PETRA 52-MHz-Sender fiel eines der Hochspannungsnetzgeräte durch einen defekten Hochspannungstransformator aus. Bis zur Reparatur des Gerätes durch den Hersteller wurde dieser Sender durch eines der Hochspannungsgeräte des zweiten Senders mitversorgt und dadurch der Betrieb gewährleistet.

Mit der Einstellung des Betriebs von HERA wurden die Aktivitäten der Gruppe MHF-p im Bereich der Hochfrequenzversorgung der Protonenringbeschleuniger DESY III, PETRA und HERA am 30.06.2007 beendet. Die Sender von DESY III und HERA wurden abgeschaltet und in den Beschleunigertunneln bzw. den Senderräumen der Beschleuniger belassen. Die Systeme bei PETRA wurden dagegen vollständig demontiert und eingelagert, da der Raum im Beschleunigertunnel für andere Systeme von PETRA III benötigt wird.

FLASH und XFEL

Die beiden anderen großen Arbeitsgebiete der Gruppe sind zum einen die Betreuung des Betriebes, die Durchführung von Reparatur- und Wartungsarbeiten und die Modifikation der Hochfrequenzsender des FLASH und zum anderen die Koordination und Durchführung von Entwicklungsarbeiten für die Hochleistungs-Hochfrequenzsender des XFEL.

Die älteren der FLASH Senderanlagen wurden während der Anfangsphase der TESLA Kollaboration in den 90er Jahren entwickelt und installiert und sind seitdem fast ununterbrochen im Betrieb. Im Aufbau unterscheiden sie sich sowohl untereinander als auch von den neueren Systemen. Die Wartung und Ersatzteilbeschaffung gestaltete sich daher im Laufe der Zeit immer schwieriger. Aus diesem Grund wird geplant, die älteren Anlagen während der in den nächsten Jahren stattfindenden Shutdowns zu ersetzen. Die Beschaffungsvorgänge für die zugehörigen Großkomponenten wurden daher eingeleitet.

Neben den Wartungsarbeiten während der wöchentlichen FLASH Zugangstage und zwischenzeitlichen Reparaturarbeiten wurden viele größere Wartungsarbeiten während der langen geplanten Betriebsunterbrechung in der ersten Hälfte dieses Jahres durchgeführt. Während dieser Zeit wurden auch mehrere größere Änderungen an den Hochfrequenzanlagen vorgenommen. Zu erwähnen sind hier insbesondere die Erweiterungs- und Umbauarbeiten an den Hohlleiterverteilungen und die Vorbereitung für den Betrieb eines neuen Hochspannungsmodulators mit Puls-kabeln zur Versorgung eines der FLASH Klystrons.

Die Umbauarbeiten der Hohlleiterverteilungen waren erforderlich, da während der Betriebsunterbrechung einige der supraleitenden Beschleunigungsmodule erneuert wurden. Damit alle Kavitäten der Module gleichzeitig bei maximalen Gradienten betrieben werden können, mussten die entsprechenden Hochfrequenzverteilungen angepasst werden.

Zusätzlich wurde ein weiteres neues Modul installiert. Dafür wurde die neuartige Hochfrequenz-Hohlleiterverteilung, die bereits im Jahr zuvor entwickelt worden

war, installiert. Bei dieser Verteilung handelt es sich um einen neuartigen Typ, der mit weniger Komponenten bei weniger Platzbedarf auskommt und gleichzeitig eine leichtere Anpassung an mögliche unterschiedliche Gradienten eines Moduls erlaubt. Die neue Verteilung konnte erfolgreich in Betrieb genommen werden und wird seitdem in FLASH bei hoher Hochfrequenzleistung betrieben. Damit konnte gezeigt werden, dass sich dieser neuartige Typ für den XFEL eignet und somit dort verwendet werden kann. Die Leistung für das neue zusätzliche Modul wird von einem Multibeam-Klystron erzeugt, das neben diesem zwei weitere Module mit Hochfrequenzleistung versorgt.

Während der Betriebsunterbrechung wurden im FLASH Tunnel Hochspannungspulskabel installiert. Diese verbinden ein Klystron des FLASH mit einem neuen Hochspannungsmodulator in einer anderen Halle auf dem DESY-Gelände. Die Kabel sind 1.5 km lang und führen Pulse von 11 kV bei einer Pulsdauer von 1.5 ms und einer Folgefrequenz bis 10 Hz. Sie werden über lange Kabeltrassen parallel zu den ebenfalls erforderlichen Interlockkabeln über das DESY-Gelände und durch einige Gebäude, insbesondere auch den FLASH Tunnel, teilweise nahe an den Beschleunigungsmodulen, geführt. Der neue Modulator besitzt eine neue Topologie des Aufbaus, die die während früherer Tests beim Betrieb von FLASH-Modulatoren mit Pulskabeln gewonnenen Erkenntnisse hinsichtlich der elektromagnetischen Verträglichkeit berücksichtigt. Inbetriebnahme und Betrieb waren sehr erfolgreich. Damit konnte gezeigt werden, dass beim XFEL, bei dem lange Pulskabel die Modulatoren mit den Klystrons im Tunnel verbinden, nicht mit Störungen durch die Pulskabel zu rechnen ist. Mit dem Ende des Jahres wurde dieser Versuch beendet, und der neue Modulator wird als Versorgung für Tests von Multibeam-Klystrons zur Verfügung stehen.

Im August konnte das erste horizontale Multibeam-Klystron beim Hersteller in Japan getestet werden (Abbildung 148). Es erzeugt eine Leistung von 10 MW, bei einer Pulslänge von 1.5 ms und einer Folgefrequenz von 10 Hz. Seit Dezember ist es bei DESY im Test. Seit einigen Jahren sind bereits Multibeam-Klystrons, die von drei Herstellern für DESY entwickelt wurden, bei



Abbildung 148: *Horizontales Multibeam-Klystron während der Installation im Teststand bei DESY.*

DESY im Betrieb. Bei ihnen handelt es sich aber um vertikale aufrecht stehende Hochfrequenzröhren. Die Entwicklung von horizontalen liegenden Varianten ist erforderlich, damit diese Röhren im XFEL Tunnel installiert werden können. Neben dem bereits getesteten Klystron arbeiten zwei weitere Hersteller an horizontalen Multibeam-Klystrons. Für den XFEL werden 27 derartige Klystrons benötigt.

Nachdem die Aufträge für zwei Prototypen von Hochspannungsmodulatoren im letzten Jahr vergeben worden waren, fanden im Laufe dieses Jahres mehrere Besprechungen mit den Herstellern über den Fertigungsfortschritt und die Detailauslegung statt. Dies erfolgte in Zusammenarbeit mit weiteren Gruppen bei DESY in Hamburg und Zeuthen. Die Beschaffung wird von DESY, Standort Zeuthen koordiniert. Der Test der Prototypen ist in der *Modulator Test Facility* in Zeuthen für 2008 geplant.

Die Gruppe MHF-p beteiligte sich ebenfalls am Betrieb des Cryo-Modul-Test-Benches, in dem dieses Jahr neue Beschleunigermodule getestet wurden, sowie an der Auslegung der Testhalle für die XFEL Kryomodule.

Neben den explizit erwähnten Arbeiten wurden weitere Entwicklungsarbeiten für den XFEL durchgeführt, an

der Auslegung von Komponenten und Testfacilities gearbeitet und insbesondere auch an der Auslegung der verschiedenen Gebäude und Tunnel für den XFEL mitgearbeitet.

Daneben hat die Gruppe mehrere Beiträge bei Konferenzen und Workshops veröffentlicht. Da die Arbeiten der Gruppe für den XFEL auch für den ILC relevant sind, wurden die Ergebnisse auch bei ILC Workshops präsentiert.

Control System –MCS–

Die Gruppe MCS wurde im Berichtsjahr durch die Fusion der beiden Gruppen MST und MVP2 gegründet. Ihr Aufgabengebiet ist der Betrieb und die Weiterentwicklung der Kontrollsysteme von allen existierenden Beschleunigern bei DESY/Hamburg sowie die Konzeption und Verwirklichung der Kontrollsysteme der zukünftigen Synchrotronlichtquelle PETRA III und des 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 PITZ bei DESY/Zeuthen und der Beamlinekontrollgruppe des European Molecular Biology Laboratory (EMBL) in Hamburg zusammen. Darüber hinaus beteiligt sich MCS am *Global Accelerator Network Multipurpose Virtual Laboratory* (GANMVL) Projekt, das Teil der EUROTeV Studie ist, sowie an konzeptionellen Arbeiten für den International Linear Collider (ILC).

Die Fusion der beiden ehemaligen Kontrollgruppen MST und MVP2 erfolgte auf Grundlage einer detaillierten Analyse der Konzepte, Systeme und personellen Randbedingungen der jeweiligen Teilgruppen. Sie eröffnet die Möglichkeit, sich zukünftig auf komplementären Feldern zu ergänzen, in Bereichen mit zurzeit unterschiedlichen Ansätzen für ähnliche Aufgaben zu gemeinsamen Lösungen zu gelangen sowie die

verfügbaren personellen Kräfte optimal auf die Anforderungen der kommenden Jahre auszurichten.

Rechnergestützte Beschleunigerkontrollen

Vorbeschleuniger, PETRA, DORIS und HERA

Der Betrieb von HERA, insbesondere die Vorbereitung und Unterstützung des sogenannten Low-Energy Run erforderte bis zum Schluss hohe Bereitschaft und Zuverlässigkeit. Nach dem Ende des Strahlbetriebs bei HERA wurde begonnen, die Systeme, welche auch in Zukunft zur Konservierung von HERA benötigt werden, aus dem alten Kontrollsystem abzutrennen, um dieses ebenfalls abzuschalten. In ähnlicher Weise wurde mit dem Kontrollsystem des Protonenvorbeschleunigers LINAC III verfahren. Ein reduzierter, lokaler Betrieb von LINAC III und der dazugehörigen Protonenquellen ist auch in Zukunft möglich. Da die Kontrollsysteme der Elektronenvorbeschleuniger und von PETRA im kommenden Jahr erneuert werden, bleibt nur das DORIS Kontrollsystem in seiner alten Struktur zurück. Es wurden umfangreiche Arbeiten an der Software und Hardware der Kontrollsysteminfrastruktur durchgeführt, um den Betrieb des DORIS Kontrollsystems auch zukünftig sicher zu stellen. An die veränderte Kontrollsystemstruktur und an neu hinzugekommene Funktionalität musste auch die Software zur Bedienung der Interlocksysteme angepasst werden.

FLASH

Für Umbauten bzw. Erweiterungen an FLASH sind eine Reihe von Arbeiten an der Elektronik und dem Kontrollsystem notwendig gewesen. In dem Beschleuniger sind mittlerweile 356 Netzteilsteuerungen für die verschiedenen Magnete installiert. Es handelt sich hierbei um ältere SEDAC-Steuerungen sowie neu entwickelte CAN-Bus basierte Steuerungen. Die Anzahl der Motorsteuerungen für die Module, Magnete, Beamlines, Laser und verschiedene Experimente ist auf über 400

erweitert worden. Hervorzuheben sind die Frequenz-Tuner der Beschleunigungs-Kavitäten, die auch beim XFEL eingesetzt werden sollen. Alle sechs Module wurden mit der neuen, eigensicheren Elektronik ausgerüstet.

Für die ca. 70 verschiedenen Kameras der FEL-Experimente und des Beschleunigers wurde die Linux-Serverbasierte Datenerfassung auf sieben Kameratypen erweitert. So werden preiswerte USB-Kameras mit der gleichen Schnittstelle wie aufwändige Spezialkameras betrieben. Die Bilder sind in einem einheitlichen Format online verfügbar, können aber auch lokal oder im *Data Acquisition System* (DAQ) System gespeichert werden. Bei der Speicherung im DAQ werden die einzelnen Bilder mit einer eindeutigen Identifizierungsnummer versehen, die über das FLASH-Timingsystem auf alle verteilten Rechner übertragen wird. Die gleiche Nummer wird auch in den Datensätzen der Hochfrequenz und Strahllagemonitore verwendet. Durch einen entsprechenden Umbau des Timingsystems wurde die alte, auf Zeitmarken basierte Lösung abgeschafft.

Am DAQ-System wurde eine Reihe weiterer Verbesserungen vorgenommen. So wurde ein Server, der die Energie des Strahls mithilfe von Strahllagemonitoren und optischen Berechnungen bestimmt, in den Datenfluss der Experimente einbezogen.

Die Anzahl der Linux-Rechner ist stetig steigend. Daher wurde mit der DESY-IT-Gruppe ein zentraler Installationsdienst für Debianbasierte Betriebssysteme aufgebaut. Der Service gestattet es auch, z. B. Ubuntu-Distributionen schnell und unkompliziert auf DESY Standardrechnern zu installieren.

Digitale Controller und Front-End Elektronik

Seit jeher kommt digitale Elektronik im Bereich der Beschleunigerkontrollen in großer Stückzahl zum Einsatz. So mussten mehrere tausend Controllermodule gewartet und gegebenenfalls repariert werden. Darüber hinaus ist MCS zuständig für die Bereitstellung von allgemeinen Schnittstellenmodulen (Software und Hardwa-

re) zwischen Rechnern und dem DESY-eigenen Feldbus SEDAC. Ein Schnittstellenmodul auf USB-Basis wurde abschließend fertig gestellt und in Serie gefertigt. Die Entwicklungsarbeiten für eine Schnittstelle auf TCP/IP-Ethernet Basis wurden vorangetrieben. Dieses Modul besteht aus einer Trägerplatine, welche die feldbusspezifische Treiberelektronik enthält, und aus einer aufsteckbaren, universell verwendbaren Prozessorplatine auf der Basis eines Altera Cyclon-II FPGA (*Field Programmable Gate Array*) Chips mit einem eingebetteten NIOS-II Prozessor.

Projekt PETRA III

Im Rahmen des Umbaus von PETRA zu einem Speicherring zur Erzeugung von Synchrotronstrahlung werden bis Anfang 2009 die Kontrollsysteme der Beschleuniger LINAC II / PIA, DESY II und PETRA sowie ein großer Teil der Front-End Elektronik erneuert. Eine besondere Herausforderung für die Gruppe MCS besteht hierbei einerseits in einem Wechsel der vorherrschenden Programmiersprache von VisualBasic nach Java und andererseits in der Einführung eines neuen Front-End Elektronikstandards auf der Basis des CANopen Feldbusprotokolls.

Zentrales Element des Kontrollsystems ist die Softwarebibliothek TINE (*Threefold Integrated Network Environment*) und die dazugehörigen Dienste wie z. B. Datenarchive. TINE ist nun in der erweiterten Version 4.0 verfügbar und bietet einzigartige Möglichkeiten wie z. B. die Versendung von verlustfrei kodierten Videosequenzen unter Benutzung des sogenannten Multicast-Netzwerkprotokolls. Erfolgreich gestaltete sich der erstmalig durchgeführte TINE Workshop, bei dem Softwareentwickler vieler DESY Gruppen und anderer auf dem DESY Gelände ansässiger Institutionen wie z. B. EMBL zu einem Erfahrungsaustausch zusammen kamen.

Im Bereich Softwareentwicklung waren die Arbeiten im Projektjahr geprägt von der Fertigstellung bzw. Weiterentwicklung der notwendigen Softwarewerkzeuge. Hierzu gehören Frameworks zur Realisierung von sogenannten Rich-Client Kontrollraumapplikationen

sowie zur Realisierung von Serverapplikationen, Programmibliotheken zur Erstellung von standardisierten, graphischen Bedienungsprogrammen, einfach benutzbare graphische Softwarekomponenten auf der Basis der Programmierungsschnittstelle ACOP (*Accelerator Component Oriented Programming*), ein Softwaregenerator zur Erzeugung von sogenannten Device Servern, Prozeduren zur Verteilung und zum Starten von Applikationsprogrammen auf verteilten Rechnern, die universellen Programmierschnittstelle CDI (*Common Device Interface*) für eine Vielzahl von Feldbus- und Datenbusprotokollen, die CANopen Manager Softwarebibliothek TICOM und das Web2c Framework zur Erstellung dynamischer, Web basierte Kontrollraumapplikationen.

Ein weiterer Schwerpunkt lag in der Erstellung zahlreicher, allgemeiner und spezieller Server- und Kontrollraumapplikationen. Darüber hinaus konnte die Struktur der Kontrollsystem- und Beschleunigerkomponentendatenbank sowie des Kontrollsystemnetzwerks abschließend festgelegt werden.

Auf dem Gebiet der Front-End Elektronik wurden die vielfältigen Entwicklungsarbeiten fortgesetzt und die ersten Modultypen in großer Zahl in Serie gefertigt. Alle Modultypen entstammen einer von zwei unterschiedlichen Entwicklungslinien, die sich durch ihre funktionalen Möglichkeiten und ihre technische Komplexität unterscheiden. Letztendlich werden ca. 3000 Universal- und Spezialmodule zur Ansteuerung der Magnetnetzgeräte, der gepulsten Strahltransferelemente sowie der Vakuumkomponenten benötigt. Darüber hinaus wurden zahlreiche spezielle Test- und Entwicklungsprogramme erstellt.

Projekt XFEL

Die FLASH-Datenerfassung basiert auf dem VME Standard. Da dieser Standard schon Jahrzehnte alt ist, wurde eine Evaluierung neuer Standards 2006 gestartet. Im Berichtsjahr konnten lauffähige Systeme mit dem ATCA (*Advanced Telecommunications Computing Architecture*) und dem μ TCA (*Micro Telecommunications Computing Architecture*) Standard demonstriert wer-

den. Dafür wurde in Zusammenarbeit mit der DESY-Gruppe FEA eine sogenannte AMC-Karte entwickelt. Diese Karte enthält einen leistungsfähigen FPGA (*Field Programmable Gate Array*) und einen standardisierten Management-Controller. Über das PCIexpress-Protokoll kann ein Computer mit dem FPGA kommunizieren. Ein entsprechender Linux-Treiber und ein Server für das DOOCS-Kontrollsystem wurden entwickelt. Ebenso konnte das Management des neuen Standards demonstriert werden. So können mithilfe des IPMI-Protokolls (*Intelligent Platform Management Interface*) alle Module in einem ATCA-Crate automatisch erkannt werden. Darüber hinaus lassen sich Temperaturen, Spannungen und Ströme der Module messen sowie Kommandos übertragen. Diese Funktionen sind in internationalen Standards definiert und funktionieren daher in Eigenentwicklungen sowie in kommerziellen Modulen. Im Dezember wurde zur Festlegung eines Standards für den XFEL ein Workshop bei DESY organisiert, in dem alle Kollaborationspartner ihre Vorstellungen präsentierten.

Für den XFEL wurde mit der Entwicklung des Timing-Systems begonnen. In einer Diplomarbeit wurden verschiedene Schaltkreise auf Eignung untersucht. Das Timing-System soll bei 1.3 GHz laufen und die über 3 km verteilten Analog-Digital-Wandler mit stabilen Takt- und Triggersignalen versorgen. Dabei darf der Jitter 5 ps RMS nicht übersteigen. Es wurde auch ein Konzept für das Timing-System erarbeitet, so dass 2008 mit dem Bau von Prototypen begonnen werden kann.

Konzepte für ein technisches Interlock für den XFEL wurden ebenfalls erstellt. Das System soll den Beschleuniger durch Abschalten des Strahls schützen, wenn Komponenten ausfallen. Aufgrund der hohen Strahlintensitäten muss das Interlocksystem innerhalb weniger Mikrosekunden reagieren. Diese Reaktionszeiten werden wesentlich durch die Lichtgeschwindigkeit des Strahls und durch die Laufzeiten in Kabeln bestimmt. In dem Konzept werden die unterschiedlichen Betriebsmodi des XFEL sowie die vielen verschiedenen zu überwachenden und steuernden Komponenten berücksichtigt. Darüber hinaus darf das Schutzsystem selbst nicht zu einer Erhöhung der Ausfallzeiten im Beschleunigerbetrieb führen.

Die Steuerung des XFEL durch die Operateure soll über Java-Programme erfolgen. Bei FLASH wurden viele Bedienungsprogramme mithilfe eines grafischen Editors von Operateuren und Experten erstellt. Dieser Editor wurde auf Java umgeschrieben und durch eine Reihe von zusätzlichen Funktionen erweitert. Da der Einsatz dieses Programms auch für das Vakuumsystem von PETRA geplant ist, war eine Implementierung des TINE-Protokolls notwendig.

Personen-Sicherheitssysteme

– MPS –

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

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

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

Hardware-Entwicklung

Im Elektroniklabor von MPS wurde 2007 an folgenden Hardware-Entwicklungen zur Modernisierung der Interlocksysteme gearbeitet.

Es wurde ein neues universelles Verknüpfungs-Modul für die sichere Verarbeitung von ODER-Verknüpfungen entwickelt, das außerdem die Möglichkeit bietet, einen zeitverzögerten Eingang zu benutzen. Dieses Modul ist bereits bei der neuen Steuerung der PIA-Sender im Einsatz.

Das Steuermodul des Türeninterlocks wurde modifiziert, um die Betriebssicherheit bei Ausfall der 230-V-Versorgung zu erhöhen. Das Suchkreismodul des Türeninterlocks wurde neu entwickelt und bietet jetzt einen zusätzlichen Relaisausgang für eine bessere Kopplung mit der übrigen Hardware des Türeninterlocks. Es wurde 2007 erstmals bei FLASH eingesetzt.

Für die komplexen Anforderungen einer gekoppelten Steuerung von Absorber und Beamshutter bei Synchrotronstrahlungs-Experimenten wurde ein neues Beamshutter-Modul entwickelt, das auch für die einfacheren Anwendungen am Beschleuniger genutzt wird. Hier ist ein Prototyp fertig.

