

Beschleuniger

Inhalt

Speicherringanlage HERA	165
Speicherring DORIS III	173
Die Vorbeschleuniger	175
Freie-Elektronen-Laser FLASH	179
Die zukünftige Synchrotronstrahlungsquelle PETRA III	183
Planungen und Untersuchungen für den Röntgenlaser XFEL bei DESY	185
Aktivitäten in Zeuthen	189
Arbeiten der Gruppen des Bereichs Beschleuniger	193
–MIN– Injektion / Ejektion	196
–MHF– Hochfrequenztechnik	200
–MST– Software und Technik zur Kontrolle von Beschleunigern	206
–QP– Projektgruppe Quenchüberwachung	209
–MPS– Personen-Sicherheitssysteme	209
–MDI– Diagnose und Instrumentierung	211
–MSK– Strahlkontrollen	216
–MVA– Vakuum	218

–MVP– Protonenvakuum	221
–MKS– Kryogenik und Supraleitung	224
–MKK– Energieversorgung	234
–MPL– Maschinen Planung	240
–MEA– Aufbau von Beschleunigern und Experimenten	242
Strahlenschutz	249

Speicherringanlage HERA

Übersicht über das Betriebsjahr

Die guten Ergebnisse des Elektron-Proton Kollisionsbetriebes von HERA in 2005 wurden zu Anfang des Betriebsjahres 2006 noch übertroffen. In der Winterbetriebspause 2005/2006 wurden noch eine Reihe von Verbesserungsmaßnahmen durchgeführt. Der Betrieb wurde am 14. Februar wiederaufgenommen. Unmittelbar nach dem Wiederanlauf wurden sofort Spitzenwerte sowohl der Luminosität als auch der Effizienz und Zuverlässigkeit des Betriebes erzielt. Der Elektron-Proton Kollisionsbetrieb wurde am 23. Juni 2006 beendet. Insgesamt wurde im Zeitraum von Mitte Februar bis Ende Juni 2006 eine Luminosität von 90 pb^{-1} bereitgestellt.

Zwischen Ende Juni und Mitte Juli 2006 wurde HERA wieder auf Kollisionsbetrieb von Positronen mit Protonen umgestellt und bis zum Jahresende in diesem Modus betrieben. Dabei wurde für die Experimente ZEUS und H1 eine Luminosität von jeweils ca. 118 pb^{-1} erzeugt. Die hohe Spitzenluminosität des Elektron-Proton Betriebes wurde mit Positronen nicht ganz erreicht. Zum Ausgleich ergaben sich für alle Experimente im Allgemeinen sehr gute Bedingungen für die Datennahme mit guten Untergrundbedingungen und hoher Betriebseffizienz. Die Betriebszeiten in 2006 sind in Tabelle 5 zusammengefasst.

Betriebspause

November 2005 – Februar 2006

Die Betriebspause im Winter 2005/2006 war notwendig, um die vorgeschriebenen Prüfungen der Personenschutzanlagen am Gesamtbeschleunigerkomplex von DESY durchzuführen. Diese Zeit wurde für eine Reihe von Verbesserungsmaßnahmen bei HERA genutzt, in deren Zentrum, wie berichtet, der Austausch aller noch verbliebenen Magnetspulen des Typs BU stand. Ferner wurde ein longitudinales Strahldämpfungssystem (siehe hierzu den Bericht der Gruppe MSK) für Protonen installiert, welches während des Wiederanlaufs mit Strahl im Februar 2006 erfolgreich in Betrieb genommen wurde.

Ergebnis des Elektron-Proton Luminositätsbetriebs

Der Kollisionsbetrieb mit Elektronen zeichnete sich wie im Vorjahr, durch eine hohe, die Erwartung übersteigende, spezifische Luminosität von $\mathcal{L}_{\text{sp}} > 2 \cdot 10^{30} \text{ mA}^{-2} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ aus. Somit konnten hohe absolute Werte der Luminosität von $\mathcal{L} > 4 \cdot 10^{31} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ trotz

1. Jan. – 10. Feb.	Winterbetriebspause mit Verbesserungsarbeiten und Wartung in HERA
10. Feb. – 18. Feb.	Wiederaufnahme des Strahlbetriebs und Beschleunigerstudien
18. Feb. – 26. Jun.	Elektron-Proton Kollisionsbetrieb für H1 und ZEUS, Elektronenbetrieb für HERMES
26. Jun. – 3. Jul.	Reparaturen am HERMES- und H1-Detektor, Umstellung auf Positron-Proton Betrieb
3. Jul. – 10. Jul.	Aufsetzen des Positron-Proton Runs
10. Jul. – 31. Dez.	Positron-Proton Kollisionsbetrieb für H1 und ZEUS, Positronenbetrieb für HERMES

Tabelle 5: Übersicht über das HERA Betriebsjahr 2006.