In einem ersten Versuchsaufbau wurde gezeigt, dass die Einbeziehung von Lichtschranken in das Türeninterlock-System von MPS mit Hilfe einer neuen Interface-Schaltung möglich ist. Lichtschranken sollen zur Unterstützung der Ein-Personen-Absuchprozedur bei den PETRA-III-Experimentiergebieten zum Einsatz kommen.

Software-Entwicklung

In Rahmen der Erneuerung der Interlocksysteme von LINAC II, DESY und PETRA III wird auch die Software für die Interlockserver völlig neu konzipiert und durch neue objektorientierte Software ersetzt, die von MPS erstellt wird.

Ziele sind dabei eine leicht zu pflegende Ablaufsteuerung, die Überwachung der Hardware sowie die Verlagerung aller logischen Funktionen von den Applikatio-

nen der BKR-Konsolen auf die Interlocksoftware. Die neue modular strukturierte Software wird in Java programmiert.

Im August 2007 sind die ersten neuen Software-Module für die Magnetstromfreigabe von DESY II sowie für die Strahlfreigabe-Steuerungen von LINAC II, LINAC-II-Guntest und DESY II in Betrieb genommen worden und arbeiten seitdem störungsfrei. Dabei wurden auch die erforderlichen TINE-Server für die Schnittstelle mit dem BKR-Kontrollsystem von MPS geschrieben.

Mit der Softwareerstellung für das Türeninterlock wurde begonnen.

Kommunikationssysteme

LINAC III wurde für unabhängigen internen Betrieb mit einem eigenen Ansagegerät ausgestattet.

Am LINAC II wurden alle Kommunikationseinrichtungen installiert und in Betrieb genommen, die für die neue Funktion des Nordtors als ZZ-Tür erforderlich sind.

Ein neu entwickeltes integriertes Ansagegerät mit Pilotton-Überwachung wurde nach dem erfolgreichen Probetrieb bei FLASH auch für LINAC II und DESY gebaut und in Betrieb genommen.

Interlocksysteme an Beschleunigern und Testständen

Im Jahr 2007 wurden folgende Änderungen an den Interlocksystemen durchgeführt:

LINAC II, DESY Wegen der geänderten Sicherheitsbedingungen nach der Einstellung des Protonenbetriebs von DESY III im Juli 2007 musste die gesamte Freigabesteuerung der Vorbeschleuniger umgestaltet werden. Die Interlocksteuerungen für die Strahlfreigaben LINAC II, LINAC-II-Guntest und für die Magnetstromfreigabe DESY II wurden im Juli-Kurzshutdown mit neuer Hardware aufgebaut, neu verkabelt und mit neuer Software in Betrieb genommen. Zeitgleich wurde für

beide Beschleuniger ein neues Notaussystem installiert und in Betrieb genommen.

LINAC III Das Interlocksystem, das noch in alter Technik aufgebaut ist, wurde modifiziert um gelegentlichen LINAC-III-internen Betrieb zu ermöglichen.

DORIS Zur Verbesserung der Bedienungsmöglichkeiten vom BKR-Pult wurde eine neue Kassette für die Magnetstromfreigabe gebaut und in Betrieb genommen.

FLASH Hier wurde das neu entwickelte Suchkreismodul eingebaut und in Betrieb genommen.

Neue Projekte

PETRA III (WP1.22) Es wurde ein verfeinertes Konzept für die Strahlfreigaben und Magnetstromfreigaben ausgearbeitet, Material beschafft und Elektronikmodule produziert.

XFEL (WP38) Die Planungen für das Konzept des Interlocksystems wurden fortgeführt. Insbesondere wurde analysiert, unter welchen Sicherheitsbedingungen der Teilbetrieb des Beschleunigers möglich ist, während Zugang in anderen Bereichen stattfindet.

Im Jahr 2007 waren vier Mitarbeiter von MPS als Operateure im BKR-Teilschichtdienst aktiv.

Diagnose und Instrumentierung –MDI–

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

Die Gruppe MDI ist zuständig für die Erfassung und Messung der Strahleigenschaften in nahezu allen Beschleunigern und Speicherringen bei DESY. Dazu gehören die Analyse von Strahlage, Strahlströmen, Strahlprofilen, sowie die Messung der Strahlverluste

und die Integration von diversen Signalen in den Maschineninterlock-Systemen zum Schutz vor Zerstörung von Komponenten. Für das neue Projekt PETRA III entwickelt MDI nahezu die komplette Strahldiagnose. Die Ausarbeitungen von Ideen und Konzepten sowie die Entwicklungen dieser Monitore wurden weitergeführt. Für das europäische Projekt XFEL wurden die detaillierten Planungen für alle Belange der Strahldiagnostik weitergeführt, sowie erste Entwicklungen für die Diagnostik weitergeführt.

HERA

Die in HERA installierte Strahldiagnostik wurde bis zum Betriebsende von HERA weiter gepflegt und problemlos betrieben.

Das neue *Elektronen-Orbit-Feedback* System zur Stabilisierung der kollidierenden Strahlen lief erfolgreich. Durch eine bessere Signalfilterung der Messelektronik und durch eine Optimierung der Regelsoftware konnten Schwingungen des Elektronenstrahls im Bereich unter 10 Hz mit 10 bis 20 dB bedämpft werden.

PETRA III

Ein Schwerpunkt der Arbeiten von MDI war die Konzeption und Entwicklung der Diagnose für PETRA III. Dafür wurde die umfangreiche Liste von Aufgaben weitergeführt.

Nach dem Betriebsende von PETRA II wurden diverse Diagnose-Komponenten aus PETRA II ausgebaut, überarbeitet oder eingelagert bzw. entsorgt.

BPM System: Das kommerzielle System *Libera Brilliance* wurde in ausreichender Stückzahl für PETRA III beschafft und getestet. Bei diesen Tests zeigte sich eine sehr geringe Fehlerquote der gelieferten Geräte. Mit dem Bau der Pick-Ups wurde begonnen und die fertigen Teile sofort von MDI getestet. Auch hier gab es eine sehr geringe Fehlerquote. Die Konfigurationen für alle speziellen BPM-Geometrien (z. B. an und zwischen den Undulatoren) wurden festgelegt. Ein weiteres

Projekt ist die Konstruktion eines elliptischen Stripline-Monitors für das PETRA III Feedback-System. Dazu wurden Entwürfe und ein Rapid Prototyping Modell angefertigt. Mit Hilfe des Konstruktionstools IDEAS und dessen FEM Simulationsprogramm wurde vermehrt der digitale Datenaustausch mit Lieferanten erprobt. Dazu wurden generierte 3D-Modelldateien den Herstellern zur Verfügung gestellt.

Die erforderliche BPM-Auflösung von deutlich unter 1 μm in ausgewählten Bereichen impliziert eine präzise Beobachtung von mechanischen Bewegungen der BPMs gegenüber einem festen Bezugspunkt. Dazu wurde die Entwicklung des *High Frequency MOvement MONitors* (HF-MOMO) weiter fortgeführt (siehe Abbildung 149). Es basiert auf der *stretched wire* Methode und erreicht eine Auflösung von unter 100 nm. Ein Vorläufer dieses Messprinzips wurde beim FFTB am SLAC und in HERA eingesetzt.

Strahlstrom: Der endgültige In-Flange-FCT der Fa. Bergoz wurde erfolgreich getestet, seine Signale entsprechen den Anforderungen an einen 4 ns Bunchabstand in PETRA III. Die vorhandenen Bergoz-DCCTs wurden erfolgreich überarbeitet und sind einbaubereit. Der Widerstandsmonitor wurde angefertigt,

Für die transversalen Emittanzmessungen bei PETRA sind zwei Systeme zur nichtinvasiven Profilmessung vorgesehen, ein Laser-Wire-Scanner sowie ein in eine Diagnose-Beamline integrierter Synchrotronstrahlungs-

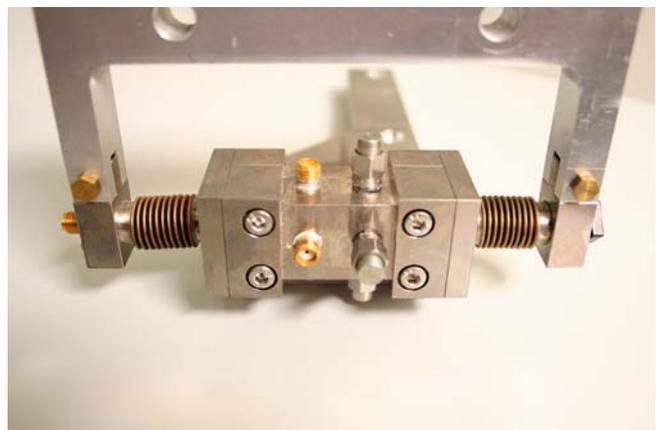


Abbildung 149: HF-MOMO zur Messen von Komponentenbewegungen mit einer Auflösung von $< 100 \text{ nm}$.

Monitor mit abbildender Röntgen-Optik: Während des laufenden PETRA-II-Betriebes wurden die Untersuchungen mit dem bestehenden Laser-Wire abgeschlossen und danach dessen Aufbau eingelagert. Für den neuen Monitor wurde die Konstruktion der vakuumnahen Teile beendet und die notwendige Infrastruktur geschaffen. Für Transportoptik und Lasersystem erfolgten zahlreiche Untersuchungen, Tests mit einem schnellen elektro-optischen Strahlteiler deuten auf die Möglichkeit einer simultanen Emittanzmessung für beide Ebenen hin. Ferner wurden Detektorstudien durchgeführt um die Möglichkeit zu untersuchen, parallel zu den Compton-Photonen auch Compton-gestreute Elektronen nachzuweisen, und die Entwicklung des Detektor-Auslesesystems wurde vorangetrieben. Die Konstruktion der Diagnose-Beamline für den Synchrotronstrahlungs-Monitor wurde weitestgehend abgeschlossen, ein Großteil der Komponenten ist bereits in Fertigung bzw. wurde bestellt.

Darüber hinaus wurde das Design einer zusätzlichen Diagnose-Beamline zur Bunchlängenmessung mittels optischer Synchrotronstrahlung vorangetrieben. In diesem Zusammenhang wurde der Strahltransportweg festgelegt und die notwendige Infrastruktur geschaffen.

Zielsetzung bei der Neukonstruktion der Schirmmonitore in den Transportwegen und in PETRA ist ein modularer und wartungsfreundlicher Aufbau aus Standardkomponenten, der auch im Falle einer Störung der druckluftgetriebenen Verfahrmechanik den Strahlbetrieb nicht behindert. Aufgrund vakuumtechnischer Vorgaben wurden insgesamt fünf verschiedene Mechaniken entwickelt. Die Konstruktion der drei Varianten für die Transportwege ist abgeschlossen und die zwei Standardtypen befinden sich bereits bei DESY, Standort Zeuthen in der Fertigung. Die 3D-Konstruktion der beiden in PETRA eingesetzten Schirmtypen ist ebenfalls abgeschlossen, so dass zu Beginn 2008 daraus die 2D-Ableitung erfolgen kann und die Schirme ebenso gefertigt werden können. Die Konstruktion des optischen Auslesesystems für sämtliche Monitortypen ist weitgehend abgeschlossen, Start der Fertigung für die optischen Komponenten ist März 2008. In diesem Zusammenhang gab es eine hervorragende Zusammenarbeit mit der Feinmechanikwerkstatt von DESY,

Standort Zeuthen. Dort wurden viele Einzelkomponenten für die Schirmmonitore und Sonderfertigungsteile auf der zyklengesteuerten Drehmaschine gefertigt. Es wurde neben der Erprobung unterschiedlicher Werkstoffe auch die Herstellung komplizierter Geometrien untersucht und angewendet.

Die Komponenten für die schrittmotorgetriebene Ansteuerung von Girdern und Scrapern wurden weitgehend beschafft. Ferner wurde in einem Testaufbau erstmals ein Girder motorisiert verfahren.

Die Entwicklung des *Maschinen-Protection-Systems* (MPS) für PETRA III wurde fortgeführt und durch ein Hardware-Review abgeschlossen. Die Realisierung einer Post-Mortem-Archivierung zwecks Diagnose von Ausfall-Ursachen wurde weiter verfolgt.

Zum Schutz der Vakuumkammern vor intensiver Synchrotronstrahlung der Dämpfungswiggler und der Undulatoren werden ca. 1500 Temperatursensoren auf speziellen Vakuum-Kammern von MVS verteilt angebracht. Nach Detailabstimmung des erfolgreich in HERA getesteten Prototypsystems mit den Nutzern wurde das Systemkonzept angepasst und erfolgreich einem Review unterzogen. Die Entwicklung der Vorserie für alle Systemkomponenten wurde abgeschlossen und für die Serienfertigung im zweiten Quartal 2008 mit der Zentralabteilung Elektronik abgestimmt. Die Vorserie befindet sich nach erfolgreichem Modultest derzeit im Systemtest. Die Einbindung des Systems in die PETRA-III-Kontrollsoftware wurde begonnen.

Der Bau des Systems zur Auslese und Verarbeitung der Pilotherm- und Wasserwächter-Signale wurde gestartet.

DORIS

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

Vorbeschleuniger und Transportwege

Die acht neuen induktiven Monitore für die Transportwege und LINAC II sowie drei Widerstandsmonitore

für den L-Weg wurden fertig gestellt und sind einbaubereit. Für die Auslese wurden Planungen und Tests für ein neues PXI-basiertes Mess- und Kontrollsystem durchgeführt.

Für eine verbesserte Strahldiagnose in PIA und DESY werden die Strahlage- Messsysteme erweitert. Sie bekommen erweiterte RAM-Funktionen und eine verbesserte Einstell- und Ausleseelektronik. Diese Arbeiten wurden abgeschlossen und das System befindet sich im Testbetrieb.

FLASH

Die Entwicklungsarbeiten am BPM-System haben zu einer weiteren Verbesserung der Auflösung der Knopfmonitore und zu einem sehr zuverlässigen Betrieb geführt. Die kritische Timing-Genauigkeit wurde durch Synchronisation mit der 81-MHz-Clock verbessert. Zwei neue Knopf-BPM's im GUN-Bereich und ein Stripline-BPM im EXP-Bereich wurden eingebaut. Durch Unterstützung der Kollegen aus der Elektronikentwicklung- und Fertigung von DESY, Standort Zeuthen konnten Module für die Auslese der Stripline-BPMs verbessert (LP-Filter und Vorverstärker) und gefertigt werden. Die verbesserte Linearität der Elektronik (siehe Abbildung 150) wurde durch die in Flash eingebauten Prototypen im Betrieb bereits bestätigt. Die typische Ortsauflösung dieser Monitore ist besser als $10\ \mu\text{m}$. Weitere Module werden im Januar 2008 installiert und getestet, später werden alle Stripline-Elektroniken in DESY, Standort Zeuthen umgebaut, was zu einer weiteren Verbesserung des Strahlagemess-Systems führen wird. Das BPM-System ist weiterhin ein wichtiges Werkzeug, um eine hohe SASE Effizienz zu erreichen.

Ein neuer Toroid-Strommonitor mit größerem Durchmesser wurde im EXP-Bereich eingebaut und erfolgreich in Betrieb genommen.

Bei FLASH wurden vier weitere Wiescanner-Stationen installiert.

In Kollaboration mit SLAC, CEA Saclay, FNAL und KEK sowie mit Kollegen von anderen DESY Gruppen

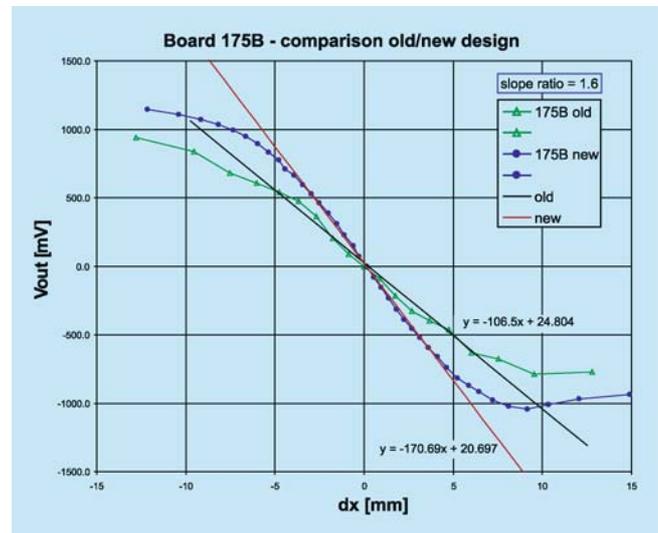


Abbildung 150: Vergleich der Linearität vor (grün) und nach (blau) dem Umbau in DESY, Standort Zeuthen. Die Geraden geben die Kalibrierung des Monitors im Bereich $+5$ bis -5 mm wieder.

gingen die Studien zu den HOM-BPMs für die Bestimmung der Strahlage und der relativen Position der Cavities zueinander weiter.

Es wurden weitere Studien zur Emittanzmessung mittels *Optical Diffraction Radiation* (ODR) an FLASH gemeinsam mit der Universität Hamburg und dem INFN Frascati (Italien) mit der Zielsetzung unternommen, ODR zur Strahldiagnose als Standard-Instrument einzusetzen.

XFEL

Für das Projekt XFEL wurden verschiedene Diagnosekomponenten untersucht und Entwicklungen weitergeführt. Die Arbeit konzentrierte sich auf zwei Aspekte: Planungen zum Aufbau von Strahldiagnose am Beschleuniger und damit verbunden die Definition von Komponenten für *In-Kind* Beiträge sowie Entwicklungsarbeiten an bestimmten Projekten.

Kollaborationen mit PSI und CEA Saclay für den Bereich der kalten BPMs wurden auf den Weg gebracht. In Zusammenarbeit mit den Kollegen vom PSI in Villigen

wurde ein neuartiger *Resonant Stripline* entwickelt, gefertigt und fünf dieser Monitore bei FLASH eingebaut, die Daten für das Multibunch-Feedback liefern werden. Die Elektronik dazu wird vom PSI entwickelt.

Ein Cavity Beam Position Monitor für den Undulator-Bereich am XFEL wurde in Anlehnung an den Cavity BPM von Dr. Shintake, Riken, Japan entwickelt. Der neue Monitor wurde für eine Frequenz von 4.4 GHz berechnet, simuliert und in eine 3D-Konstruktion umgesetzt.

Ein weiteres Projekt ist die Entwicklung der *Cold-BPMs* in den FLASH Kryo-Modulen, und in diesem Zusammenhang eine passende kälteoptimierte UHV Durchführung zu entwerfen. Dafür wurden HF Simulationen durchgeführt sowie einzelne Teilprobleme näher beleuchtet. Eine Konstruktion des Prototyps der Durchführung ist seit Anfang Dezember fertig (siehe Abbildung 151). Prototypen der neuen *Cold-BPMs* mit alten Durchführungen sind in zwei neuen Kryo-Modulen für FLASH eingebaut worden.

Neben der Mechanik des *Cold BPM* wird parallel an seiner Ausleseelektronik gearbeitet. Diese arbeitet auf der Basis des alten HERA-e Ausleseprinzips der *Delay Multiplex Single Path Technique*. Diverse Verbesserungen wurde realisiert: Erhöhung der ADC-Auflösung und der Abtastrate, Vergrößerung der Bandbreite, Einbau einer zweifachen Spitzenwertgleichrichtung und eine digitale Driftkompensation. Durch diese Maß-

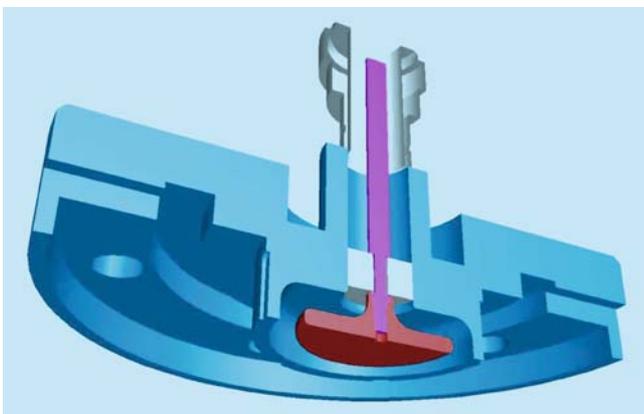


Abbildung 151: Prototyp einer kälteoptimierten HF-Durchführung für die Cold-BPMs.

nahmen verbessern sich Auflösung, Drift und Störsicherheit und übertreffen zum Teil die Spezifikationen. Die Elektronikfertigung in Zeuthen hat die SMD Bestückung von fünf Frontend-Elektroniken übernommen und diese Prototypen Anfang Dezember fertig gestellt.

Für die Messung der Dunkelströme der supraleitenden Beschleunigungsmodule wurde der supraleitende Cryogenic-Current-Comparator zusammen mit GSI und der Friedrich-Schiller-Universität Jena fertig gestellt. Genaue Messungen an dem Prototyp sind 2008 bei BESSY in Berlin am Teststand HobiCat vorgesehen.

Verkabelung

- Detaillierte Planungen von Entkabelungs- und Verkabelungs-Arbeiten auf dem DESY-Gelände
- Ständiger Ausbau, Wartung, Instandhaltung und Dokumentation der Lichtleiter-, Koaxial- und Steuerleiternetze in allen DESY-Beschleunigeranlagen
- Sofortige Störungsbeseitigung bei auftretenden Fehlern in den verschiedensten Übertragungssystemen für alle Diagnose-Signale von den Maschinen zum Kontrollraum
- Wartung und Instandhaltung des Pilothermsystems in allen Beschleunigern
- Neubau des Pilothermsystems in DESY II, mit erfolgreicher Inbetriebnahme
- Neuverkabelung von Diagnostik in FLASH
- Entkabelung des Beschleunigers PETRA II und Vorbereitung sowie Beginn einer Neuverkabelung des Beschleunigers PETRA III
- Neue Koaxialverteiler für verschiedene Beschleuniger-Tunnel
- Weiteres Arbeiten an der Beschaffung und Installation eines für gesamt DESY nutzbaren Tools einer gemeinsamen Kabeldokumentation. In Zusammenarbeit mit diversen DESY-Gruppen und einer externen Firma wurden verschiedene Systeme sehr genau evaluiert. Als Resultat wurde das

Produkt einer Firma in einer Pilotinstallation bei DESY umfangreich getestet und für gut befunden. Die Arbeiten an einer DESY-weiten Installation und einer Anpassung an spezielle DESY-Anforderungen gehen voran.

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. Position und Art der Messstation, Kabelwege und Nutzer von Diagnose-Instrumenten sind so leichter auffindbar.

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

- Die Zusammenarbeit mit CERN wurde erfolgreich weitergeführt: es wurden modifizierte Magnetstrom-Alarm-Geräte zum Schutz des LHC-Ringes und der Transportwege an CERN ausgeliefert, sie erfüllen die Spezifikationen zur vollsten Zufriedenheit und sind einsatzbereit.
- Unterstützung und Teilnahme an Experimenten zur transversalen Strahldiagnose mittels *optischer Diffraktionsstrahlung* (ODR) an FLASH zusammen mit dem INFN-LNF (Frascati) und INFN-Roma2 (Rom).
- Unterstützung und Teilnahme an Experimenten zur Untersuchung von Channeling-Strahlung an Silizium-Einkristallen am Institut für Kernphysik (Universität Mainz).
- Im Zuge der CARE-HHH-Netzwerk-Aktivitäten lieferte MDI diverse organisatorische und inhaltliche Beiträge zu der ABI-Arbeitsgruppe in Zusammenarbeit mit GSI und CERN (http://adweb.desy.de/mdi/ABI_new.html) und nahm Teil an einen CARE-Workshop zum Thema *Schottky, Tune and Chromaticity Diagnostic (with real time feedback)*.

Strahlkontrollen –MSK–

Die Gruppe MSK ist zuständig für spezielle Kontroll- und Instrumentierungsaufgaben im Zusammenhang mit der Strahldynamik in allen Beschleunigern.

Im Berichtszeitraum wurden neben dem Tagesgeschäft, der Wartung und Instandhaltung der Feedback-, Timing- und Synchronisationssysteme aller Beschleuniger und der Hochfrequenzregelung am FLASH, die im Folgenden genannten Schwerpunkte bearbeitet.

DESY II

Bei DESY II ist bis Mitte 2008 in Zusammenarbeit mit MKK eine neue Magnetstromsteuerung für die Hauptmagnete (Dipole, Quadrupole, Sextupole) zu entwickeln und aufzubauen, um die alten Anlagen abzulösen. Einige Diagnostik Komponenten des Systems befinden sich in der Entwicklungs- und Simulationsphase. Die Arbeiten bei DESY an der Ansteuerungselektronik sind soweit fortgeschritten, dass die Geräte rechtzeitig in Betrieb genommen werden könnten. Leider zeichnet sich jetzt schon ab, dass es wahrscheinlich zu einer Verzögerung bei der Auslieferung der Netzteile kommen wird.

PETRA III

Für PETRA III wurde ein Timing-System entworfen, welches beschleunigerweit Triggersignale zur Verfügung stellen wird. Die Arbeiten für ein schnelles Orbit-Feedback sowie der Aufbau des Multibunch-feedbacksystem wurden fortgesetzt. Die Entwicklung aller Elektronikmodule für diese Komponenten und die Fertigung von Prototypen sind abgeschlossen. Auch die Hardware-Serienproduktion für das Maschinen Timing-System und das Multibunch-Feedback-System konnte abgeschlossen werden. Die Materialbeschaffung und Produktion der Elektronik Komponenten für das schnelle Orbit Feedback ist plangemäß angelaufen und wird sich bis Ende 2008 fortsetzen. Die Softwareentwicklung ist soweit fortgeschritten, dass komplette Funktionstests im Bereich Timing-System und

Multibunch Feedback-System erfolgreich abgeschlossen werden konnten. Das transversale Multibunch Feedback-System wurde in den letzten Betriebstagen erfolgreich bei PETRA II getestet. Hierbei kamen ausschließlich Prototyp-Komponenten zum Einsatz, die für PETRA III entwickelt wurden. Obwohl das System mit reduzierter Ausgangsleistung betrieben werden musste, konnte schon jetzt ein Strahlstrom von 60 mA in der Maschine gespeichert werden.

FLASH

Für den FLASH entwickelt MSK neben einem Intra-bunch Feedback die komplette Hochfrequenzsteuerung und Feldregelung in den Cavities zusammen mit den hochgenauen Referenzfrequenzen und deren Verteilung. Letztere dienen auch als Vorstudie für die Komponenten, welche schließlich im XFEL realisiert werden sollen.

Bei den Arbeiten am Hochfrequenzsystem und bei der Durchführung von Maschinenstudien an FLASH erfuhr MSK wesentliche Unterstützung durch die polnischen Universitäten in Warschau (ISE) und Lodz (DMCS). Dadurch konnten unter anderem die Stabilität der RF-Gun und des ersten Kryomoduls (ACC1) wesentlich verbessert werden.

Das Intra-Bunch-Feedback für FLASH wurde erfolgreich in Betrieb genommen. In der derzeitigen Ausstattung ist das System in der Lage, Bunchzüge von 1 ms Dauer und einer Bunchfolgefrequenz von 9 MHz bei einer Rate von 10 Hz zu bearbeiten. Die Kickeransteuerung stellt für jeden Bunch eine elektrische Leistung von 1500 W an 50 Ohm zu Verfügung.

Die neue Hardware-Plattform für den Feldregler (SIMCON DSP) konnte im Berichtszeitraum von letzten Fehlern bereinigt werden und dient nun als Basis für die Algorithmen und die Regelung bei FLASH. Als neue Funktionen bei der Regelung des Moduls ACC1 konnten die Klystron Linearisierung und die Beam-Loading-Kompensation implementiert und schließlich im FLASH getestet werden. Für dieses Modul konnte das alte DSP-basierte System somit abgelöst werden. Es ist geplant, die Systeme für die restlichen Module

im Laufe der kommenden beiden Jahre ebenfalls zu ersetzen.

Für die Cavity-Piezo-Abstimmungsregelung für FLASH wurden 8-kanalige Verstärker produziert. Der Regelalgorithmus wurde um eine aktive Lorentz-Kraft-Verstimmungskompensation erweitert.

Das Online-Ortsdosismesssystem (RADMON) wurde permanent im FLASH-Tunnel installiert.

Schließlich gab es Fortschritte in der Produktion des Master-Oszillators und der Frequenzverteilung, hauptsächlich auf der Ansteuerungsseite bei kleinen Signalpegeln.

XFEL

Bei der Entwicklung der digitalen Hochfrequenzregelung für den XFEL war ursprünglich geplant den schon entwickelten SIMCON Standard (10 ADCs, 4 DACs sowie schnelle FPGAs und DSP für die Signalverarbeitung) mit schnellen 10 Gigabit Ethernet Links zu erweitern. Damit sollte es im Verbund mehrerer Boards möglich sein, die 100+ Signale einer RF Station für 32 Beschleunigungsresonatoren innerhalb weniger 100 ns zu verarbeiten. Diese kurze Latenzzeit ist nötig, um die Stabilität des Feedback bei hoher Feedback Gain (100-300) d. h. guter Fehlerunterdrückung zu erreichen.

Diese Aufgabe wurde durch den inzwischen zur Verfügung stehenden ATCA (*Advanced Telecommunications Computing Architecture*) Crate Standard vereinfacht, da dieser eine große Anzahl von Gigabit Links auf seiner Backplane, genannt *Fabric Agnostics*, anbietet. Außerdem bietet dieser Standard hohe Verfügbarkeit und integriertes *Intelligent Platform Management Interface* (IPMI), welche die Ferndiagnose der Elektronik wesentlich vereinfacht.

Basierend auf dem ATCA Standard wurde ein modulares Konzept entwickelt, welches die Anforderungen an die Wartbarkeit und Skalierbarkeit des XFELs erfüllt, und Kompatibilität mit dem geplanten xTCA Standard für das Kontrollsystem erfüllt. Weiterhin wurden die Signaleingänge mit Hilfe von *Rear Transition Modules* (RTM) auf die Rückseite des Crate gelegt, um Schäden

an Kabeln zu reduzieren. Es wurde ein Plan für die Erprobung des ATCA basierten LLRF-Systems für 2008 am FLASH entwickelt und im Rahmen eines Review einem Komitee von RF und Elektronik Experten vorgestellt. Im Bericht des Komitees wird der Plan befürwortet.

Im Bereich der LLRF Software wurden neue Regler für die RF-Gun und das erste Kryomodul im FLASH für die dort eingesetzten SIMCON boards entwickelt. Diese haben sich bereits im Nutzerbetrieb bewährt und die Strahlstabilität verbessert. Diese Software lässt sich später mit hoher Effizienz auf das ATCA-System portieren.

Für die Dokumentation der LLRF des XFEL wurden die Konzepte ausführlich beschrieben, die Anforderungen auf Systemebene erfasst, und die Dokumentation auf Subsystemebene mit den Werkzeugen Requisite Pro und Enterprise Architect begonnen.

Zur Vorbereitung der Kollaborationsverträge mit den polnischen Universitäten in Lodz und Warschau wurde eine Workbreakdownstruktur entwickelt, die eine sinnvolle Aufgabenteilung möglich macht. Das entsprechende EOI (*Expression of Interest*) wurde dem IKCRC präsentiert und von diesem befürwortet.

HERA

Das bereits im Jahr 2006 erfolgreich in Betrieb gegangene longitudinale Multibunch-Feedback-System für HERA-p konnte das ganze Jahr hindurch nahezu ausfallfrei durchlaufen. Das System war voll einsatzbereit lief bis zum Ende von HERA vollautomatisiert.

Vakuum –MVS–

Im Juli 2007 wurden die Gruppen MVA und MVP in der Gruppe MVS vereinigt. Die Gruppe MVS betreut die Vakuumsysteme aller laufenden Beschleuniger in DESY Hamburg und die Erstellung der Beschleuniger-Vakuumsysteme für die neuen Projekte PETRA III und

XFEL. Der Schwerpunkt der Arbeiten im Jahre 2007 betraf PETRA III.

HERA

Das Strahlvakuumsystem für den Protonenring sowie das Isoliervakuumsystem für die supraleitenden Magnete liefen ohne Schwierigkeiten bis zum Betriebsende von HERA Ende Juni 2007. Im Elektronenring musste ein undichtes Schiebestück im Rotatorbereich Nord getauscht werden. Im Bereich des Absorbers in der Wechselwirkungszone Süd, der in den letzten Jahren für Lecks anfällig war, musste eine Kammer im Tunnel nachgeschweißt werden. Eine kritische Kupferdichtung musste in diesem Bereich ebenfalls getauscht werden. Nach Betriebsende von HERA wurden an allen drei Vakuumsystemen die Pumpen abgeschaltet und die Systeme mit trockenem Stickstoff geflutet. Alle drei Vakuumsysteme sind intakt belassen, die Turbomolekularpumpstände werden jedoch nach einer Überholung bei den neuen Projekten weiterverwendet. Die Strahlrohre in den Wechselwirkungszone wurden mit den Experimenten ausgebaut. Das Vakuumsystem des Protonen-Linacs LINAC III wurde mit Ausnahme der Protonenquelle ebenfalls in der zweiten Jahreshälfte geflutet, ansonsten aber intakt gelassen. Das Vakuumsystem des Protonensynchrotrons DESY III wurde wegen der Verbindung mit dem System von DESY II bis zum Jahresende weiterhin unverändert betrieben.

DORIS und die Vorbeschleuniger LINAC II und DESY II

Die Vakuumsysteme dieser Beschleunigerkette liefen im Berichtszeitraum ohne nennenswerte Störungen.

FLASH

Beim Linearbeschleuniger FLASH wurden in der Wartungszeit 2007 eine Reihe von Umbauten und Erweiterungen durchgeführt. Zur Verbesserung der Strahlqualität wurde der Injektor nahezu komplett demontiert

und modifiziert. Hierbei wurde die komplette Vakuumeinheit zwischen der Elektronenkanone und dem String im ersten Beschleunigermodul ersetzt. Die erforderlichen Komponenten wurden großenteils in der Gruppe gefertigt. Insbesondere wurden die Justierung des beweglichen Kollimators zur Abschirmung des Dunkelstroms optimiert und die effektive Saugleistung im Strahlrohr erhöht. Nach dem Umbau war der Dunkelstrom deutlich geringer und die Druckverhältnisse im Strahlbetrieb waren signifikant besser. Die Untergerüste für diesen Abschnitt sowie der Elektronenkanone und des Kathodensystems wurden durch ein Schienensystem ersetzt, so dass in Zukunft bei Umbauten die Komponenten einfach und reproduzierbar verschoben werden können. Der Injektor dient in seiner jetzigen Form als Grundlage für den Injektor des XFEL. Im Bereich der supraleitenden Beschleunigungseinheiten wurden die notwendigen Vakuumarbeiten beim Einbau eines weiteren Moduls sowie beim Austausch von zwei weiteren Modulen ausgeführt. Mehrere Strahl-diagnoseelemente wie Phasen- und Strahllagemonitore wurden ausgetauscht bzw. neu eingebaut. Weiterhin wurden Umbauten im Bereich der Experimente unterstützt. Hierzu gehören auch Stützvakuumssysteme für empfindliche Fenster bzw. Laserstrahlführungen. Im Abschnitt hinter den FEL-Undulatoren wurde ein weiterer Undulator im Infrarotbereich eingebaut. Hierfür wurde das Strahlrohr modifiziert und eine neue Spiegelkammer installiert.

PETRA III

Unmittelbar nach dem Betriebsende von HERA wurde damit begonnen, den gesamten Beschleuniger aus dem Tunnel zu entfernen. Der überwiegende Teil der alten Vakuumkammern wurde entsorgt.

Die Magnete von 7/8 des Ringes wurden im Berichtszeitraum überholt und wieder eingebaut. Die Vakuumkammern für diesen Teil des Beschleunigers wurden fertiggestellt und etwa die Hälfte davon installiert. In den Dipolmagneten werden strang-gepresste Aluminiumkammern mit einem Pumpkanal für NEG-Streifen verwendet (siehe Abbildung 152).

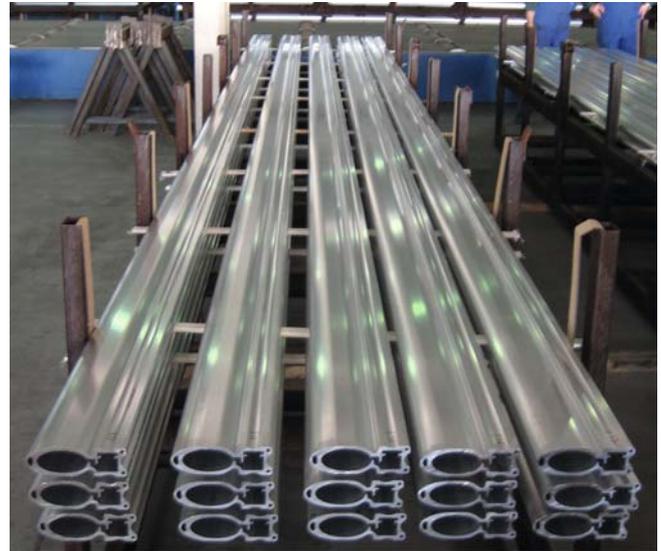


Abbildung 152: Dipolkammern für die Alten Achtel. Oben Rohlinge; unten eingebaute Kammer.

In den Quadrupol- und Sextupolmagneten wird eine elliptische Edelstahlkammer, ebenfalls mit integrierter NEG-Pumpe und einem Strahlpositionsmonitor ausgerüstet, eingesetzt.

Zwischen Dipol- und Quadrupolkammer befindet sich jeweils ein Schiebestück mit einem elliptischen Edelstahlbalg und einer HF-Abschirmung. Mit dem Einbau der als Haltepumpen verwendeten Ionengetterpumpen wurde ebenfalls begonnen.

Für die Experiment-Sektion, dem *Neuen Achtel*, werden Edelstahlkammern und dazwischen liegende Kupferabsorber verwendet. Der Aufbau ist wesentlich kom-

plizierter als im Standardbogen. Die Konstruktion der Komponenten wurde in 2007 abgeschlossen. Die externe Fertigung der Edelstahlkammern, Absorber und Untergestelle verlief zum großen Teil planmäßig, jedoch gab und gibt es kritische Verzögerungen bei einem Teil der Edelstahlkammern für die Quadrupole und bei den Schiebestücken.

Das Synchrotronlicht für die Experimente wird in acht Undulatorabschnitten erzeugt. Als Vakuumkammern werden strang-gepresste Aluminiumprofile mit Pumpkanälen für NEG-Streifen verwendet. Ein entsprechendes Profil wurde beschafft und eine Prototypkammer gefertigt. Auf beiden Seiten der Magnetstruktur sind Strahllagemonitore vorgesehen, an die sehr hohe Anforderungen hinsichtlich der mechanischen Stabilität gestellt werden. Aus Platzgründen sind die Monitore fest in die Undulatorvakuumkammern integriert. Daher wurde zusammen mit dem Profil der Kammer eine steife Stützeinheit entwickelt.

Die Konstruktion der Vakuumkammern in den verschiedenen geraden Strecken wurde fertiggestellt inklusive diverser Sonderkomponenten wie Kollimatoren, Scraper, Shutter, Kickerkammern und spezieller Diagnosekammern. Die Fertigung dieser Komponenten ist planmäßig fortgeschritten.

Die Konstruktion und Fertigung der neuen Vakuumkammern für die Transportwege von PIA zu DESY II sowie DESY II zu PETRA verlief ebenfalls planmäßig. Die Beschaffung von NEG-Streifen, Ionengetterpumpen und Titanverdampferpumpen sowie deren Netzgeräte, Vakuumschiebern sowie Komponenten für Pumpstände ist nahezu abgeschlossen. Nach Erprobung eines Prototyps wurde mit der Fertigung der Turbomolekularpumpstände begonnen.

Das Vakuumsystem für die Dämpfungswiggler-Strecken wird vom Budker Institut in Novosibirsk in Zusammenarbeit mit der Gruppe MVS erstellt. Im November 2007 wurden die ersten Vakuumkammern inklusive des Absorbers für den Wiggler und den benachbarten Quadrupol geliefert und im PETRA Tunnel mit den Magneten als Systemtest aufgebaut (siehe Abbildung 153).



Abbildung 153: Testaufbau einer Wigglerstrecke im PETRA Tunnel.

Die Vakuumkammern für die Wigglermagnete werden in Novosibirsk mit einer NEG-Beschichtung versehen, um einen hinreichend geringen Druck in diesen Abschnitten zu garantieren. Eine Prototypkammer wurde am Jahresende bei DESY im Labor durch Heizen auf 180°C aktiviert. Die Entwicklung der Partialdrücke an den Enden der Kammer wurde mit Massenspektrometern verfolgt. Eine genaue Analyse der Messdaten steht noch aus.

XFEL

Für den XFEL wurde im Berichtszeitraum die Weiterentwicklung verschiedener Komponenten vorangetrieben sowie mit der Detailplanung für den Bau und die Beschaffung begonnen. Hierzu wurden ein detaillierter Ablaufplan und ein Kostenprofil für die gesamte Bauphase erstellt und damit begonnen, Spezifikationen für die Beschaffung von Vakuummessgeräten und Pumpen zu erarbeiten. Ebenso wurde die Planung der Vakuumsysteme für die Modultesthalle weiter ausgearbeitet.

Für die Vakuumkomponenten im supraleitenden Linearbeschleuniger wurden die Konstruktionen hinsichtlich der anstehenden Serienfertigung optimiert. Insbesondere das Fertigungskonzept der Pumpleitung für die Koppler konnte deutlich vereinfacht werden. Im kalten Vakuumsystem des XFEL sind einige Vakuumschieber

mit Ganzmetalldichtung vorgesehen, die auch im abgekühlten Zustand zuverlässig geschlossen bzw. geöffnet werden sollen. Hierfür wurde in Zusammenarbeit mit der Industrie ein Prototyp entwickelt. Erste Tests bei tiefen Temperaturen haben gezeigt, dass noch einige Modifikationen des Schiebers notwendig sind. Auf der Grundlage der Messreihen zum Partikeltransport in Vakuumrohren wurde ein kompakter Aufbau entwickelt, mit dem Vakuumabschnitte ohne Eintrag und Bewegung von Partikeln reproduzierbar angepumpt und geflutet werden können. Der Aufbau wurde inzwischen bei der Fertigung von Modulen eingesetzt. Eine Automatisierung der Prozesse ist in Vorbereitung.

Für die beiden Bunchkompressoren wurde ein Konzept zur Befestigung der Strahlführung erarbeitet. Diese befindet sich etwa 2 m über dem Tunnelboden. Oberhalb befindet sich die kryogenische Bypassleitung. Ursprünglich wurde eine Aufhängung der Strahlführung an der Tunneldecke angestrebt. In einer Studie wurde sowohl eine Aufhängung der Komponenten als auch eine Aufstellung auf dem Tunnelboden untersucht und miteinander verglichen. Diese Untersuchung hat ergeben, dass es unter Sicherheits- und Kostenaspekten sinnvoll ist, im Bereich der Bunchkompressoren die Elektronikschränke direkt unterhalb der Strahlführung aufzustellen und die Betonsteine zur Abschirmung der Elektronik gegen radioaktive Strahlung als Unterbau für die Strahlführung in diesem Bereich zu verwenden. Für die Vakuumkammern in der magnetischen Schikane wurden ebenfalls zwei Varianten untersucht. Eine feste Einheit mit entsprechend großen Magneten wurde mit einer verfahrbaren Einheit verglichen. Die erste Lösung benötigt flache, breite Edelstahlkammern mit einer Kupferbeschichtung, wie sie bereits bei FLASH verwendet werden. Für die zweite Lösung können für die Vakuumkammer Rohre und entsprechend kleinere Magnete verwendet werden, allerdings werden aufwendige Verfahrinheiten und entsprechende Bälge benötigt. Aufgrund der deutlich höheren Betriebssicherheit bei einer festen Lösung wird diese bevorzugt, auch wenn die Kosten etwas höher als bei einer beweglichen Einheit sind.