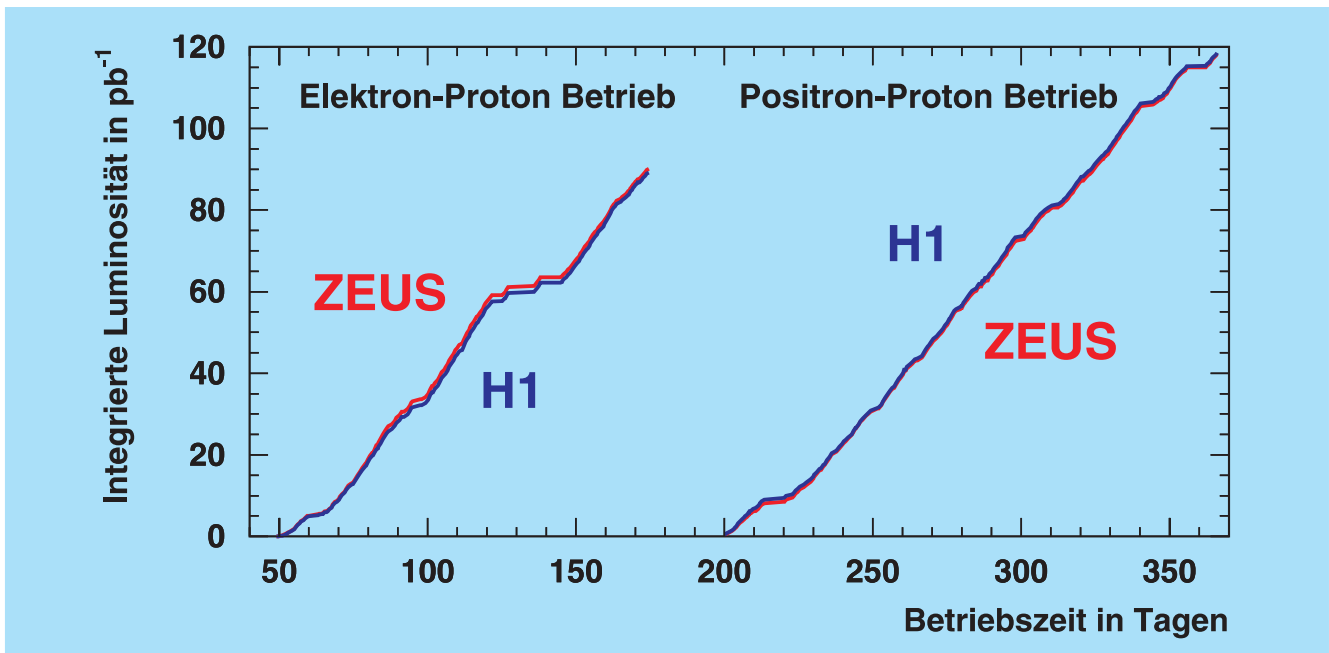


Abbildung 97: Die integrierte Luminosität von HERA in 2006 für Elektron-Proton und Positron-Proton Betrieb.

der Tatsache erreicht werden, dass sich die Elektronenströme nicht wesentlich über 40 mA steigern ließen. Die hohe spezifische Luminosität wird durch eine zusätzliche Verdichtung des Elektronenstrahlkerns an den Wechselwirkungspunkten durch die Wechselwirkung mit dem Protonenstrahl (dynamische Beta-Funktionen) erklärt.

Der größte Teil des Betriebes wurde mit relativ kleinen Elektronenstrahlströmen mit Anfangselektronenströmen von weniger als 40 mA durchgeführt. Zwar ließ sich der Elektronstrom durch regelmäßiges Konditionieren der Beschleunigungsstrukturen mit gepulster Hochfrequenz steigern, jedoch blieben die Ströme deutlich unter den angestrebten Werten von > 45 mA. Die Protonenströme jedoch erreichten neue Rekordwerte von 108 mA dank der guten Optimierung der Proton-Beschleunigungskette. Ab Mitte März wurde die Zahl der Protonenpakete von 150 auf 180 erhöht bei gleichbleibender Luminosität.

Die Kehrseite der hohen Luminosität im Elektron-Proton Kollisionsbetrieb waren im Allgemeinen kritische Untergrundverhältnisse für die Experimente H1

und ZEUS durch den Halo des Protonenstrahls. Dies erforderte kontinuierliches Optimieren während des Betriebes. Die Ausbildung des Protonenhalos wird durch die Fehlanpassung der Strahlprofile durch den oben erwähnten Effekt der Strahl-Strahlwechselwirkung erklärt. Die Toleranz gegenüber Störungen wie Restwelligkeit der Netzgeräte ist im Elektron-Protonbetrieb sehr klein.

Die Betriebseffizienz in der ersten Jahreshälfte von 2006 war mit Werten von 53% gut. Der positive Trend seit dem Wiederanlauf nach der HERA Luminositäts-Erhöhung setzt sich damit auch weiterhin fort. Somit konnte den Experimenten eine integrierte Luminosität von bis zu 8.5 pb^{-1} pro Woche geliefert werden. Allerdings litt die zweite Hälfte des Elektron-Proton Runs unter dem Versagen der neuen HERMES Targetkammer. Dies führte zu längeren Unterbrechungen des Betriebes und zusätzlichen Begrenzungen des Elektronenstrahlstroms.

Das Luminositätsergebnis der ersten Jahreshälfte betrug 90 pb^{-1} für die Experimente H1 und ZEUS (siehe Abbildung 97).

	Elektron-Proton	Positron-Proton
Proton / Elektron Strahlenergie	920 GeV / 27.6 GeV	920 GeV / 27.6 GeV
Proton / Elektron Strahlströme (Maximalwerte)	108 mA / 41 mA	110 mA / 44 mA
Proton / Elektron horizontale Emittanz	4.1 nm / 27 nm	4.1 nm / 27 nm
Proton / Elektron vertikale Emittanz	4.2 nm / 3 nm	4.2 nm / 3 nm
Spitzenluminosität	$4.9 \cdot 10^{31} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$	$4.0 \cdot 10^{31} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
Spezifische Luminosität	$2.4 \cdot 10^{30} \text{ mA}^{-2} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$	$1.7 \cdot 10^{30} \text{ mA}^{-2} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
Integrierte Luminosität	89.2 pb ⁻¹ (H1) 90.1 pb ⁻¹ (ZEUS)	118 pb ⁻¹ (H1, ZEUS)
Angesetzte Betriebszeit (BZ)	3072 h	3747 h
Luminositätsproduktionszeit (ZL)	1638 h	2030 h
Anzahl der Luminositätsläufe	178	216
Betriebseffizienz ZL/BZ	53%	54.2%
Maximaler Longitudinaler Polarisationsgrad	45%	45%

Tabelle 6: Der Luminositätsbetrieb 2006 in Zahlen.

Das größte technische Problem des Beschleunigers in diesem Zeitraum war ein Vakuumleck in einer Kammer des Elektronen-Spinrotators.

Nach Beendigung des Runs mit Elektronen wurde wieder eine Beschädigung einer Photon Auslasskammer in der Wechselwirkungszone Nord festgestellt. Aus diesem Grund wurden der Photonabsorber NR6m wieder in seinen Originalzustand gemäß dem Design des HERA Luminositäts-Erhöhung versetzt¹, um weitere Beschädigungen in der Zukunft auszuschließen.

Ergebnis des Positron-Proton Luminositätsbetriebs

Ab 23. Juni 2006 wurde der HERA Betrieb auf Positron-Proton Kollisionen umgestellt. Die eigentliche Umstellung erforderte wie geplant nur wenige Tage. Die Betriebspause für Reparaturarbeiten an den Detektoren H1 und HERMES konnte genutzt werden um eine beschädigte Vakuumkammer des Quadrupol-Magneten

GI-NR7 auszutauschen. Der Anlauf mit Strahl verzögerte sich um weitere vier Tage durch einen Kurzschluss in einer Quadrupolspule am QC28 OL119m. Das Einrichten der Betriebszustände mit Positronen verlief erwartungsgemäß. Für die Strahloptiken von Positronen und Protonen wurde ein Arbeitspunkt der Betastrahlungsfrequenzen unterhalb der ganzen Zahl gewählt, um die Defokussierung des Positronenstrahls durch den Protonenstrahl zu reduzieren. Am 18. Juli konnte der Kollisionsbetrieb wieder aufgenommen werden.