Die insgesamt mehr als 750 m langen Undulatorstrecken werden modular aus 5 m langen Undulatorma-

gneten und knapp 1 m langen Zwischenbereichen aufgebaut. Die Erarbeitung des Layouts zwischen zwei Undulatoren mit Korrekturmagnet, Strahlpositionsmontitor und Vakuumkammern wurde mit allen beteiligten Gruppen fortgeführt und nahezu abgeschlossen. Das Vakuumrohr enthält neben einem Balg und einem Anschluss für eine kleine Ionenzerstäuberpumpe auch jeweils einen Absorber, um die folgende Undulatorkammer gegen Photonen zu schützen. An die Undulatorvakuumkammern werden hohe Anforderungen hinsichtlich der Oberflächenbeschaffenheit gestellt, um Verluste durch Wake-Felder, die zu einer Verringerung der Strahlqualität führen, zu minimieren. Hierzu wurden Untersuchungen der Oberflächeneigenschaften von Vakuumkammern aus extrudiertem Aluminiumprofil mit Messungen der Rauigkeit und der Dicke der Oxidschichten fortgesetzt. Zudem wurde versucht, die Oberfläche durch Elektropolieren weiter zu glätten.

Die Elektronenpakete werden am Ende der Strahlführung in massiven Graphitblöcken vernichtet. Das Strahlvakuumsystem wird hierfür direkt vor den Strahldumps mit Austrittsfenstern abgeschlossen. Diese sind lokal sehr hohen thermischen und mechanischen Belastungen in den Bereichen ausgesetzt, in denen die Elektronen das Fenstermaterial durchdringen. Als Material ist derzeit Graphit mit entsprechend guten Eigenschaften vorgesehen. Als Abschluss des Vakuumsystems ist zusätzlich eine Beschichtung des porösen Graphitfensters notwendig. Hierfür wurden erste erfolgreiche Versuche mit einer Lötfolie auf einem Graphitblock durchgeführt.

Für die Vakuummessung, die Steuerung der Ventile und die Elektronik des XFEL-Vakuumsystems wurden die Konzepte und das grobe Layout festgelegt. Die Entwicklung eines neuen Netzteils für die Getterpumpen wurde fortgeführt. Hier sollen zukünftig vier Netzgeräte in einem Gehäuse untergebracht und über eine Ethernetadresse ausgelesen werden. Die detaillierten Untersuchungen von Massenspektrometern, die über Ethernet ausgelesen werden können und auch Lecksuchfunktionalitäten mit hoher Partialdruckauflösung und schnellen Antwortzeiten gestatten, wurden abgeschlossen. Basierend auf den Ergebnissen wurde mit der Beschaffung von Geräten begonnen.

Nach dem Abschalten von HERA sollen einige Vakuumpomponenten für den XFEL weiterverwendet werden. Hierfür wurde damit begonnen, Pumpstände, die bisher am Isoliervakuum von HERA eingesetzt waren, elektronisch und mechanisch zu überarbeiten und zur CE-Prüfung vorzubereiten.

Weitere Aktivitäten

Im Rahmen der Entwicklungsarbeiten der supraleitenden Cavity Technologie ist MVS mit verschiedenen Vakuumanlagen in den Testbetrieb der Kavitäten bei der *TESLA Test Facility* (TTF) eingebunden. Der Schwerpunkt der Arbeiten lag hier in der Betreuung der Vakuumsysteme des Modulteststands.

Eine weitere Aktivität bestand in der Fertigung von zwei neuen RF-Kanonen und eines Boostercavities für den Photoinjektor Teststand PITZ in Zeuthen. Beides sind Lötkonstruktionen aus hochpräzise gefertigten Kupfertassen. Im Berichtszeitraum wurde die Fertigung der RF-Guns abgeschlossen. Die Fertigung des Boostercavity ist weit fortgeschritten.

An der Elektronenstrahl-Schweißmaschine in Gebäude 14, die von der Gruppe zusammen mit ZM und MKS betreut wird, wurden 4 einzellige Niob-Kavitäten und zwei RF-Gun Kavitäten mit Erfolg geschweißt. Der Vorrichtungen für die Schweißung von Niob-Resonatoren wurden weiter verbessert.

Kryogenik und Supraleitung –MKS–

Kryogenik

Betrieb der Helium-Kälteanlagen für HERA

Bis zur Abschaltung im Juli 2007 versorgten die HERA-Kälteanlagen den HERA-Speicherring mit einer Verfügbarkeit von 99.7%.

Längerfristige Ausfälle der Kälteanlagenkomponenten sind nicht zu vermerken. Ein Großteil der aufgetretenen Ausfallzeiten wurde durch Fehler im SEDAC-Teil des Kontrollsystems im HERA Tunnel verursacht. Des Weiteren führten Magnet-Quenche und Fehler im Kontrollsystem wie etwa fehlende Kompressorfreigaben zu kurzfristigen Ausfällen der Kälteanlage.

Zwei der drei HERA Kälteanlagen waren im Jahr 2007 bis einschließlich Monat Juli durchgängig in Betrieb. Sie versorgten die supraleitenden Protonenringmagnete, die Referenzmagnete, die vier supraleitenden Luminositäts-Upgrade-Magnete GO und GG an den Wechselwirkungszonen bei H1 und ZEUS sowie die supraleitenden Kavitäten des e-Ringes und die Experimente H1, ZEUS und HERMES mit Helium bei 4.0 K bzw. 4.4 K und 40 K. Die dritte HERA Kälteanlage versorgte den FLASH-Linac sowie zeitweilig den Kryomodulteststand (CMTB) und die Magnetesthalle (MTH) für das ALPS-Experiment. Zeitweilig wurde auch die Cold-Box der 900-W TTF Helium-Kälteanlage von den Schraubenkompressoren der für den FLASH-Linac aktiven HERA-Kälteanlage versorgt.

Für HASYLAB und die Labors wurden in 2007 in der HERA-Kryoanlage insgesamt 4621 kg flüssiges Helium in 244 Kannen unterschiedlichen Fassungsvermögens bereitgestellt.

Die Magnetfeldmesssysteme in den Referenzmagneten konnten in 2007 ohne nennenswerte Störungen bis zum Abschalten von HERA betrieben werden.

Der Abbau von kryogenischen Komponenten der Experimente ZEUS und H1 wurde unterstützt.

Kryoversorgung des FLASH-Linac

Der FLASH-Linac wurde mit Ausnahme des planmäßigen Shutdowns von Ende März bis Anfang August im Betriebsjahr 2007 weitestgehend störungsfrei von einer der drei HERA Kälteanlagen betrieben. Bis zum Shutdown im März 2007 wurde der FLASH-Linac somit seit März 2004 über drei Jahre durchgehend kryogenisch versorgt. Trotz einiger erheblicher Wartungs- und Reparaturarbeiten an den zugehörigen Drehschieber- und

Rootspumpensystemen (Heliumpumpstände 1 und 2) konnte der Betriebsdruck von 31 mbar im 2-K-System des LINACs dank der redundanten Auslegung der Systeme dabei unterbrechungsfrei aufrechterhalten werden.

Insgesamt wurde der FLASH-Linac mit einer Verfügbarkeit von 99.6% versorgt. Ausfälle wurden durch einen bis dahin unentdeckten Programmfehler an den HERA-Schraubenkompressoren, einen Kurzschluss an einer Signalleitung an den Kompressoren und einen CPU-Ausfall des Linac-Kryokontrollrechners verursacht.

Es wurde begonnen, den zukünftigen Betrieb der ehemaligen HERA-Kälteanlage zur der weiteren Versorgung des FLASH-Linacs, der Magnetesthalle, des Kryomodulteststandes und der zukünftigen *XFEL Accelerator Modul Test Facility* (AMTF) durch technische Maßnahmen weiterhin zu gewährleisten. Nachdem die Umrüstung der Niederdruck-Schraubenkompressoren auf Frequenzumrichter-Steuerungen in den Joule-Thomson Kreisen der Kälteanlage in den letzten Jahren bereits eine Verringerung des Primärenergiebedarfs von ca. 18% bezogen auf die gleiche Kälteleistung erbracht hatte, wurde jetzt damit begonnen, auch die verbleibenden Niederdruck-Kompressoren in den Turbinenkreisen mit Frequenzumrichtern nachzurüsten. Auch die überalterte Steuerung der Ölkühlergebläse wurde erneuert. Insgesamt werden durch diese Maßnahmen weitere Einsparungen im Primärenergiebedarf der Anlage im Teillastbetrieb erwartet.

Während des FLASH-Shutdown fanden umfangreiche Umrüstarbeiten am 15 Jahre alten Heliumpumpstand 1 statt. Dieser Pumpstand ist im Normalbetrieb dem TTF-Testfeld zugeordnet; er dient gleichzeitig als Redundanz für den FLASH-Linac-Betrieb. Das gesamte I/O-System wurde erneuert, sowie die Steuerung von einer Siemens S5 SPS auf eine S7 SPS umgerüstet, dadurch konnte der Heliumpumpstand 1 in das Kontrollsystem eingebunden und die Fernüberwachung sichergestellt werden. Es wurden zusätzliche Ventile in das bestehende System der beiden Heliumpumpstände eingebaut und in die Steuerung übernommen, dadurch

werden Ausfälle der Pumpstände bei Druckschwankungen vermieden und stabilere Betriebsbedingungen am FLASH-Linac erreicht.

Nach dem Ende des HERA-Betriebes wird der Betreibervertrag für die Kälteanlage seit August 2007 in veränderter Form weitergeführt. Innerhalb von zwei Jahren soll der bisherige Vollschieftbetrieb an der Anlage in einen Rufbereitschaftsbetrieb überführt und der Anteil des DESY-Personals an den Schichten zahlenmäßig verringert werden. Damit wird es möglich, dringend benötigtes Personal für das XFEL-Projekt einzusetzen. Im Zuge dieser Umstellungen und bedingt durch unvorhergesehene personelle Engpässe wurden bereits Einzelschichten eingeteilt, die im zentralen Beschleuniger-Kontrollraum geleistet werden.

Control System Studio (CSS)

Die zukünftige Umstellung auf den Rufbereitschaftsdienst erfordert zusätzliche technische Erweiterungen, so muss das Alarmierungssystem der Kryo-Kontrollen erheblich verbessert werden. Als Teil der Entwicklungen des *Control System Studio* (CSS) wurden deshalb Funktionsmodule zur Konfiguration und Visualisierung von Alarmen erstellt. So können Alarmzustände aus unterschiedlichen Bereichen in einer zusammenfassenden Darstellung aufgeführt werden. Für die Operateure könnten sich dadurch erhebliche Erleichterungen ergeben. So können mit Hilfe eines zentralen Werkzeuges, Alarme und damit verbundene Aktionen – wie zum Beispiel SMS-Meldungen – konfiguriert werden. Als weitere Komponenten sind ein Synoptisches Display und eine Darstellung von archivierten Daten hinzugekommen. Es wurde mit der praktischen Erprobung dieser Entwicklungen begonnen.

Die Entwicklung von CSS und der damit verbundenen Einzelapplikationen wird weiter in einer internationalen Kollaboration vorangetrieben. Dabei erfolgt eine enge Zusammenarbeit mit der Universität Hamburg und dem Fraunhofer Institute for Applied Information Technology. Die Ergebnisse können über die CSS Webseite verfolgt werden: <http://css.desy.de>

TTF-Testfeld

In den vertikalen Badkryostaten für ein- und mehrzellige Kavitäten und dem horizontalen Kryostaten für ausgerüstete Kavitäten (CHECHIA) des TTF-Testfeldes wurden insgesamt 128 Messungen und Tests durchgeführt, davon waren 121 vertikale und 27 horizontale Tests.

In CHECHIA wurden die Kavitäten für das Beschleunigermodul Nr. 9 (FNAL-Kit) qualifiziert. Dabei wurden die Tests der Kavitäten-Tuningsysteme mit Piezo-Elementen in die Kavitäten Tests integriert. Weiterhin wurden die Kavitäten-Tuningsysteme für das Beschleunigermodul Nr. 8 mit doppelten Piezo-Elementen und neuen Tunertriebssystemen der Firma Phytron an einer Testkavität für den Einbau qualifiziert. In den vertikalen Kryostaten fanden Tests an 9- und 1-zelligen Kavitäten statt. Weitere Tests in den vertikalen Kryostaten wurden an einem neuen HOM-Beam-Absorber Typ durchgeführt, der für den XFEL-Linac konstruiert wurde, dieser Prototyp wurde später während des FLASH-Shutdowns am Strahlaustritt des 6-ten Beschleuniger-Moduls (Position ACC6) in den FLASH-Linac eingebaut.

Der neu konstruierte supraleitende Magnet (Beistellung des spanischen Institutes CIEMAT) für die XFEL-Beschleunigermodule wurde nach der warmen Vermessung in einem vertikalen Heliumbadkryostaten bei 2 K getestet und in das Modul Nr. 8 eingebaut. Außerdem fanden Temperatur- und Dichtigkeitstest bei 2 K und 4.5 K an einem neu konstruierten pneumatischen Strahlrohrschieber statt, dieser Schieber ist für den Einsatz in den Kryoverbindungsboxen (*String Connection Boxes*) im XFEL-Linac vorgesehen. Die Kryostaten des TTF-Testfeldes wurden von der 900-W-TTF-Helium-Kälteanlage mit flüssigem Helium versorgt.

900-W TTF Helium-Kälteanlage

Die seit langem überfällige Renovierung der Steuerung der Cold-Box der 25 Jahre alten 900-Watt TTF Helium-Kälteanlage konnte ab Mitte Oktober durchgeführt werden. Die Renovierung war dringend notwendig, da die Antriebe der kalten Ventile verschlissen waren, die alte

analoge Steuerung nicht mehr dem Stand der Technik entsprach und Ersatzteile nicht mehr zu beschaffen waren. Die Renovierung umfasste die Umrüstung und den Austausch aller Antriebe der Regelventile, den Austausch der gesamten Messsysteme für die Temperatur- und Druckmessung, sowie den Umbau der Steuerung auf eine S7-300 Siemens SPS. Das gesamte Mess- und Regelsystem wurde als Profibus-PA-System aufgebaut. Ein gleichartiges System ist bereits zur Steuerung des Kryomodulteststandes (CMTB) seit über einem Jahr im Einsatz. Das System bietet im Hinblick auf die stark vereinfachte Verkabelung, der vereinfachten Justagen der Ventilstellungsregler, der Fehleranalysemöglichkeiten und des stark verminderten Steuerluftverbrauchs erhebliche Vorteile gegenüber der alten Technik.

Der Umbau mit Inbetriebnahme konnte in fünf Wochen realisiert werden, so dass bereits Ende November am TTF-Testfeld wieder Kavitäten getestet werden konnten. Das System wird im TTF-Testfeld im Alltagsbetrieb getestet und optimiert.

Der Einsatz eines solchen Systems ist auch für die *Accelerator Module Test Facility* (AMTF), für die XFEL-Kryokomponenten und für den Umbau von zwei Straßen der ehemaligen HERA-Kälteanlage zur XFEL-Kälteanlage vorgesehen.

Die Umstellung der für den FLASH und AMTF Betrieb vorgesehenen 42er-Straße der ehemaligen HERA-Kälteanlage auf diesen Stand kann nur sehr eingeschränkt erfolgen, da die Finanzierung dieser Maßnahme nicht hinreichend realisiert werden kann.

Betrieb der Cavity Testanlage (CTA)

An 21 Testtagen wurden 18 einzellige Kavitäten getestet. Der Betrieb der 300-W CTA Helium-Kälteanlage wurde von der HERA-Kryomannschaft durchgeführt.

Betrieb der Magnettesthalle (MTH)

Erste Messungen der ALPS Kollaboration zur Suche nach *Axion-artigen* neuen Teilchen wurden in einem supraleitenden HERA Dipol in Halle 55 (MTH) durchgeführt. Die Heliumkälteversorgung und der Betrieb

des Dipols wurde gewährleistet und die nötige Infrastruktur bereitgestellt.

Betrieb des Kryomodulteststandes (CMTB)

Auf dem Kryomodulteststand wurden die Module Nr. 5, 6 und 7 getestet und Modul Nr. 3* für spezielle Tests vorbereitet.

Im Rahmen der Tests wurde Modul Nr. 6 insgesamt elfmal von Raumtemperatur auf 4.5 K abgekühlt und aufgewärmt, wobei dreimal bis auf 2 K abgekühlt und die Kavitäten mit HF betrieben wurden. Die 11 Abkühlzyklen waren zur Überprüfung des XFEL-Kryostatendesigns nötig. Das innere Verhalten des Kryostaten beim Abkühlen und Aufwärmen wurde mit einem Drahtmesssystem (WPM-System) überwacht, nach den 11 Zyklen konnte keine Abweichung in den Positionen der kalten Komponenten festgestellt werden. Bei diesen Kalttests wurden auch verschiedene Messsysteme zur Messung von Schwingungen und Vibrationen eingesetzt. Zum Einsatz kamen Piezo- u. Geophon-Messsensoren. Die Tests von Modul Nr. 6 wurden im März 2007 beendet, und das Modul stand damit zum Einbau in den FLASH-Linac bereit.

Modul Nr. 7 wurde im direkten Anschluss an den Ausbau von Modul Nr. 6 Anfang April 2007 in CMTB eingebaut und erfolgreich getestet. Die Tests von Modul Nr. 7 wurden Mitte Mai 2007 abgeschlossen, und das Modul wurde direkt vom Teststand in den FLASH-Linac zum Einbau auf Position ACC3 transportiert. Modul Nr. 5 war bereits seit Anfang 2003 im FLASH-Linac eingebaut und musste zum Wechseln der Motoren der Tunertriebssysteme aus dem FLASH-Linac ausgebaut, zerlegt, zusammgebaut und auch während des Shutdowns wieder eingebaut werden. Um die Funktion des Moduls zu testen, wurde es vor dem FLASH Einbau noch einmal mit voller HF-Leistung bei 2 K im CMTB getestet.

Das im FLASH-Shutdown ausgebaute Modul Nr. 3* wird zurzeit in den CMTB eingebaut. Der Anschluss des Moduls mit zusätzlicher Sensorik ist für Januar und der Test für Februar 2008 geplant. An diesem Modul sollen diverse Tests durchgeführt werden, bei dem

das Verhalten der unterschiedlichen Komponenten auf Druck-, Temperatur- und Vakuum-Einflüsse hin untersucht werden soll. Als eine der letzten Versuche sollen sogenannte *Crash Tests* durchgeführt werden, dabei sollen katastrophale Szenarien durchgespielt werden, die im Betrieb auftreten könnten – im Wesentlichen Bruch des Strahlrohr- und des Isoliervakuum. Diese Szenarien wurden durch Berechnungen abgeschätzt, die Abschätzungen beinhalten aber diverse Unbekannte und müssen deshalb durch Tests belegt werden.

Arbeiten für den FLASH-Shutdown

Der Umfang der kryogenischen FLASH Shutdown-Arbeiten war: Ausbau der Module Nr. 3* (Position ACC3) und Nr. 5 (Position ACC5), Versatz der Endbox von Position ACC5 auf ACC6 und Einbau der Module Nr. 7 auf Position ACC3, Nr. 5 auf Pos. ACC5 und Nr. 6 auf Position. ACC6. Zuvor musste Modul Nr. 7 zusammgebaut und Modul Nr. 5 nach dem Ausbau zerlegt und repariert werden. Abbildung 154 zeigt den Einbau von Modul Nr. 5 in den FLASH Tunnel.

Die enge Verzahnung von Modulbau, den Modultests und dem eigentlichen Shutdown Arbeiten mit teilweise parallelen Arbeitsabläufen führte zu erheblichen Belastungen der Mitarbeiter und auch zu einigen logistischen Problemen. Trotzdem konnten am 06.08.2007



Abbildung 154: Modul 5 beim Einbringen in den FLASH-Linac.

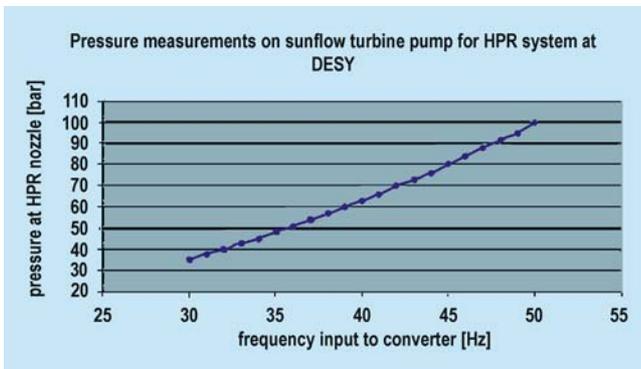


Abbildung 156: *Ermittelte Druckkennlinie der Sunflow Hochdruckturbinen (Druckschwankungen an den Arbeitspunkten < 1 bar).*

Hochfrequenzmessungen, das Tankschweißen, den horizontalen CHECHIA Test oder den Moduleinbau vorzubereiten.