Im Betrieb mit Positron-Proton Kollisionen konnte die gute Luminosität des Elektron-Proton Betriebes nicht ganz erreicht werden (siehe Tabelle 6). Die spezifische Luminosität war gegenüber dem Betrieb mit Elektronen um (15–20)% reduziert. Zwar wurden mit Positronen Strahlströme von 40 mA relativ mühelos erreicht. Eine deutliche Steigerung darüber hinaus ließ sich jedoch aufgrund von Problemen der Hochfrequenzanlagen, zumeist Vakuumproblemen in den Hochfrequenzresonatoren, nicht realisieren.

Zum Ausgleich zeichnete sich der Betrieb mit Positronen durch eine sehr hohe Stabilität und hervorragende Untergrundbedingungen für die Experimente H1 und ZEUS aus, die dadurch die Effizienz ihrer Datennahme bis auf Werte > 90% steigern konnten.

¹Die Apertur dieser Absorber wurde im Jahre 2002 um mehrere Millimeter vergrößert, da der Verdacht bestand, dass Photonen von diesem Absorber in den Detektor zurückgestreut werden.

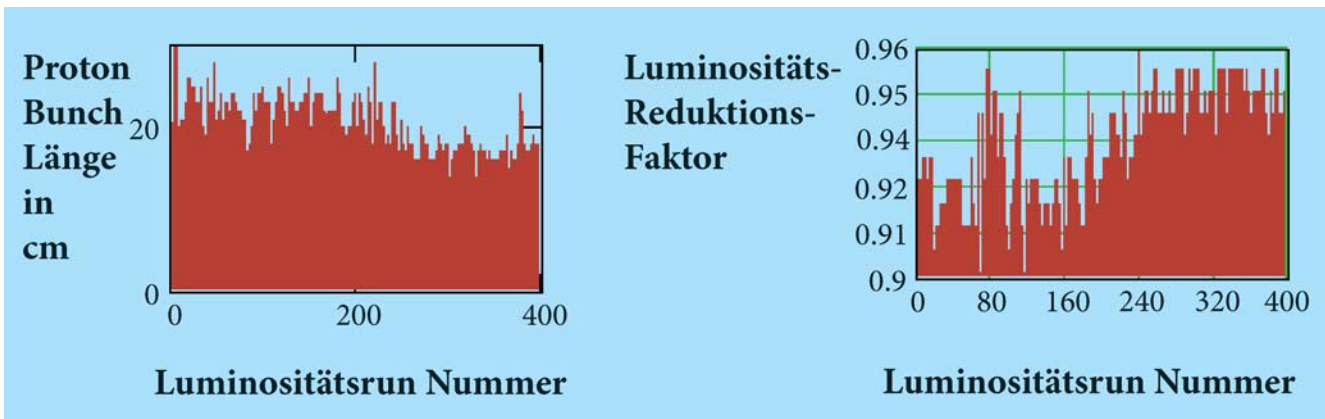


Abbildung 98: Proton-Bunchlänge und die entsprechende (berechnete) Vergrößerung der Luminosität für alle Läufe in 2006.

Polarisationsbetrieb 2006

Wie in den Vorjahren wurden für den HERA Luminositätsbetrieb longitudinale spin-polarisierte Leptonenstrahlen an den Wechselwirkungspunkten Nord, Süd und Ost bereitgestellt. Sowohl im Elektron-Proton Betrieb als auch im Positron-Proton Betrieb steht hohe Luminosität in Konkurrenz mit maximaler Spinpolarisation. Trotzdem erreichte die Polarisation typischerweise Werte von über 40%.

HERA Beschleunigerphysik- und Verbesserungsprogramm

Verkürzung der Proton-Bunchlängen auf die Designwerte

Das in der Winterpause 2005/2006 installierte longitudinale Dämpfungssystem für den Protonenstrahl (siehe Jahresbericht 2005 und den Bericht der Gruppen) wurde während des Wiederanlaufs mit Strahl im Februar 2006 erfolgreich in Betrieb genommen. Mit diesem System konnten die ursprünglich für den HERA Protonenstrahl geplanten Proton-Bunchlängen auf Anrieb erzielt werden. Dieses System, welches zum erfolgreichen Bedämpfen von gekoppelten Bunchschwingungen über den gesamten Strahl-Energiebereich von 40 GeV

bis 920 GeV für jede Energie sorgfältig angepasste Parameter benötigt, wurde mit Hilfe einer intelligenten Steuerung in den komplexen Beschleunigungsprozess des HERA Protonenstrahl integriert und stand etwa ab Mitte des Jahres 2006 im Routinebetrieb zur Verfügung. Es sorgte im Verlaufe des Betriebsjahres für immer kürzere Protonenstrahlpakete. Schließlich wurde eine Verkürzung der RMS-Paketlängen (*half bunch length*) um ca. 30% erreicht. Dadurch wurde nicht nur eine weitere Steigerung der Spitzenluminosität um ca. 4% erzielt, sondern auch die Entstehung von Protonengleichstrom im Luminositätsbetrieb unterdrückt und damit bessere Untergrundbedingungen für die HERA-Experimente H1 und ZEUS geschaffen sowie günstigere Triggerbedingungen herbeigeführt. Die Abbildung 98 zeigt eine Übersicht der anfänglichen Proton-Bunchlängen für alle Protonfüllungen in 2006.

Strahlparameter für den Luminositätsbetrieb mit Positronen

Die Lepton-Proton Strahl-Strahl-Wechselwirkung, welche zu einer Erhöhung der Dichte des Elektronenstrahls an den Wechselwirkungspunkten führt, bewirkt für vergleichbare Strahlparameter eine Aufweitung des Positronenstrahls am Wechselwirkungspunkt.

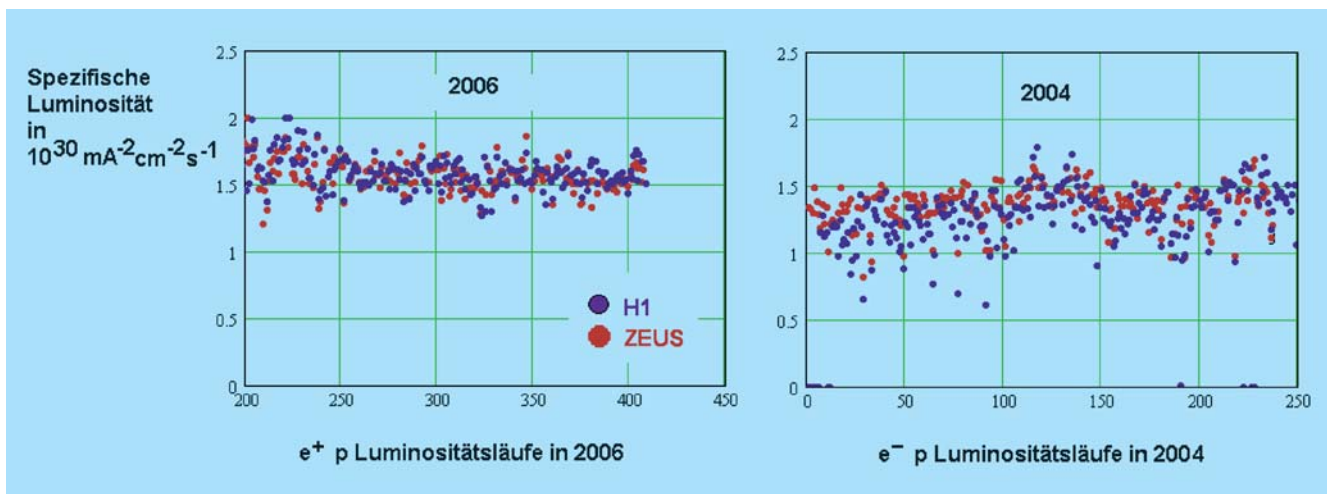


Abbildung 99: Vergleich der Spezifischen Luminositäten für Positron-Proton Kollisionen in HERA der Betriebsjahre 2004 und 2006.

Aus diesem Grund wurden im Betriebsjahr 2004 mit Positronen spezifische Luminositäten von nur $1.4 \cdot 10^{30} \text{ mA}^{-2} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ erzielt. Im Betrieb mit Positronen im Jahre 2006 wurden deshalb die Arbeitspunkte der vertikalen und horizontalen Betatron-Schwingungen der Teilchen, (betatron tunes $Q_{x,y}$) zwischen 0.5 und 1 gewählt. Damit ergibt sich in linearer Näherung trotz der defokussierenden Wirkung des Protonenstrahls gemäß $\Delta\beta\beta = 2\pi g \cdot \xi_{x,y} \cdot \cot(2\pi \cdot Q_{x,y})$ (ξ ist die Strahl-Strahl Betatron Frequenzverschiebung, β ist die Amplitudenfunktion am Wechselwirkungspunkt) eine Verkleinerung der horizontalen und vertikalen Strahlgrößen an den Wechselwirkungspunkten. Damit ließen sich zwar (wegen Effekten höherer Ordnung) nicht die gleichen spezifischen Luminositäten wie mit Elektronen erzielen, jedoch eine deutliche Verbesserung der spezifischen Luminosität von 15% gegenüber den Werten von 2004. Abbildung 99 zeigt den Vergleich der spezifischen Luminosität von Positron-Proton Kollisionen von 2006 mit den Daten von 2004.