Zur Erhöhung der Redundanz und Entlastung der 14 Jahre alten Hochdruckspüle wurde eine neue HD-Spüle aufgebaut und in Betrieb genommen. Als Neuerung zu allen bisherigen HD Anlagen Auslegungen und im Hinblick auf Serienproduktion von Resonatoren ist diese HD-Spüle mit einer Hochdruckturbinen ausgestattet. Bei gleichem Anschaffungspreis wie dem einer herkömmlichen Membran Pumpe fördert diese Turbinen nahezu druckschwankungsfrei bis zu 6000 l pro Stunde Reinstwasser mit einem Druck von 100 bar (siehe Abbildung 156). Sie ist somit in der Lage, bis zu sechs HD Sprühdüsen zu versorgen, die der Bauart der bei DESY vorhandenen HD entsprechen.

Es wurde ein Web-Server eingerichtet, um den Betreibern eine Beobachtung über das Internet zu ermöglichen. Diese Web-Visualisierung bietet zusätzlich die Möglichkeit, alle Anlagenparameter und Prozesswerte online zu beobachten. Die Anlagenparameter werden nach jedem Spülvorgang automatisch zum Datenbank-Rechner transferiert.

Industrielle Elektropolitur

In 2007 wurde eine Studie zur industriellen Elektropolitur von Resonatoren in Auftrag gegeben. Zwei Firmen

haben sich für diese Studie qualifiziert und den Auftrag erhalten, jeweils eine Elektropolituranlage unter industriellen Gesichtspunkten zu entwickeln und jeweils 15 Resonatoren zu behandeln. Beide Anlagen sind unter Beratung und dem zur Erstellung notwendigen Informations- und Wissenstransfer durch MKS3 Experten erstellt worden. Die Inbetriebnahme beider Anlagen wurde ebenfalls durch MKS3 Experten intensiv unterstützt. Ein erster Referenz Resonator wurde poliert und über eine Strecke von ca. 500 km zum DESY transportiert und hier der Endbehandlung und einem erfolgreichen Test unterzogen.

Qualitätskontrolle

In 2007 wurde ein neues Messgerät zur Bestimmung von Partikelkonzentrationen an Oberflächen in Betrieb genommen. Im Rahmen der allgemeinen Qualitätskontrolle wird die Reinheit von Wänden und Arbeitsflächen sowie die der Kleidung und neu gelieferter Komponenten, überprüft.

Zur Qualitätssicherung der geplanten XFEL Aufreinigerungsverfahren von Komponenten wurde ein Standard zur Qualifizierung und Qualitätskontrolle der Produktion entwickelt. Eine standardisierte Oberfläche soll in regelmäßigen Abständen in die Aufreinerungsabläufe einbezogen werden. Mit Hilfe der Oberflächenpartikel-Konzentrationsmessungen können an Hand dieser Probe die Anlagen und Verfahren auf ihre Effektivität und Funktionsfähigkeit hin überprüft werden.

Zur Beurteilung verschiedener für den XFEL geplanter Reinigerungsverfahren wurden Testreihen mit der Standardprobe erstellt, deren Ergebnisse exemplarisch in Abbildung 157 dargestellt sind.

Cavity Behandlungen und Testergebnisse

Im Hinblick auf die Spezifikationen für Serienpräparation der Kavitäten für das XFEL-Projekt wurden die bestehenden Standardverfahren weiter optimiert. Elektropolierte Kavitäten, die auch als Endbehandlung einer Elektropolitur unterzogen wurden, zeigen häufig Feldemission, die mit hoher Wahrscheinlichkeit durch

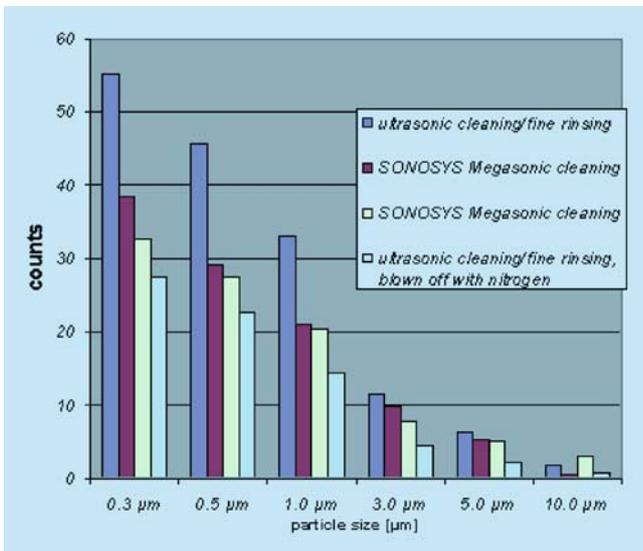


Abbildung 157: Qualifizierung von Reinigungszyklen, deren Effektivität mittels Standard Probe und Oberflächen-Partikelkonzentrationsmessgerät ermittelt wurde.

Ablagerung von Schwefel auf der Oberfläche der Resonatoren verursacht wird. Zur Beseitigung des Schwefels wurden die Kavitäten nach der Montage der Flansche und Antennen mit Reinst-Alkohol gespült und hieran anschließend der Hochdruckspülung unterzogen. Bei allen Behandlungen mit nachfolgender Alkoholspülung konnte eine deutliche Reduktion der Feldemission festgestellt werden.

Als alternative Endbehandlung elektropolierter Kavitäten bietet sich eine kurze Beizung (*Buffered Chemical Polishing* – BCP) an. Als Alternative zum polykristallinen Niob als Ausgangsmaterial für die Kavitäten wurde auch die Präparation von großkristallinem Material untersucht. Zur Ermittlung von notwendigen Abtragsraten an großkristallinen Resonatoren wurden die drei Resonatoren AC 112 bis AC 114 einer BCP-Behandlung mit ca. 110 µm Abtrag unterzogen. Bei einer weiteren BCP mit ca. 20 µm Abtrag erreichten sie hier, wie bereits in den Test zuvor, Gradienten von durchschnittlich 27 MV/m.

Zur Qualifizierung eines neuen Niob Lieferanten wurde ein Resonator (AC 115) gebaut. Nach Durchlaufen der Standardbehandlung mit Elektropolitur, Alkohol-

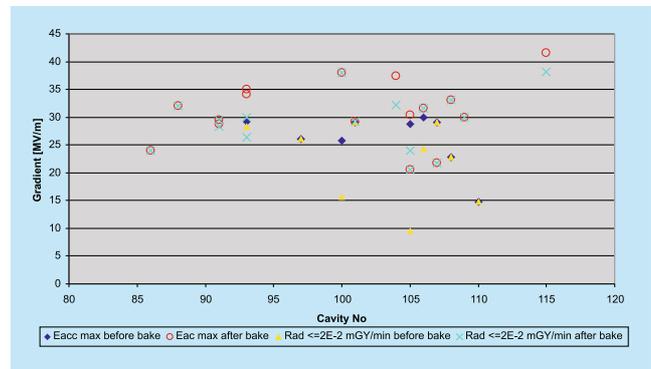


Abbildung 158: Hochfrequenz Messergebnisse aller in 2007 präparierten Resonatoren. Auswertung der Ergebnisse erfolgte unter den Randbedingungen einer Serienproduktion (first Power rise after preparation).

spülung und Backen bei 127°C erreichte dieses Kavität bereits beim ersten Test einen maximalen Gradienten von 39 MV/m mit geringer Feldemissionsbelastung. Die erzielten Beschleunigungsfeldstärken aller in 2007 präparierten Kavitäten zeigt Abbildung 158.

Datenbank für supraleitende Kavitäten

In der ursprünglich für R&D konzipierten relationalen Oracle-Datenbank sind inzwischen die Daten für mehr als 170 9-Zell-Kavitäten und 80 Einzeller gespeichert. Diese Kavitäten wurden insgesamt mehr als 1000 Präparationen und RF-Messungen unterzogen, um die Verfahren zu finden, die eine möglichst hohe Güte bei möglichst hohem Gradienten garantieren. Dazu ist die relationale Datenbank bestens geeignet, weil sie die Möglichkeit bietet, Korrelationen zwischen den Präparationen und den Gradienten herzustellen.

Inzwischen wird die Datenbank immer mehr zu einem nicht unwesentlichen Teil der Qualitätskontrolle, indem sie die Daten der mechanischen und elektrischen Vermessungen der Halbzellen, Hanteln (*Dumb-Bells*), Endgruppen und HOM-Koppler, den Bausteinen der Kavitäten, von den verschiedenen Herstellern speichert. So können beispielsweise mit einer statistischen Trend-Analyse frühzeitig eventuelle Probleme in der Fertigung erkannt werden.

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.

Bau von Kryomodulen

In enger Zusammenarbeit mit den DESY Gruppen MVS, MHF-sl und MEA wurden von MKS die Module mit den Produktionsnummern 7, 8 und 9 komplett zusammgebaut. Dafür wurden 18 Kavitäten für den Einbau in Module mit Heliumtanks versehen und präpariert. Modul 5 wurde außerhalb des Reinraums repariert. Die Module 8 und 9 entsprechen bereits weitgehend den zukünftigen XFEL-Kryomodulen. Neben anderen XFEL spezifischen Anpassungen wird in diesen Modulen ein supraleitender *super-ferric* Quadrupol mit wärmeleitungsgekühlten Stromzuführungen verwendet und im 2-K-Heliumbad gekühlt.

Die Montage von Modul Nr. 9 erfolgte beim Fermi National Laboratory (FNAL) in den USA. Die MKS Teams unterstützten dabei die FNAL-Kollegen über insgesamt 7 Wochen vor Ort. Anschließend begleitete die Gruppe MHF-sl die Kopplermontage für weitere zwei Wochen. Sämtliche Teile wurden im Vorwege als sogenanntes *Kit* zum FNAL versandt. Die Kavitäten wurden voll ausgerüstet, horizontal getestet und einbaufertig für die String-Montage an FNAL übergeben. Der Funktionstest von Modul Nr. 9 soll im Sommer 2008 beim FNAL erfolgen. Die Messergebnisse von Modul Nr. 9 werden auch für DESY und das XFEL-Projekt von Bedeutung sein, da zum ersten Mal die kompletten Komponenten eines Beschleunigers an einem Ort (DESY) präpariert und getestet wurden, um dann erst an einem anderen Ort zusammen gebaut zu werden. Ein ähnliches Vorgehen ist auch beim XFEL-Projekt geplant, einschließlich des Technologie Transfers und Mitarbeiter Trainings.

Die Montage von Modul Nr. 8 gehörte zur *Industrial Cryomodule Assembly Study* zur Vorbereitung der Serienfertigung der XFEL-Kryomodule (gefördert durch

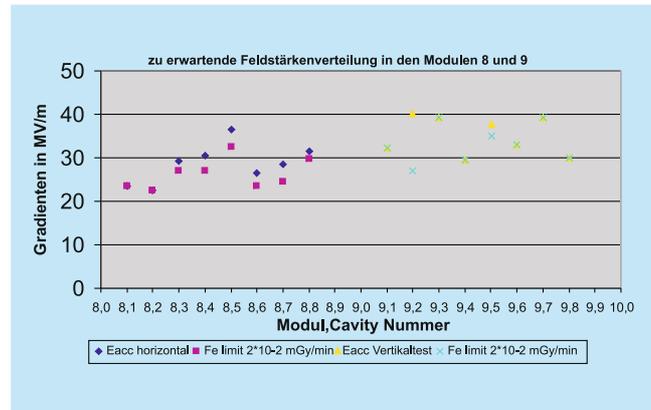


Abbildung 159: Feldgradienten der vertikalen (Modul 8) und horizontalen (Module 9) Hochfrequenzmessergebnisse der Resonatoren in den Modulen 8 und 9.

EUROFEL DESIGN STUDY, Contract No. 011935). Im Rahmen dieser Studie waren Techniker der Firmen ACCEL und Babcock NOELL aktiv an den Montagearbeiten beteiligt. Die Studie hat bereits wertvolle Hinweise für einen optimalen Ablauf der Serienproduktion erbracht. Es ist vorgesehen Modul Nr. 8 im nächsten FLASH Shutdown an der Position ACC7 einzubauen.

Abbildung 159 zeigt die nach den Voruntersuchungen zu erwartenden Beschleunigungsgradienten in den Modulen 8 und 9.

XFEL-Projekt

Magnetpaket für den XFEL

Für das XFEL-Projekt werden ca. 100 Magnetpakete (siehe Abbildung 160) mit Stromzuführungen benötigt, die in die Beschleunigermodule eingebaut werden. Jedes Paket enthält einen *super-ferric* Quadrupolmagneten, d. h. supraleitende Spulen auf einem feldformenden Eisenjoch mit einem Gradienten von 35 T/m bei 50 A. Direkt auf dem Strahlrohr sind zusätzlich zwei einlagige Dipol-Korrekturspulen mit 0,04 T bei 50 A zur horizontalen und vertikalen Strahlablenkung aufgebracht. Die Länge beträgt 30 cm. Der Magnet wird bei 2 K betrieben.



Abbildung 160: Prototyp des supraleitenden XFEL-Magneten mit Strahllagemonitor nach Montage im Reinraum.

Der erste Prototyp eines Magnetpakets ist 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 benutzten Design. Ein weiterer Prototyp ist in Kollaboration mit CERN fertig gestellt worden. Das komplette Paket wird im Rahmen der Tests von Modul Nr. 8 im Frühjahr 2008 erprobt.

Vor dem Einbau in Modul Nr. 8 wurde der Magnet bei DESY bereits intensiv getestet. Zunächst wurde mit Magnetfeldmessungen bei Raumtemperatur die geforderte Feldqualität überprüft. Der dabei nur provisorisch zusammengebaute Magnet wurde dann in Spanien fertig gestellt und danach bei DESY in einem vertikalen Badkryostaten bei Temperaturen von 2 K–4 K getestet. Der Magnet erreichte den Designstrom von 50 A ohne zu quenchen. In Abbildung 161 ist die normierte Feldstärke des Quadrupolmagneten und eines Dipolmagneten als Funktion vom Strom (Transferfunktion) gezeigt. Die Forderung einer geringen Joch-Sättigung beim Quadrupolmagneten wurde mit ca. 3.5% sogar unterschritten. Bei kleinen Strömen zeigen sich besonders beim Dipol nichtlineare Effekte, wahrscheinlich hervorgerufen durch Remanenzen im Eisenjoch und durch supraleitende Wirbelströme. Genauere Untersu-

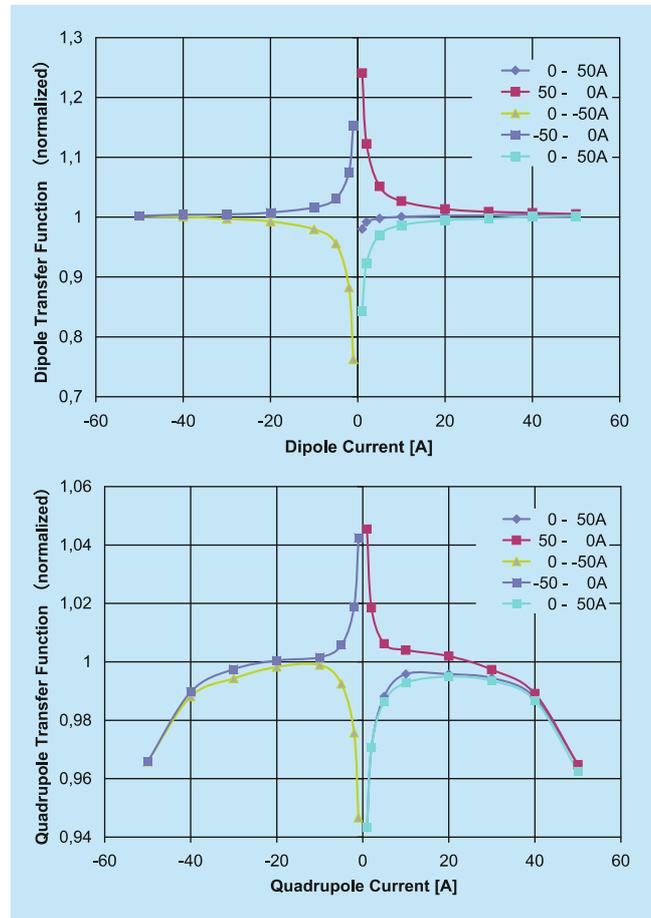


Abbildung 161: Quadrupol- und Dipol-Transferfunktion.

chungen dieser Effekte werden in 2008 in einem speziell konstruierten horizontalen Testkryostaten (XMTS) durchgeführt.

Vor dem Einbau in das Kryomodul wurden mit dem *Stretched Wire*-System die Magnetachslage und der Magnetwinkel genau vermessen. Diese Information wird zur Montage des Strahllagemonitors am Magneten benutzt.

XFEL Magnet Test Stand (XMTS)

Zum Test der Prototypen und der Serienproduktion der supraleitenden XFEL Magnetpakete wird ein spezieller Testkryostat benötigt. Der Magnetteststand wird in der

Magnet Testhalle aufgebaut und wird an die dort bestehende Kryoversorgung angeschlossen. Der Teststand besteht aus einem Heliumpumpensystem und einem Testkryostaten.

Die technische Spezifikation für die Testkryostaten wurde im Januar erstellt. Nach einer europaweiten Ausschreibung wurde der Auftrag an die Firma DeMaCo vergeben. Im Dezember wurde das detaillierte Design des Testkryostaten abgeschlossen. Die Fertigung des Testkryostaten beginnt Anfang Januar 2008.

Die Heliumpumpen wurden ebenfalls spezifiziert, ausgeschrieben und bei Firma LEYBOLD bestellt. Im Dezember erfolgten der Werksabnahmetest und die Lieferung der Pumpen. Erstmals konnte der Datentransfer von der lokalen SPS zum übergeordneten Kontrollsystem bereits bei der Werksabnahme vollständig überprüft werden. Die Inbetriebnahme von XMTS soll in Mitte Mai 2008 stattfinden.

Accelerator Module Test Facility (AMTF)

Alle supraleitenden Kavitäten und kompletten Kryomodule aus der Serienproduktion für das XFEL-Projekt müssen vor dem Einbau in den Beschleunigertunnel auf ihre Funktionstüchtigkeit überprüft werden. Für die Durchführung dieser Tests wird die AMTF errichtet.

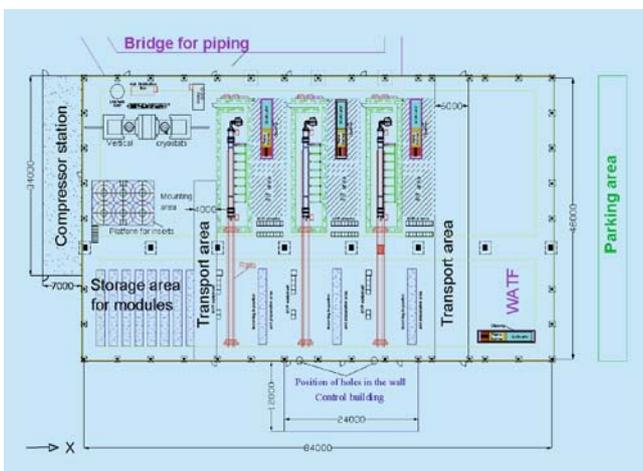


Abbildung 162: Anordnung der Teststände in der AMTF Test Halle.

Im März wurde der endgültige Grundriss der AMTF erstellt (Abbildungen 162 und 163). Die AMTF besteht aus einer Testhalle, einem Pumpenhaus (für die Kühlwasser- und die Druckluftversorgung), einer Heliumpumpenstation sowie einem Kontrollgebäude. Es befinden sich drei Modulteststände und zwei vertikale Kryostaten für Tests der Kavitäten in der Testhalle. Neben dem Test der Kavitäten und Beschleunigermodule werden auch die Hohlleitersysteme vormontiert und getestet. In der Halle sind auch Transport- Montage- und operative Lagerbereiche für Kavitäten, Module und Hohlleiter untergebracht.

Die Unterlagen wie Betriebs- und Baubeschreibung, die für Erteilung der Baugenehmigung notwendig sind, wurden im Zeitraum April-Juli erstellt. Alle Unterlagen wurden im Juli an die Behörde abgeschickt. Im Lauf der Baugenehmigungsprozedur wurden zusätzliche Unterlagen nachgefordert. Voraussichtlich wird die Baugenehmigung Ende Januar 2008 erteilt. Mit Baubeginn ist im Sommer 2008 zu rechnen. Im Zusammenspiel mit den Gebäudeplanungen wurden die Planungen für die Rohrleitungstraßen zwischen AMTF und Kältehalle (Geb. 54) begonnen.

Es wurde eine Rahmenspezifikation für die kryogenischen Komponenten der AMTF erarbeitet. Diese Rahmenspezifikation bildet die Grundlage für die späteren detaillierten Spezifikationen und die *In-Kind* Beiträge der russischen und polnischen Partner am XFEL-Projekt. Für die Verbindungstransferleitung zur Kälteanlage, eine Vorkühlerbox und einen 10 m³ Speichertank für flüssiges Helium gibt es bereits Einzelspezifikationen.

XFEL-Kryomodule

Das Design des XFEL-Beschleunigermoduls konnte abgeschlossen und die Konstruktionszeichnungen erstellt werden (Abbildung 164). Im Herbst wurden die ersten beiden Prototypen des Kryostaten europaweit ausgeschrieben. Die Lieferung dieser Kryostate ist für Herbst 2008 vorgesehen. Da die Beschleunigermodule als Druckbehälter nach der DGRL 97/23/EG zertifiziert sein müssen, wurde der TÜV-Nord im Frühjahr

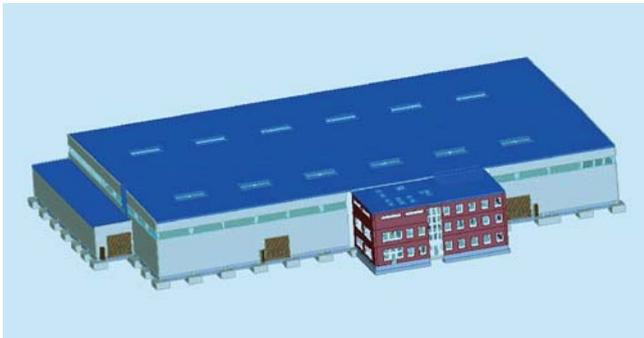


Abbildung 163: 3D-Ansicht der Accelerator Module Test Facility (AMTF).

beauftragt, die Zertifizierung der Beschleunigermodule durchzuführen. Die Baumusterzulassung soll Anfang 2008 erfolgen und der TÜV-Nord wird bereits beim Bau der Prototypkryostaten eingebunden sein und auch die spätere Fertigung der Serie überwachen.

Um den Einbau und die Justierung der Beschleunigermodule in den XFEL-Tunnel simulieren zu können, wurde ein sogenannter *Mock-up* Tunnel gebaut. Für realitätsnahe Tests der Modul/Modul-Verbindungen, des HF-Hohlleitersystems, des Aufhängesystems, sowie der Montage und Justierung in diesem Tunnel wurden zwei Beschleunigermodule *Mock-ups* beschafft. Insbesondere ist die halbautomatische Realisierung der Schweißverbindungen der unterschiedlichen kryogenischen Rohrleitungen und die Herstellung der Strahlrohrverbindung unter Reinraumbedingungen zu tes-

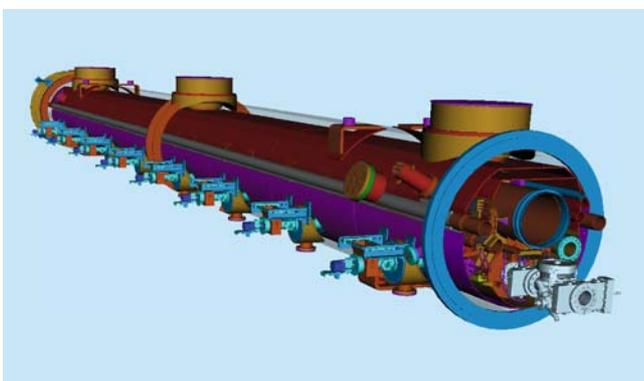


Abbildung 164: XFEL-Kryomodul-Prototyp in 3D-Darstellung.

ten. Für diese Verbindungen finden bereits Versuche an einem kleinen *Mock-up* Modell statt. Eine der größten Herausforderungen dabei ist die Verbindung der 31-mbar-Saugeleitung mit einem Durchmesser von 312 mm unter sehr beengten Platzverhältnissen. Die dafür notwendigen Werkzeuge konnten nur teilweise am Markt beschafft werden, so dass einige Komponenten selbst entwickelt werden mussten. Der erste Prototyp eines extrem kleinen Schweißkopfes wurde konstruiert und gebaut, die ersten Probeschweißungen konnten erfolgreich durchgeführt werden.

XFEL-Kryogenik

Mit aufwendigen Simulationsrechnungen konnte gezeigt werden, dass für die Design-Betriebsbedingungen des XFEL-Beschleunigers eine stabile 2-Phasen-Strömung von flüssigem Helium-II und der bei einer Temperatur von 2 K korrespondierenden Dampfphase zu erwarten ist. Bis zu einer Verlustleistung von 20 W im 2K-Helium-II-Bad in jedem Kryomodul bleiben Flüssigkeits- und Dampfphase getrennt, ohne dass es zu Wellenbildungen und instationären Zuständen kommt. Diese stabilen Kühlbedingungen sind wesentlich für den ungestörten Betrieb der Kavitäten im Beschleuniger.

Für die Komponenten der XFEL-Kryogenik wurde eine Rahmenspezifikation erstellt, welche die Grundlage für die *In-Kind* Beiträge des XFEL-Partnerlandes Russland bildet. Bis auf die XFEL-Heliumkälteanlage und die Infrastruktur werden alle kryogenischen Komponenten des XFEL-Beschleunigers aus Russland beigestellt.

Spezielle Prozess-I/O für Kryo-Anwendungen

In den zukünftigen Anlagen für die XFEL-Heliumkälteversorgung, sowie der Anwendungen in der *Accelerator Modul Test Facility* (AMTF) und im XFEL Beschleunigertunnel werden zunehmend intelligente Prozess-I/O-Komponenten eingesetzt, die über Profibus-DP Feldbusse vernetzt sind. Für diese Anwendungen wurde ein

mit diesem Feldbus kompatibles I/O-System und ein Tieftemperatur-Messmodul entwickelt.

Das System besteht aus einem Kopplermodul sowie aus bis zu etwa 16 speziellen I/O-Modulen, die alle zusammen auf eine 35-mm-Hutschiene aufgesteckt werden können. Das Kopplermodul übernimmt die Stromversorgung sowie den Datentransfer und die Verwaltung der I/O-Module. Die Kommunikation zu den I/O-Modulen wird über einen internen CAN-Bus abgewickelt. Die Entwicklung des Kopplermoduls wurde extern vergeben.

Die I/O-Module des Systems sollen beliebig anreihbar sein. Die Adressen werden automatisch erkannt. Wegen der hohen Anforderungen an die Zuverlässigkeit und dem Wunsch nach einem möglichst unterbrechungsfreien Betrieb der Kälteanlagen, sollen die I/O-Module während des Betriebs ausgetauscht werden können. Sowohl Hardware als auch Software müssen deshalb das sogenannte *Hot-Swap* unterstützen.

Das Temperatur-Messmodul, welches unter Verwendung neuester elektronischer Bausteine ebenso kompakt wie betriebssicher entworfen wurde, ermittelt in erster Linie Widerstände. Aber auch kleine Spannungen können damit gemessen werden. Eine Option für die Temperaturmessung mit kalten Dioden ist vorgesehen. Um Fehler bei der Messung (Eigenerwärmung) zu vermeiden, wird ein sehr geringer Messstrom von 1 μA bis zu 1 mA für sehr kleine Widerstände verwendet. Unipolar wirkende Störgrößen (Thermo-, Offsetspannungen etc.) werden durch eine bipolare Messmethode eliminiert.

Arbeitsschutz

Zur Übersicht des Status und der Fälligkeiten aller für den Arbeitsschutz erforderlichen Unterweisungen und Gesundheitsuntersuchungen für die zzt. 76 ständigen Mitarbeiter/-innen der Gruppe MKS, sowie für Gäste und von der Gruppe MKS beauftragten Mitarbeiter/-innen von Fremdfirmen wurde eine Datenbank erstellt. Der direkte Zugriff auf diese Datenbank ist beschränkt auf die unmittelbar für den Arbeitsschutz verantwortlichen Personen der Gruppe MKS. Zur Freischaltung von

Zugangsberechtigungen für das zukünftige Zugangskontrollsystem werden die benötigten Daten mit der Datenbank des Zugangskontrollsystems ausgetauscht.

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, welche die Versorgung der gesamten Beschleunigeranlagen und die Niederspannungsanlagen für die Gebäudeversorgung umfasst. 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.

HERA

Magnetstrom

Die Netzgeräte liefen gut bis zum Abschalttermin. Danach wurden die Geräte außer Betrieb genommen. Ein großer Teil der Arbeit war das Ausblasen des Kühlwassers aus den Geräten, um Korrosion vorzubeugen.

Senderstrom

Nach der Abschaltung der HERA-Sendeanlagen mussten im Zuge der Bauarbeiten für PETRA III die HVDC-Kabeltrassen für die Sender HERA Ost und Süd gekappt werden. Für eine Wiederinbetriebnahme der betroffenen Senderstandorte zu einem späteren Zeitpunkt, müssten die 100-kV-Muffen für die HVDC-Triaxkabel nachgefertigt werden, da sie am Markt nicht mehr verfügbar sind. Die Suche nach einem Hersteller für die speziellen Muffen erwies sich als sehr schwierig. Mit einem lokalen Hersteller konnte ein Prototyp erfolgreich hergestellt und getestet werden.

Wasserkühlung

Nach der Abschaltung von HERA wurde die Wasserkühlung stufenweise herunter gefahren. Die Kaltwassererzeuger in den externen HERA-Hallen wurden abgeschaltet. Wegen auftretender Leckagen am Kältemittelsystem mussten sie stillgelegt werden, um teure Reparaturen zu vermeiden.

Die Booster- und zwei Hauptpumpen der Wasserkühlung wurden abgeschaltet, um die Pumpleistung zu reduzieren. Das Kühlwasser strömt weiter durch die Rohrleitungen und Magnete im HERA-Tunnel. Durch die zugeführte Pumpleistung hat sich eine Kühlwassertemperatur von 27°C und 22° bis 24°C Lufttemperatur eingestellt. Die Luftfeuchtigkeit bleibt unter 50%. Damit besteht keine Gefahr von Korrosion im Tunnel.

Die Abwärme aus der HERA-Kryoanlage und der Kaltwassererzeugung in Halle West wird über die HERA-Kühltürme abgegeben, wenn ein Überschuss besteht. Es wurden die Kühltürme bis auf vier Stück stillgelegt.

PETRA

Der Beschleuniger lief bis zur Abschaltung am 30. Juni 2007 zuverlässig. Danach wurden die Wasserkühlung, Netzgeräte und Lüftungsanlagen abgeschaltet und demontiert.

DORIS

Die Netzgeräte für die Magnete liefen zuverlässig. Es wurden nur Wartungsarbeiten und Störungen behoben.

Bei DORIS war ebenfalls eine HVDC-Kabeltrasse für den Sender NL durch die PETRA-III-Bauaktivitäten betroffen. Es wurde eine vollständig neue Kabeltrasse aufgebaut. Zum Einsatz kommen kommerziell verfügbare Koaxialkabel für Elektrofilteranlagen. Das alte triaxiale Kabel wurde durch eine zwei koaxiale 80-kV- und 10-kV-Kabel ersetzt. Vorsorglich wurde eine zweite Kabelverbindung zu den HERA-Nord-Senderstromversorgungs Gebäude 42c gezogen.

DESY II und LINAC II

Die technischen Anlagen für die Stromversorgung, Netzgeräte, Wasserkühlung und Klimatisierung liefen zuverlässig. Es wurden die notwendigen Wartungsarbeiten durchgeführt und Störungen behoben.

Mit Ablauf des Jahres 2007 wurden DESY II und LINAC II abgeschaltet. Im ersten Halbjahr von 2008 sollen die Wasserkühlanlagen erneuert werden. Bei DESY II werden die Netzgeräte erneuert. Die Fertigung der neuen Netzgeräte beim Lieferanten in Spanien läuft sehr schleppend. Für den Fall, dass die Netzgeräte nicht rechtzeitig ausgeliefert werden, wurde ein Mischbetrieb mit neuen und alten Netzgeräten ausgearbeitet. Beim LINAC II wird neben der Wasserkühlung auch die Stromversorgung komplett erneuert. Sowohl die 10-kV-Schaltanlage als auch die Niederspannung werden ausgetauscht.

DESY III

DESY III wurde nach dem Ende von HERA komplett stillgelegt. Die Netzgeräte wurden demontiert und verschrottet. Die Wasserkühlung wurde ebenfalls abgebaut und entsorgt.

LINAC III

Der LINAC III wurde abgeschaltet. Die Wasserkühlung und Netzgeräte werden für spätere Testbetriebe erhalten.

FLASH

Die Modulatoren 1–3 sollen in der Zukunft ersetzt werden. Dafür wurden drei Kondensatorladegeräte bestellt.

Es wurden 33 Magnetstromversorgungen ersetzt, weil die Netzgeräte für die jetzigen Optikströme zu groß waren. Die neuen Geräte haben eine digitale Regelung.

PETRA III

In der zweiten Jahreshälfte wurde mit dem Abbau von PETRA II und dem Aufbau von PETRA III begonnen. Die Anbauten in PETRA-Süd, das neue DESY-II-Pumpenhaus und die Erneuerung des LINAC-II-Pumpenhaus verzögerten sich. Die neue Kabine für die Netzgeräte in der PETRA-Halle-NO verspätete sich um drei Monate. Die Verzögerungen müssen bei der Installation der Rohrleitungen, Pumpen, Lüftungsanlagen, Schaltschränke und Netzgeräte wieder aufgeholt werden.

Wasserkühlung

Die alten Alu-Rohrleitungen im PETRA-Tunnel wurden entfernt und durch Edelstahlrohre ersetzt. Es wurden zwei Kühlsysteme für Al-Leiter und Cu-Leiter installiert.

Die Pumpenanlage in Gebäude 42b wurde komplett erneuert. Der Nasskühler bei Gebäude 16 wurde durch zwei hybride Rückkühler bei PETRA-Süd ersetzt. Zwischen den PETRA-Süd-Hallen wurde eine Lärmschutzwand errichtet.

Das Pumpenhaus für die Rückkühlung der Magnete im Tunnel und im neuen Achtel, der neuen Experimentierhalle sowie der Kaltwassererzeuger wurde neben der Halle NO von Fa. Züblin erstellt.

Die Hybridkühler für die neuen Wasserkühlanlagen in PETRA-Süd, DESY, LINAC II und PETRA-Nord-Ost kamen in 4 Teillieferungen aus der Schweiz.

Netzgeräte

Für die Magnetstromversorgung wurden folgende wichtige Komponenten beschafft:

- Umschalter für die redundanten Netzgeräte
- Gleichstromwandler (DCCTs)
- Diodennetzgeräte zur Speisung der Chopper
- Elektronikschränke für die Steuerungen und Chopper

- Speicherprogrammierbare Steuerungen
- Umschalter für das Beam Based Alignment

Die ersten Prototypen der digitalen Regelungen wurden aufgebaut und in Betrieb genommen. Sie werden in der zentralen Elektronikwerkstatt FE bei DESY gefertigt.

Die Prototypen für die Korrektornetzgeräte und 200-A-Chopper wurden getestet.

Senderstrom

Die Arbeiten konzentrierten sich im Wesentlichen auf die Errichtung von zwei neuen Senderstromversorgungsanlagen in PETRA-Süd Geb. 42a & b.

Die Fertigung der 10-kV-Transformatoren, Hochspannungsgleichrichter und Stromrichterschranke wurde im Verlauf des Jahres 2007 abgeschlossen. Nach erfolgreichen Werksprüfungen erfolgte bis zum Jahresende die Auslieferung aller Hauptkomponenten für beide Neuanlagen. Dazu zählen auch die Komponenten zur Ausrüstung der Hochspannungsräume wie Trenner, Erdungsschalter, HVDC-Wanddurchführungen, Filterkondensatoren und Hochspannungswiderstände.

In den erweiterten Gebäuden 42 a & b wurden die Montagearbeiten zur Ausrüstung der Hochspannungsräume begonnen.

Das 10-kV-Stationsgebäude für die PETRA-III-Senderstromversorgung wurde an den neuen Standort umgesetzt.

Die Anlagenkomponenten aus der eigener Fertigung wurden fristgerecht aufgebaut und vorgetestet. Der Einbau in die neuen Betriebsräume wurde begonnen. Dazu gehören zwei LTT-Crowbars einschließlich Ansteuerelektronik für den Senderschutz, zwei Schaltschränke mit der zentralen Steuerungselektronik für Messung, Diagnostik und Netzgerätesteuerung sowie zwei dezentrale Steuereinheiten für sicherheitsrelevante Funktionen im Hochspannungsraum.

Stromversorgung

Der größte Teil der Stromversorgung von PETRA wird Anfang 2008 erneuert. Sie wurde ausgeschrieben und vergeben. Darunter fallen der Tunnel, die Versorgungshallen und die Pumpenhäuser.

Das Notstromaggregat 1 bei Gebäude 16 wurde umgesetzt und die Notstromverkabelung erneuert.

Klimaanlagen

Die Klimaanlagen für die neue Experimentierhalle und für die Labors wurden an ein Ingenieurbüro vergeben. Die Klimaanlagen werden von dem Generalunternehmer der Experimentierhalle geliefert und in Betrieb genommen.

Die Klimaanlagen für den Beschleunigertunnel in der Experimentierhalle wurden ausgeschrieben. Die Lüftungsanlagen mit Lufttrocknung in den alten Tunnelabschnitten wurden installiert. Die Tunnellüfter wurden gegen Entrauchungsventilatoren ausgetauscht. Die Lüftungsanlagen in den Hallen SL und SR, im neuen DESY-Pumpenhaus und im Pumpenhaus NO wurden beschafft.

XFEL

Die Entwurfsplanung für die Versorgungsanlagen von MKK in den Tunneln, Schächten, Hallen und Pumpenhäusern wurde fortgesetzt. Es gab eine große Zahl von Änderungswünschen seitens der Maschinenphysik, deren Rückwirkung auf die Dimensionierung der Anlagen überprüft werden müssen. Dies erforderte eine enge Zusammenarbeit mit der IG, ZBAU und der XFEL-Projektleitung.

Das Tunnellayout wurde überarbeitet. Der Installationsablauf der Pritschen, Kabel und Rohrleitungen im LINAC-Tunnel wurde vorgestellt. Das Tunnellayout der Undulatortunnel steht noch nicht fest, weil das Klimatisierungskonzept noch offen ist.

Die Ausführungsplanung der Wasserkühlung wurde begonnen.

Pulskabel für den XFEL

Das Pulskabel, das mit einer Länge von 1.5 km Länge durch den FLASH-Tunnel bis zum Modulatorstand in der Halle 2 verlegt ist, wurde in Betrieb genommen. Dadurch wird der Betrieb mit einem entfernt aufgestelltem Klystron simuliert, wie er später im XFEL Tunnel realisiert wird. Es traten keine Störungen auf den Betrieb bei FLASH auf. Im Dezember wurde der Test erfolgreich beendet.

Die Planung der Stromversorgung wurde für das Injektorgebäude und die Modulatorhalle und die Planungen für die Lüftungsanlagen vom Injektorbauwerk wurden fortgesetzt. Für die Kollisionsprüfung werden Platzhalter in Solid Edge 3D geplant. Für die Detailplanung der Klima- und Lüftungsanlagen wurde das lufttechnische Modul RoCAD vom CAD-Programm ADT eingeführt.

Die Wärmeversorgung des Schenefelder Geländes mit Fernwärme wurde der XFEL-Projektleitung vorgestellt.

Gebäudemanagement Schleswig-Holstein GMSH

Die Lüftungs-, Klima- und Wärmeversorgungsanlagen werden im Auftrag vom Bundesbauministerium BMVBS durch die GMSH begutachtet. Die Gespräche über den Umfang der Prüfungsunterlagen wurden fortgesetzt.

Infrastruktur

Die Erneuerung der Stromversorgung von Gebäude 1 wurde abgeschlossen.

Die E-Werkstatt wurde für das PETRA-III-Projekt stark eingebunden. Sie übernahm den Bau von zahlreichen kleinen Verteilungen und kleinen Schaltanlagen.

Turnusmäßig wurden Wartungsarbeiten an den Trafos, Notstromaggregaten, Batterie- und USV-Anlagen von der Schaltanlagengruppe von MKK1 durchgeführt.

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

Auch 2007 wurde eine große Anzahl von raumluftechnischen (RLT) Anlagen neu gebaut oder erneuert. Hier die Auflistung der Projekte in 2007:

- Installation diverser Kleinanlagen für Serverräume, Laserräume, Experimentiergebiete
- weitere Umbauplanung und Erweiterung Gebäude 49 zu Bio- und Laserlaboren
- Klimatisierung MIN-Messraum Gebäude 26 Anbau
- Begleitung Umbau Klimaanlage Gebäude 39 nach Gebäude 200 – MPG
- Klimatisierung SER-Raum, Gebäude 20
- Klimatisierung und Wärmeversorgung Lasergebäude FLASH-Gebäude 28g
- Klimatisierung Messraum Gebäude 36
- Klimatisierung Mock-up-Tunnel
- Start PETRA III Umbauten und weitere Planungsarbeit PETRA III

Im Bereich der Wärmeversorgung/Heizung wurden folgende Projekte bearbeitet:

- Wärmeversorgung Kindergarten Geb. 32c
- Wärmeversorgung Lagerhallen Geb. 80a–80e
- Wärmeversorgung und Klimatisierung Aufstockung Geb. 49
- Wärmeversorgung Aufstockung und Erweiterung Schweißerei Geb. 18
- Erneuerung Wärmeversorgung Südanbau Gebäude 26
- Wärmeversorgung Mock-up-Tunnel

Datenbank Anwendungen

Für die Verwaltung der CAD-Projekte wurde eine ORACLE-Datenbank programmiert. Für die neuen Projekte PETRA III und XFEL müssen eine große Zahl von Kabel verlegt und verwaltet werden. Es wurde eine Nomenklatur für die Nummerierung der Kabel eingeführt. Die Verwaltung der Nummern geschieht mit einer ORACLE-Datenbank.

Kollaboration mit dem Physikinstitut in Eriwan YerPhi

Es wurde in Zusammenarbeit mit MKK eine preiswerte Variante eines Heizernetzgerätes inklusive Fernkontrolle entwickelt. Die Ansteuerung, Regelung und Überwachung geschieht mit einem programmierbaren sogenannten Easyrelais.

Maschinen Planung –MPL–

Beschleunigeraufstellungen

Für folgende Maschinen wurden Berechnungen, Konstruktionen und Fertigungsunterlagen erstellt.

PETRA III

Neues Achtel

- PQK-Magnet-Aufstellung auf Betonstein hinter den Girdern
- PQL-Magnet-Aufstellung auf Betonsteinen hinter den Girdern
- PKHS-Magnet-Aufstellung, Ausführung B, auf den Girdern
- Zwischenstücke für CV- und CH-Magnete und Ventilhalterung NW 100

Alte Achtel

- QA1-Magnet-Gestell, 45° gedreht, mit Lenkerjustage
- Ventilhalterung NW 160 auf Betonstein

Übersichtszeichnungen der 7 alten Oktanten und des neuen Achtels für PETRA III wurden fortlaufend bearbeitet. Sie zeigen die neuen Aufstellungskordinaten der Magnete, anderer Komponenten und die Betonsteinpositionen.

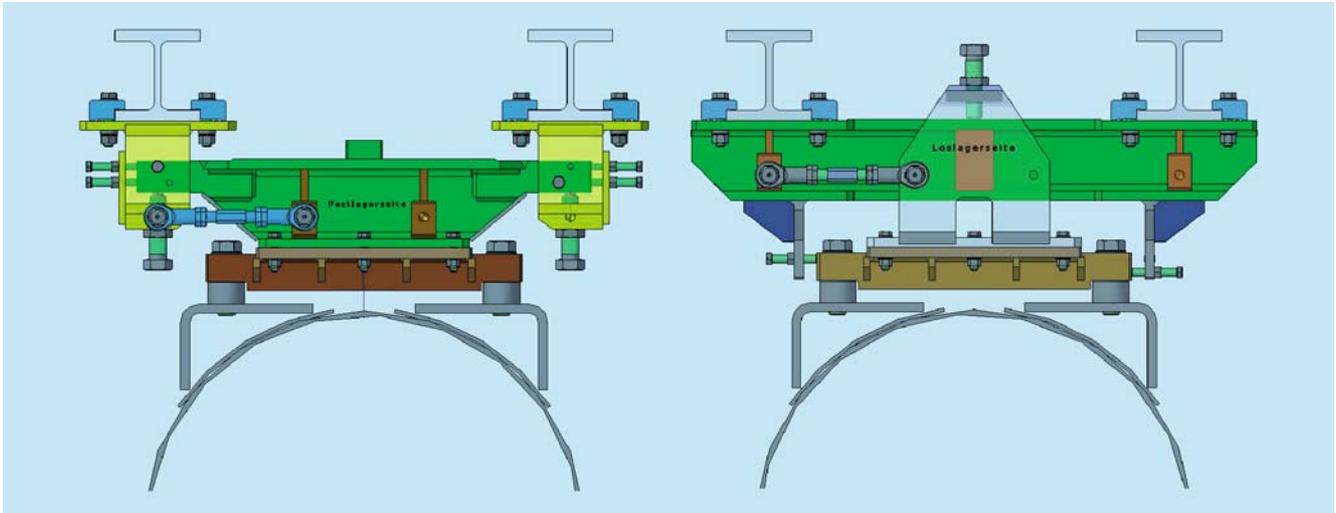


Abbildung 165: Kryostataufhängung für Mock-up, Festpunktseite (links), Lospunktseite (rechts).

16 Aufstellungspläne sind erstellt für Anrisse von Boden und Betonsteinbohrungen aller neu zu installierenden Komponenten.

30 Resonatoren (je 15 von ACCEL und von E. ZANON geliefert worden.

XFEL

Kryostataufhängung Nach den Schwingungsmessungen mit den Prototypen einer Zugstangen- und einer Stehbolzenaufhängung an dem Kryostaten, gab man der Stehbolzenversion den Vorzug. Diese wurde für die *Mock-up*-Installation neu konstruiert (siehe Abbildung 165).

Bunchkompressor 1 Verschiedene Entwürfe (hängend und stehend) wurden als Studien für die Aufstellung der Komponenten auf Girdereinheiten in Kombination mit Betoneinhausung für Elektronik-Racks gezeichnet.

Resonatoren-Fertigung und Werkstoffuntersuchungen

FLASH: Betreuung der Resonatoren-Fertigung bei den Fa. ZANON und ACCEL. Insgesamt sind im Jahr 2007

XFEL

Aufgaben (im Rahmen des WP4, SC Cavity)

Eine neue Spezifikation für die Serienfertigung der XFEL-Resonatoren ist ausgearbeitet worden.

Die HF-Ergebnisse an früher gebauten einzelligen und drei neunzelligen Resonatoren aus großkristallinen Niob Scheiben sind vielversprechend. Acht neue neunzellige Resonatoren aus dem großkristallinen Material sind bei der Fa. ACCEL bestellt worden.

Qualifizierung neuer Niob-Lieferanten. Nach Prüfungen von Niob-Blechen und einzelligen Resonatoren sind zwei Firmen im Rennen geblieben. Der neunzellige Resonator der Fa. Plansee SE (Österreich) hat ca. 40 MV/m erreicht und damit ist die Firma als Niob-Lieferant für XFEL qualifiziert. Die Fa. Ningxia (China) wartet auf die HF-Prüfungen der 3 neunzelligen Resonatoren

CARE/JRA1-Aufgaben

Entwicklung einer Scanvorrichtung für die Nb-Bleche auf SQUID Basis Eine Möglichkeit, die Nachweisgrenze von Defekten im Niob zu verbessern, bieten die SQUID Sensoren. Es wurde in Zusammenarbeit mit der Fa. WSK ein Prototyp einer SQUID Scanvorrichtung für die Nb-Bleche für den XFEL entwickelt, gebaut und Ende 2007 an DESY geliefert. Es wird geprüft, ob eine Apparatur dieser Art für die XFEL Fertigung vorteilhaft gegenüber der Wirbelstromapparatur ist.

Fertigung der nahtlosen Resonatoren In vergangenen Jahren wurde das Verfahren der Fertigung von einzelligen nahtlosen Resonatoren durch Hydroforming entwickelt. Die besten Monozellen haben Beschleunigungsgradienten über 40 MV/m erreicht. Die Fertigung von 9-zelligen Resonatoren aus dreizelligen Einheiten wurde im Rahmen des CARE Programms entwickelt. Der weltweit erste 9-zellige Resonator ist erfolgreich durch Hydroforming gebaut und bei der Fa. E. ZANON komplettiert worden (siehe Abbildung 166).



Abbildung 166: Der erste 9-zellige durch Hydroforming gebaute Resonator.

Labor für Materialuntersuchungen

- Qualitätskontrolle an Niob Blechen und Niob Halbzeugen für Resonatoren

- Zerstörungsfreie RRR-Messungen an Resonatoren in der Halle 3
- Analyse der Verteilung von Verunreinigungen in Niob- und NbTi-Schweißverbindungen
- Wärmeleitfähigkeitsmessungen bei tiefen Temperaturen am großkristallinen Niob
- Qualifizierung von nahtlosen Niob Rohren für Hydroforming (CARE/JRA1)
- Materialdiagnose

Internationaler Linear Collider ILC

Entwicklung der Resonatoren – Fertigung aus dem Einkristall Bei MPL wurde eine Methode zu Herstellung von ein- und mehrzelligen Einkristall Resonatoren in der ILC- oder XFEL-Größe entwickelt. Die Niob Einkristallscheiben werden aus großen Ingot Kristallen durch Walzen gefertigt und so geschweißt, dass bei korrekter Berücksichtigung der Orientierungen die zwei Einkristall Halbzellen zu einer Einkristall-Zelle zusammenwachsen.

Bei Abwesenheit von Korngrenzen in Einkristallen konnte eine spiegelglatte Oberfläche durch einfache chemische Behandlung erzielt werden. Bis jetzt sind zwei einzellige Einkristall Resonatoren der TESLA Geometrie auf diese Weise gebaut und durch Beizen präpariert worden. Die Präparation und die HF Tests wurden bei Jefferson Lab. durchgeführt. Nach 110–140 μm Abtrag durch Beizen (BCP) und *in situ* Backen bei 120°C für 6–12 Std. wurde an beiden Resonatoren ein Beschleunigungsgradient von 37.5–38.5 MV/m erreicht. Die Ergebnisse bestätigen das hohe Potential der Einkristalloption.

Aufbau von Beschleunigern und Experimenten –MEA–

Die Gruppe MEA beteiligt sich an der technischen Projektierung neuer Beschleuniger und Experimente

sowie der Unterhaltung der vorhandenen Anlagen. Dazu gehören die Planung, Koordination und Terminverfolgung der Aufbau-, Umbau- und Wartungsarbeiten. Beim Betrieb der Beschleuniger und Experimente werden in festgelegten Intervallen Wartungs- und Reparaturarbeiten ausgeführt. Die Beschaffung und Montage neuer Magnettypen sowie die geodätische und magnetische Vermessung aller PETRA-III-Strahlführungsmagnete gehören ebenso zum Umfang der Arbeiten wie der Aufbau eines XFEL *Mock-up* Tunnels zur Bau- raumuntersuchung der Maschinenkomponenten und die Festlegung von Installationsplanungen. Der Umbau des PETRA-Beschleunigers zu einer modernen Synchrotronstrahlungsquelle erforderte bei MEA eine aufwendige Planung und die Durchführung komplexer Arbeitsvorgänge. Beim Abbau der Hochenergieexperimente H1, HERMES und ZEUS ist die Gruppe MEA mit Halleningenieuren, dem Hallentransportdienst sowie dem Gaseservice beteiligt.

PETRA III

Mit Beginn der Abbau- und Umbauarbeiten im Juli sind alle Beschleunigerkomponenten aus dem PETRA-Tunnel bis Ende September vollständig ausgeräumt worden. MEA Arbeitsschwerpunkte waren die Projektkoordination der Halleningenieure im Tunnel und den Hallen als auch die Bearbeitung und Bereitstellung der Magnete sowie die Verlegung und Schweißung der Stromschienen. Die Neuaufstellung der Strahlenschutzwände in den bestehenden Hallen wurde von MEA5 durchgeführt. Die alten Dipole sowie die Quadrupole QA und QA1 wurden in Halle 1 mit neuen Spulen bestückt und anschließend einer Endkontrolle unterzogen. An allen Magneten wurden Wasserdruckproben durchgeführt und die elektrische Funktion der Spulenkreise geprüft. Alle Magnete wurden auf dem MEA-Magnetmessplatz bezüglich der Stärke (integriertes Feld, Abbildung 167) und Linearität (Multipole, Abbildung 168) magnetisch neu vermessen. Die Verteilung der Stärken ist gegenüber den Messungen von S. Wolff aus dem Jahre 1978 (Interner Bericht DESY PET-78/06) etwas breiter geworden, aber mit weniger als 1×10^{-3} immer noch als gut zu bezeichnen. Das ge-

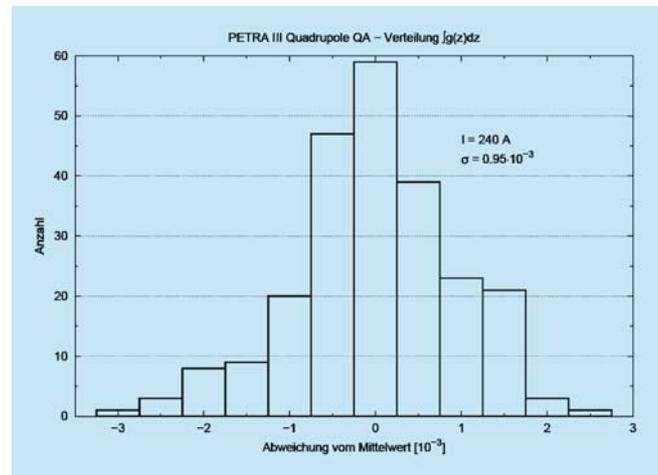


Abbildung 167: Verteilung des Feldintegrals für die QA Magnete.

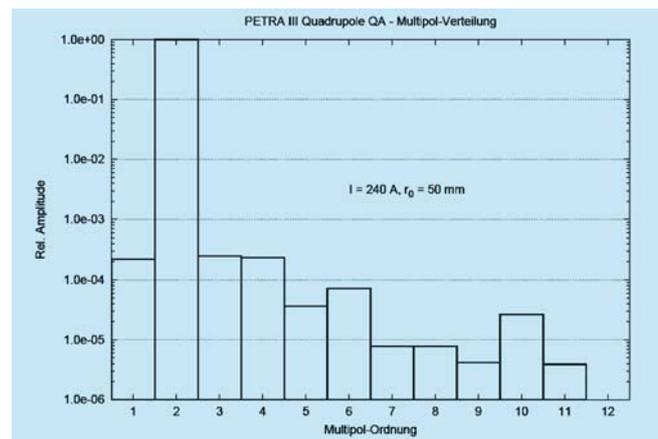


Abbildung 168: Verteilung des Multipolspektrums für die QA Magnete.

mittelte Multipolspektrum ist gegenüber den Messungen des gleichen Autors insbesondere bei höheren Multipolen deutlich besser geworden, was möglicherweise auf die störärmere Messelektronik zurückzuführen ist. Für die QA1 Quadrupole, die sich nur durch ihre größere Länge von den QA unterscheiden, zeigen die Ergebnisse ein ähnliches Verhalten. Darüber hinaus sind bei den neu bespulten Magneten die mechanischen Achsen bestimmt und auf die Vermessungsmarken am Magneten transferiert worden. Bis zum Ende des Jahres konnte MEA alle Strahlführungsmagnete für den PETRA-III-Aufbau wieder bereitstellen. Der Beschleuniger wurde in 3 Oktanten komplett mit Strahlfüh-

rungsmagneten ausgerüstet und justiert. Vier Oktanten sind mittlerweile mit Dipolen neu bestückt. Alle eingebauten Magnete haben die geforderten technischen Spezifikationen und Feldgenauigkeiten erfüllt. Insgesamt sind im Zeitraum eines halben Jahres mehr als 800 Strahlführungsmagnete magnetisch und geodätisch komplett neu vermessen worden.

Im ersten Halbjahr wurden die neuen Sextupoljoche vom Efremov-Institut geliefert und von der MEA4 Werkstatt mit neuen Spulen bestückt. Anschließend sind umfangreiche geodätische, magnetische und elektrische Messungen durchgeführt worden. Zuerst sind die geometrischen Achsen ermittelt und auf die Vermessungsmarken übertragen worden. Die magnetische Vermessung ist Basis für die Maschinenoptik und gleichzeitig eine Qualitätskontrolle. Die elektrische Funktionsprüfung der Spulenkreise mit abschließendem Hochspannungstest dient als redundante technische Prüfung.

Die 14 gedrehten Quadrupolmagnete PQG (*Skew Quads*) für die alten Achtel in PETRA sowie alle in 2006 bestellten Korrekturmagnete PKV, PKH und PDB für die Orbitkorrektur sind zum Jahresende 2007 geliefert worden. Die umfangreichen Untersuchungen an den Prototypen der *schnellen* Korrekturmagneten (PKVS, PKHS, PKSA) wurden in Zusammenarbeit mit MSK erfolgreich abgeschlossen. Die in Serie gefertigten Korrektoren werden voraussichtlich im Februar 2008 geliefert.

Die 68 POK-Quadrupole und die 17 PQL-Quadrupole für das neue Achtel des Beschleunigerrings sind rechtzeitig bis zur Jahresmitte geliefert worden. Entgegen der gewöhnlichen messtechnischen Vorgehensweise, wie oben beschrieben, wurde mit einem neuen Messverfahren die magnetische Achse des Quadrupols auf die Vermessungsmarken referenziert und übertragen (Abbildung 169). Mit einer rotierenden Messspule, bestehend aus zwei separaten Wicklungen, wird die magnetische Achse des Quadrupols bestimmt. Zwei optische Messkugeln sind an den Enden der Messspule positioniert. Während der Rotation bewegen sich die Kugeln auf Kreisbahnen. Die Mittelpunkte der Kreisbahnen definieren sehr präzise die Achse der Spule.

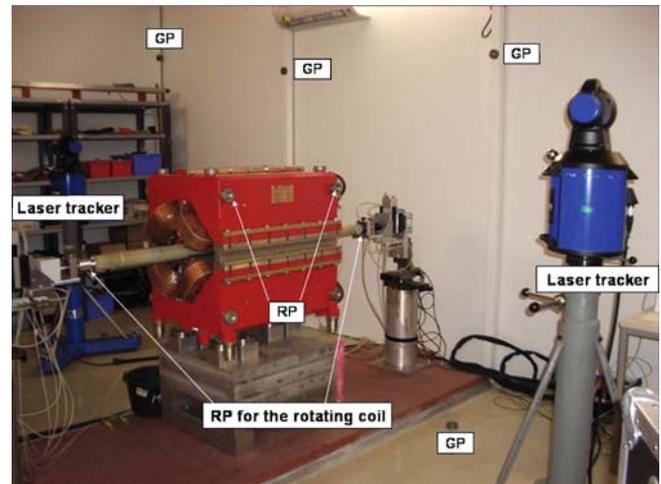


Abbildung 169: Aufbau zur Bestimmung der magnetischen Quadrupolachse mit direkter Referenzierung zu den Vermessungsmarken auf dem Magneten.

Wenn die mechanische Achse der rotierenden Messspule mit der magnetischen Achse des Quadrupols übereinstimmt, sind die Dipol-Anteile im Fourierspektrum der induzierten Spannung minimiert. Mit Laser-Trackern in einer klimatisierten Kabine und einem ausgedehnten Netz der Vermessungsmarken kann die magnetische Achse mit einer Genauigkeit von $\sigma \sim 20\mu\text{m}$ auf die Messmarken am Magneten übertragen werden.

Die spätere Lage der Magnetachsen zueinander auf den Girdern soll in einem Bereich von $\sigma \sim 50\mu\text{m}$ liegen und kann mit einfachen und preisgünstigen Stellelementen erreicht werden. Alle POK-, PQL- und Dipolmagnete für das neue Achtel sind magnetisch vermessen und für den Girderaufbau vorbereitet worden. Von den 34 Girdern für das neue Achtel sind 30 Girder im Berichtszeitraum geliefert und 22 mit Magneten bestückt worden. Die Magnete werden nach einer aufwendigen geodätischen Messprozedur auf den Girdern verklebt. Hierfür wurden umfangreiche systematische Klebeversuche durchgeführt. Die Strahlenbeständigkeit des Epoxy-Klebers und die Beständigkeit einer kraftschlüssigen vollflächigen Verbindung wurden bei der GKSS untersucht. In einer Zugvorrichtung wurden bestrahlte und unbestrahlte Proben miteinander verglichen. Die Bestrahlung der Proben endete bei 100 000 Gy bei einer Dosisleistung von 1350 Gy/h bzw. 140 Gy/h. Abschlie-



Abbildung 170: Ausschnitt aus dem Beschleunigerkomplex PETRA III im 3D CAD-Modell.

End bleibt festzuhalten, dass die Exemplarstreuung der unbestrahlten Proben signifikanter war als der Einfluss der Bestrahlung. Die Versagensgrenzen lagen zwischen 24 kN und 73 kN, deutlich oberhalb der geforderten Belastungsgrenzen.

Im Berichtszeitraum wurden einige spezielle Einzeluntersuchungen für PETRA III Magnete durchgeführt. Ziel war u. a. die Messung des lokalen Hystereseverhaltens der Dipole bei sehr kleinen Erregungsänderungen, um diese Informationen für ein Orbitkorrekturprogramm bereitzustellen.

Das bei MEA1 erstellte PETRA-III-Gesamtmodell im CAD umfasst alle Magnete in den Oktanten inklusive der BUDKER-Dämpfungswiggler und deren Gestelle. Im neuen Achtel ist der aktuelle Planungsstand komplett abgebildet (Abbildung 170). Das Vakuumsystem der Maschine und der Anschluss der Experimente im Tunnelbereich sind ebenso detailliert dargestellt wie alle Gewerke auf den Girdern und die Halleninfrastruktur mit Wasser-, Klima- und Stromversorgung. Die geodätische Vermessung aller Komponenten wurde bei der Bauraumuntersuchung genauso geprüft und modelliert wie die Diagnostikbeamline und die Experimente-Sektoren. In den alten Oktanten sind die Vakuumkammern teilweise eingepflegt. Die Hallen Nord-Ost und Ost sowie die Versorgungshallen 42a und 42b sind modelliert worden.

Für die Vakuumgruppe MVS sind im Rahmen des PETRA III Projektes von MEA6 die bestehende Gasversorgung des Vakuumofens in Gebäude 10 für die

Gase Argon und Stickstoff/Wasserstoff erweitert sowie die Gasversorgung der neuen Sputteranlage für die Gase Argon, Stickstoff und Helium projektiert und gebaut worden. Darüber hinaus wurde für die bestehende Lötanlage die Gasversorgung modifiziert, das benötigte Mischgas (97.2% Argon und 2.8% Wasserstoff) hergestellt und beim Lötvorgang mehrfach das Restgas auf den Sauerstoff- und Wassergehalt analysiert.

DORIS

Die Umsetzung der Sicherheitsanforderungen des Strahlenschutzes für die Synchrotronstrahlungsnutzer von DORIS haben auch dieses Jahr wieder umfangreiche Planungen und Installationsarbeiten an den Personeninterlockanlagen der Experimentierplätze und der Hallenwarnanlagen erforderlich gemacht. An HASYLAB 3 sind für die redundanten zweiten Interlocksysteme neue Komponenten entwickelt und geprüft worden. In den Wartungsintervallen sind die Fächer W-A, B-C und G sowie das Hauptgebiet 4 D komplett mit dem neuen Personeninterlocksystem ausgerüstet worden. Ferner wurden das Einzelgebiet Strahl X bei HASYLAB 2 und die beiden Nebengebiete von BW 7 an HASYLAB 5 erneuert.

Die Hallenwarnanlage HASYLAB 1-6 wurde erneuert. Die Anlagenplanung, der Aufbau, die Programmierung der Steuerungssoftware sowie die Anbindung der Warnanlage an das Kontrollsystem des Technischen Notdienstes und des FS-Bereiches mit einem ProfiBus- und Ethernetnetzwerk führte MEA3 durch. In Zusammenarbeit mit MCS und FS-BT wurde die Realisierung eines Kontrollsystems basierend auf TINE für HASYLAB unterstützt. Die Gaswarnanlagen sind Bestandteil der Hallenwarnanlagen und werden routinemäßig oder nach Bedarf kontrolliert und die Sensoren justiert. Im Rahmen der Umbauarbeiten sind die Gaswarnanlagen generalüberholt und teilweise erweitert worden.

DESY-II-Teststrahlen

Im Berichtszeitraum 2007 wurden an den Teststrahlen 13 Experimentiergruppen betreut. Der Anteil der

auswärtigen Gruppen betrug ca. 70%. Verteilt auf die drei Beamlines sind insgesamt 62 Wochen Strahlzeit (davon 26 für auswärtige Gruppen) vergeben worden. Durch den bevorstehenden 8-monatigen Wartungsblock im Jahr 2008 und die Arbeiten an der EUDET-Infrastruktur war das Interesse gegen Ende des Jahres sehr hoch. Am EUDET-Projekt wird sich der FH-Bereich in Zukunft stärker an der Betreuung der Nutzer beteiligen. Aus diesem Grund konnte die Strahlzeit- und Sicherheitskoordination, zur Entlastung von MEA, abgegeben werden. Die Planung für die Erneuerung des Teststrahlvakuumsystems im Jahr 2008, wie z. B. der Einbau der neuen Konverter sowie die motorisierten Kollimatoren und Strahlverschlüsse, geschahen in Zusammenarbeit mit der Gruppe MVS. Die Verwendung vertikaler Dipolfelder im Teststrahlgebiet hat in den letzten Jahren abgenommen. Deshalb konnte einer der beiden 80 Tonnen schweren Funkenkammermagnete vom Typ MD als Vorwärtsspektrometer für das Crystal-Barrel-Experiment in Bonn zur Verfügung gestellt werden. Der zweite MD-Magnet steht weiterhin im Teststrahl 21 den Experimentatoren zu Verfügung.

FLASH

Im zweiten Quartal 2007 fand ein Umbau des Beschleunigers statt. Die Organisation der Arbeiten vor Ort wurde durch den Halleningenieur wahrgenommen. Die Lagebestimmung der kalten Massen in den Beschleunigermodulen, die Vermessung und Positionierung der drei Module ACC3, ACC5 und ACC6 im Tunnel, die magnetische und geodätische Vermessung von Sondermagneten und deren Einbau in den Beschleunigerkomplex waren Bestandteil der Arbeiten.

Für die magnetische Vermessung des Infrarot-Undulators, der Optical-Replica-Undulatoren, eines PIZ-Solenoiden und der TQG-Magnete mit hochwertigen weichmagnetischen Werkstoffen wurden Magnetmessstände aufgebaut sowie wissenschaftlich-technische Expertise bei der Durchführung der Messungen zur Verfügung gestellt. Eine bei MEA gefertigte, einseitig gelagerte Messspule von nur 10 mm Durchmesser erlaubt jetzt die Lagemessung der magnetischen Achse in

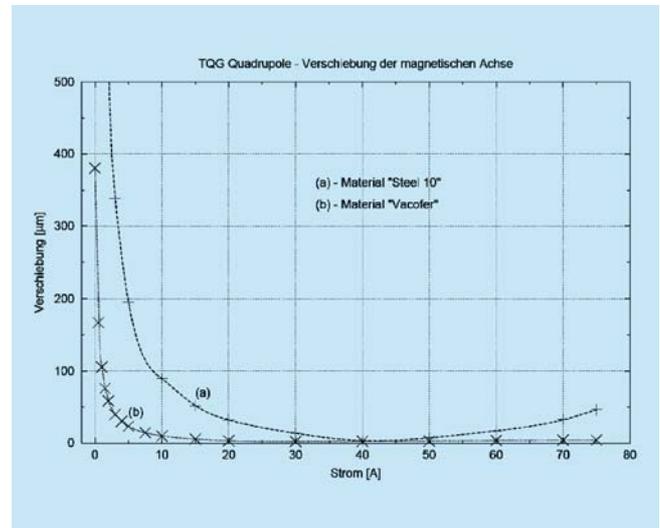


Abbildung 171: Exemplarischer Vergleich des TQG-Magnettypen mit verschiedenen Eisensorten.

den TQG-Magneten. Dieses Verfahren wird bevorzugt eingesetzt, um zu klären, ob der Einsatz von speziellen, remanenzarmen Magneteisensorten und neuer Fertigungsverfahren das Wandern der magnetischen Quadrupolachse bei niedrigen Erregungen verhindert.

Die TQG Quadrupole haben eine relativ starke Rest-Magnetisierung (Remanenz), die dazu noch ungleichmäßig über die 4 Pole verteilt ist und bei niedrigen Strömen zu einer Verschiebung der magnetischen Achse um bis zu 1 mm führt. Erste Messungen an Prototypen, gefertigt aus Eisensorten mit besonders geringer Remanenz, zeigen, dass dieser störende Effekt um eine Größenordnung verringert werden kann (Abbildung 171).

Im Rahmen der Umbauarbeiten sind im FLASH-Gebäude 28 für die Strahlidiagnoseexperimente EOS und Optical Replica verschiedene Laserinterlocks für die Betriebssicherheit des Beschleunigers konzipiert und aufgebaut worden. Ein drittes System wird für die Entwicklung von Timing und Synchronisationsaufbauten eingesetzt. Außerdem sind in der FLASH-Experimentierhalle die bestehende Laserinterlocksteuerung nochmals erweitert sowie der Aufbau eines Personen- und Anlagen-Interlocksystems für den infraroten Laserstrahl geplant und für den Aufbau vorbereitet worden.

Nach dem erfolgreichen Bau und Betrieb eines Strahlmonitors für den Bunch-Kompressor BC2 im letzten Jahr sind weitere Monitore für den BC3, bestehend aus einer gelöteten Kupferkammer mit zwei Antennen konstruiert und gefertigt worden, ebenso wie zwei weitere OTR-Schirmhalter.

Die SASE-Undulatoren benötigen für den optimalen Betrieb eine konstante Umgebungstemperatur. Der Einsatz von Glasfasersensorsystemen zur Temperaturmessung in Beschleunigern ist neu und wurde im Bereich der SASE-Undulatoren am Trägersystem installiert. Dieses System minimiert den Installationsaufwand bei ausgedehnten Objekten und erreicht eine relative Messgenauigkeit von 0.1°C über die gesamte Faserlänge bei einer Messzeit von ca. 5 Minuten. Der Abstand der Messpunkte beträgt 1 Meter. Zurzeit sind zwei Aufbauten in der Erprobung. Die technisch aufwendigere Variante mit an beiden Enden der Glasfaser gemessenen Signalen und anschließender Korrektur der durch ionisierende Strahlung induzierten optischen Dämpfung basiert auf kommerziell erhältlicher Messtechnik. Die zweite, preiswertere Variante bedient sich eines mathematischen Algorithmus zur Kompensation der induzierten Strahlung. Ein Vergleich und eine Bewertung der beiden Verfahren werden erst im Februar 2008 möglich sein. Die Erfahrungen mit diesen neuen Messmethoden können zukünftig auch für den XFEL genutzt werden.

XFEL

Die Auslegung und Magnetbestückung der jeweiligen XFEL-Beschleunigerabschnitte wurden in diesem Jahr von der Gruppe MPY überarbeitet und konkretisiert. Damit konnte die Anzahl der Magnetfamilien reduziert, und die zukünftige Magnetproduktion auf eine wirtschaftliche Grundlage gestellt werden. In einer weiteren Studie sind die späteren Betriebskosten betrachtet und in der Auslegung der Magnete berücksichtigt worden. Die Spezifikation aller Quadrupole ist so gestaltet, dass die Serienmagnete ohne erhöhten technischen Aufwand hergestellt werden können. Einzige Ausnahme sind die QA-Magnete für den Undulatorbereich.

Die Bunch-Kompressor-Dipole müssen wegen der starken dispersiven Aufweitung des Elektronenstrahls sehr hohe Feldqualitäten von 0.1 Promille aufweisen. Der Bau von Prototypen ist für 2008 geplant.

Hauptaufgabe bei der Planung der *Accelerator Modul Test Facility* (AMTF) Halle ist die konzeptionelle Auslegung der Halle und der angrenzenden Infrastruktur. In Zusammenarbeit mit dem zukünftigen Betreiber MKS sind Detaillösungen erarbeitet worden, wie z. B. die LKW-Abfertigung und der Transport der Module in die Teststände hinein sowie die Auslegung des Kontrollgebäudes. Die Konzeption der fahrbaren Abschirmung für die vertikalen Kryostaten wurde entwickelt und ein Sonderfahrzeug (*Super Pusher*) zur Bewegung der Abschirmung und der Module erfolgreich getestet. MEA1 unterstützt die Hallenauslegung bei der Erstellung eines 3D-CAD-Modells. MEA2 hat für die AMTF Halle das Vermessungsnetz für die Bauarbeiten und die spätere Hallenausrüstung in Lage und Höhe erstellt.

Im Rahmen des Beschleuniger Versuchs- und Entwicklungsprogramms von MHF-sl wird ein Schneestrahleinreinigungssystem zur Reinigung von NIOB-Kavitätenoberflächen mit Kohlendioxidgas benutzt. Um optimale Reinigungsergebnisse zu erzielen, muss das Kohlendioxidgas mit einem konstanten Druck von 58 bar bei einem Durchfluss von 18 kg/h zur Verfügung gestellt werden. Der Gaseservice MEA6 hat die Anlagentechnik soweit verbessert und erweitert, dass optimale Reinigungsergebnisse erzielt werden konnten.

Für die Justierung der Photonenstrahlen wird bei MEA2 ein Alignmentsystem mit optischer Referenzgeraden (Laser) entwickelt, das die Übertragung der Geradheitsinformation über bis zu 1 km Länge ermöglichen wird. Damit können Maschinenkomponenten relativ zueinander justiert werden, obwohl sie bis zu 1 km voneinander entfernt liegen. Gegenwärtig ist ein Aufbau des Messsystems nur auf kurzen Distanzen möglich. Es wurde bereits eine Auflösung der Geradheits-Messung von ca. $3\ \mu\text{m}$ erreicht.

Im Rahmen des Arbeitspaketes *Tunnelinstallation* konnte der XFEL-Installations-Testtunnel (*Mock-up*) im Berichtszeitraum erstellt werden (Abbildung 172). Der Innenausbau mit den verschiedenen Gewerken wurde ko-



Abbildung 172: XFEL-Testtunnel während der Bauphase im Frühjahr.

ordiniert sowie die ersten Installationen durchgeführt. Die Deckenanbindung für die Modultankaufhängung ist konstruiert und im Dezember montiert worden. Ferner wird im Januar 2008 ein Probetank (ohne kalte

Masse) angehängt und anschließend die Schwingungsmessung beginnen. Ein weiterer Arbeitsschwerpunkt war die Beschaffung des Spezialtransportfahrzeuges für den XFEL-Tunnel. Im engen Kontakt zum Hersteller sind die technischen Details der mechanischen Konstruktion und das Konzept der elektronischen Steuerung festgelegt worden. Das Fahrzeug wird voraussichtlich im März 2008 geliefert.

OPERA-Experiment

Für den im Gran Sasso Labor installierten Neutrino-Detektor des OPERA-Experiments justierte MEA2 die Schablonen zur Halterung der Driftröhren für alle einzelnen Röhrenpakete. Nach den Feinjustagen dieser Lochblenden werden die Aluminium-Driftröhren eingeschoben und verklebt. Im Jahr 2006 waren 150 Driftröhren und bis April 2007 die verbliebenen 50 Driftröhren vollständig bearbeitet.

Strahlenschutz

Die DESY Strahlenschutzgruppe ist zusammen mit den Strahlenschutzbeauftragten bei DESY für die Umsetzung der gesetzlichen Vorschriften, Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) und Röntgenverordnung (RöV), und behördlichen Genehmigungen und Auflagen verantwortlich. Es ist ihre Aufgabe, diese Vorschriften durch verschiedene Maßnahmen im Sinne der Sicherheit und Gesundheit der DESY Mitarbeiter durchzusetzen. Zu diesen Maßnahmen gehören u. a. die Abschirmungen der Beschleuniger und Experimentiergebiete zu planen und zu kontrollieren, die Interlocksysteme zu entwerfen und regelmäßig gemäß den Vorschriften zu prüfen sowie Kontrollen radioaktiver Stoffe und Strahlenschutzunterweisungen der Mitarbeiter durchzuführen. Weiterhin werden bei DESY Personen- und Ortsdosen gemessen und 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 festgelegten Grenzwerte nicht überschreiten. Die Strahlenschutzgruppe und die Strahlenschutzbeauftragten müssen dies ebenso überwachen wie auch durch gezielte Unterweisungen darauf hinwirken, dass jeder Mitarbeiter seine eigene Verantwortung beim Umgang mit ionisierender Strahlung wahrnimmt.

Organisation des Strahlenschutzes bei DESY

Das DESY Direktorium, welches in Person des Direktors des Maschinenbereiches vertreten wird, ist der Strahlenschutzverantwortliche im Sinne der StrlSchV. Der Leiter der Strahlenschutzgruppe und dessen Vertreter sind als Strahlenschutzbevollmächtigte das entsprechende Bindeglied zwischen dem Strahlenschutz-

verantwortlichen, den Strahlenschutzbeauftragten und der Aufsichtsbehörde. Es gibt bei DESY 51 Strahlenschutzbeauftragte, welche sich in 29 Arbeitsbereichen die Verantwortung für Personengruppen und räumliche Bereiche so aufteilen, dass alle diese Gruppen und Bereiche uneindeutig abgedeckt sind und keine Lücken oder Überschneidungen entstehen. Die Strahlenschutzbeauftragten verfügen über eine entsprechende Fachkunde und tragen die Verantwortung in ihren Gruppen und Bereichen. 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 1 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 für Photonen (Ionisationskammern) und Neutronen (Rem-Countern mit BF₃-Zählrohr), welche in der Lage sind, bei Überschreitung eines bestimmten Alarmschwellwertes der Dosisleistung, in den Beschleunigerbetrieb aktiv einzugreifen. Diese Detektoren sind vorwiegend an Stellen positioniert, an denen eine höhere Dosisleistung möglich erscheint.

Das Gelände wird derzeit an 274 Stellen mit integrierenden passiven Festkörperdosimetern und an 84 Positionen mit aktiven Geräten überwacht. Alle Messwerte werden für das jeweils zurückliegende Jahr in einem internen Bericht veröffentlicht. Für die erste Hälfte des Jahres 2007 haben sich die gemessenen Ortsdosen gegenüber den Werten von 2006 in Bezug auf die Betriebsdauer der einzelnen Beschleuniger und die in den einzelnen Maschinen erreichten Ströme nur unwesentlich verändert, was auf einen sehr reibungslosen und relativ verlustfreien Betrieb der Beschleuniger schließen lässt. Nach dem Abschalten von HERA und der Protonenkette (LINAC III, DESY III, PETRA II) in der zweiten Hälfte des Jahres 2007 haben die entsprechenden Ortsdosen aufgrund des alleinigen Elektronenbetriebes signifikant abgenommen.

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 wird von der Messstelle der GSF (Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit) in Hamburg durchgeführt, während

die Bereitstellung und Auswertung der Kernspur-Detektoren für Neutronen vom Paul-Scherrer-Institut (PSI) in Villigen (Schweiz) übernommen wurde. Festkörperdosimeter wie auch Kernspur-Detektoren werden bei DESY im 2 Monatsrhythmus getauscht.

Im Jahre 2007 wurden regelmäßig ungefähr 1340 Personen überwacht. Dazu kamen pro Überwachungsperiode noch ca. 110 Gäste, die nur kurzzeitig bei DESY arbeiteten. Insgesamt wurden im Mittel alle 2 Monate jeweils 1451 Dosimeter für Photonen und für Neutronen verteilt und deren Auswertergebnisse in einer Datenbank den gesetzlichen Vorschriften entsprechend archiviert. Im Zeitraum November 2006 bis Oktober 2007 wurden auf 25 Dosimetern (von insgesamt 17412 Dosimetern) Dosen registriert, die über den Nachweisschwellen von 0.1 mSv (Photonendosimeter) bzw. 0.5 mSv (Neutronendosimeter) lagen. Die höchste Personenjahresdosis betrug 1.2 mSv, die zweithöchsten 0.1 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.

Umbau von PETRA und Abbau der HERA-Experimente

Der zweite Teil des Jahres 2007 stand auch für den Strahlenschutz ganz im Zeichen der Um- und Abbaumaßnahmen bei DESY. Hierbei musste sowohl beim Umbau von PETRA II zu PETRA III wie auch beim Abbau der HERA-Experimente sichergestellt werden, dass keinerlei radioaktiven Komponenten das DESY-Gelände verlassen. Hierzu wurde ein Formalismus erarbeitet, mit dem man vorab sehr genau zwischen *potentiell radioaktiven Komponenten* und *sicher nicht radioaktiven Komponenten* unterscheiden konnte. Ferner wurde jede Schrottabfuhr der *sicher nicht radioaktiven Komponenten* erfasst und durch Messung mit einem sogenannten Portal Monitor an der Ausfahrt nochmals sichergestellt, dass keine Radioaktivität DESY verlässt. Alle *potentiell radioaktiven Komponenten* wurden ent-

weder mit Hilfe einer speziellen Freigabegenehmigung freigegeben oder entsprechend konditioniert und zum Abklingen eingelagert.

Detektorentwicklung

Um beim Betrieb der neuen geplanten Beschleunigeranlagen bei DESY wie auch weltweit (PETRA III, XFEL, ILC) geeignete aktive Dosisleistungsmesssysteme für gepulste Strahlung zu haben, wurden zur Messung der Photonendosisleistung und der Neutronendosisleistung einige Systeme bei DESY getestet. Aus den verschiedenen Systemen die für diesen Zweck untersucht wurden, wie unter anderem das DIS-System der Firma RADOS als aktives Dosimeter zur Messung der Photonendosisleistung; eine speziell aufbereitete Ionisationskammer der Firma BERTHOLD für gepulste Photonenstrahlung; Blasendosimeter der Firma Framework Scientific zur Messung der Neutronendosisleistung wie auch ein Aktivierungsdetektor, der in einer Zusammenarbeit zwischen DESY und der Firma BERTHOLD entwickelt wurde, wurde schließlich der Aktivierungsdetektor ausgewählt und um die Option der Messung von Photonenfeldern sowie von nicht gepulsten Neutronenfelder ergänzt.

Dieses von A. Leuschner (DESY) entwickelte Kohlenstoffaktivierungsdosimeter (Abbildung 173) besteht aus einem Plastik-Szintillator und nutzt die Aktivierungsreaktion $^{12}\text{C}(n,p)^{12}\text{B}$ durch Neutronen mit mehr als 13 MeV Energie aus. Der Zerfall des ^{12}B mit einer Halbwertszeit von 20 ms ergibt nach einem 1 ms langen XFEL-Puls ein deutliches exponentielles Signal. Auch thermische Neutronen treten im Zeitspektrum mit Halbwertszeiten von weniger als 2 ms auf und lassen sich so vom ^{12}B -Spektrum trennen. Zwei Patente sind hierzu beim Deutschen Patent- und Markenamt angemeldet. Das Dosimeter besteht im Wesentlichen aus einem ^3He -Proportionalzählrohr in einem Moderator und einem aufgesetzten Plastik-Szintillator. Die Auslese erfolgt mit einem Flash-ADC System der Firma STRUCK. Der Prototyp konnte im Sommer 2007 erfolgreich getestet werden. Das endgültige Produkt

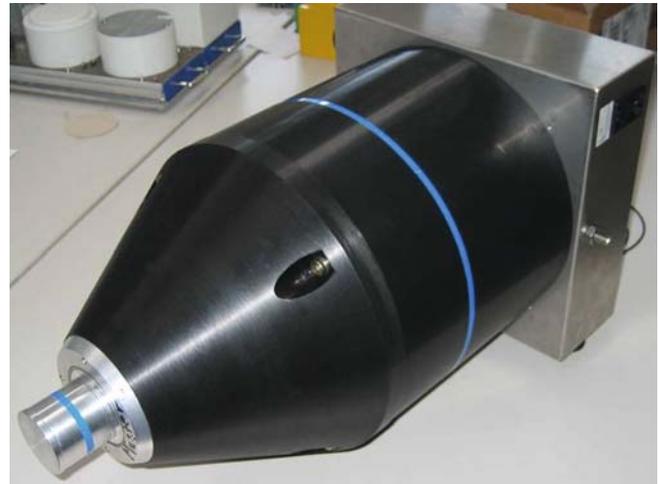


Abbildung 173: Das bei DESY entwickelte Kohlenstoffaktivierungsdosimeter

soll Mitte 2008 von der Firma BERTHOLD fertig gestellt werden und wird dann erstmals bei PETRA III eingesetzt.

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 abgeänderten und den neuen Gegebenheiten angepassten Strahlenüberwachungsanlage. Auffällig im Berichtszeitraum waren die teils hohen Strahlungsanteile durch Dunkelstrom seitens des Injektors (Gun). Hier führten ein Wechsel der Gun-Kathode sowie geometrische Veränderungen und der Einsatz eines Kollimators zu einer deutlich besseren Situation.

Arbeiten für PETRA III

Für das Projekt PETRA III konnten im Jahre 2007 die detaillierten Abschirmungsmaßnahmen für die Optik- und Experimentierhütten in Zusammenarbeit mit einem japanischen Kollegen von SPRING8 abgeschlossen

werden. Diese gingen in den Sicherheitsbericht für das Projekt PETRA III ein. Der Sicherheitsbericht ist das zentrale Dokument für die Genehmigung einer solchen Anlage und dient der Aufsichtsbehörde als so genanntes Pflichtenheft zur Überprüfung der Vollständigkeit und Richtigkeit aller relevanten Sicherheitsmaßnahmen. Der Sicherheitsbericht für PETRA III wurde Anfang 2007 der Aufsichtsbehörde vorgelegt. Die Erweiterung der Betriebsgenehmigung wird entsprechend dem Baufortschritt im Laufe des Jahres 2008 erwartet.

Arbeiten für den XFEL

Auch im Jahr 2007 wurde intensiv an der Konkretisierung der Bauplanung 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 gleichzeitig auf der anderen Seite den Betriebsablauf optimal gestalten und die Kosten möglichst minimal halten.