Verbesserungen an den Spinrotatoren

An den drei Lepton-Spinrotatorenpaaren von HERA traten in den Vorjahren, aber auch in 2006, wiederholt schwere Vakuumlecks auf, welche insgesamt einen

erheblichen Beitrag zu dem Verlust von Betriebszeit durch technische Defekte ausmachten. Aus diesem Grund wurde die Synchrotronstrahlungsbelastung des Rotator-Vakuumsystems für alle Bedingungen welche im Luminositätsbetrieb auftreten können neu berechnet. Dabei traten erhebliche Designschwächen zum Vorschein, welche als Ursache für das Auftreten von Vakuumlecks angesehen werden müssen.

Die Synchrotronstrahlungsabsorber vor den Schiebbestücken schützen die Komponenten des Rotatorvakuumsystems nur in unzureichender Weise. Bereits bei kleinen Orbitablagen von einigen Millimetern werden die Schiebbestücke aus Edelstahl von Synchrotronstrahlung extremer Dichte direkt getroffen. Dies führt nicht nur zu einer Beschädigung der Schiebbestücke sondern auch zu extremen Temperaturgradienten von lokal $> 1000^\circ\text{C}$, welches hohe mechanische Spannungen im Bereich der Vakuumschweißnähte und das Entstehen von Lecks bewirkt.

Die mit eingelöteten Hochfrequenzschirmungen versehenen Pumpstützen des Vakuumsystems im Rotatorbereich werden durch sogenannte Stichabsorber, welche in die Vakuumkammer eingelötet sind geschützt. Diese besitzen jedoch keine eigene Wasserkühlung sondern werden nur über die Vakuumkammer gekühlt. Wie

die Analyse zeigt beträgt die Belastung der Absorber ca. 800 W und die damit verbundenen Temperaturen steigen mit der vorhandenen Kühlung weit über 500°C. Dies führt ebenfalls zu starken mechanischen Spannungen in der Lötnaht, insbesondere im Falle von plötzlicher Änderung der Belastung (z. B. durch Strahlverlust).

Die folgenden Maßnahmen wurden im Berichtszeitraum realisiert, um die Wahrscheinlichkeit von weiteren Vakuumleckagen im Rotatorbereich zu reduzieren:

- Die Rotatormagnete werden in der vertikalen Ebene um bis zu 5 mm mechanisch fehl-aufgestellt, um die Wahrscheinlichkeit, dass das Synchrotronlicht die vorgesehenen Absorber verfehlt, zu reduzieren.
- Die Stichabsorber vor den Pumpstützen erhielten eine eigene Wasserkühlung, die ausreicht, um eine Überhitzung zu vermeiden.
- Der Leptonenstrahl wird vor dem Dump auf 23 GeV entschleunigt, um schnelle zeitliche Änderungen der Synchrotronstrahlungslast und damit verbundene starke mechanische Spannungen zu vermeiden.

Schnelle Orbitregelung

Im Berichtszeitraum wurde eine schnelle Strahlregelung eingerichtet und erfolgreich getestet. Der geschlossene Orbit des HERA Leptonenstrahls leidet insbesondere in der horizontalen Ebene unter Schwankungen von bis zu 300 µm (gemessen im Bogen). Dies entspricht ca. 30% der Strahlbreite. Eine Fourieranalyse der gemessenen Orbitwerte zeigt, dass der größte Teil der Schwingungen sich auf Frequenzen unterhalb von 20 Hz beschränkt und oberhalb dieses Bereichs nur kleinere Amplituden um 50 Hz und 100 Hz sichtbar sind. Diese Schwingungen führen zu einer Reduktion der Luminosität und zu verstärkter Halobildung des Protonstrahls durch die mit den Orbitenschwankungen am Wechselwirkungspunkt verbundene Modulation der Betatron Frequenzen. Aus diesem Grunde wurde eine

schnelle Lageregelung entwickelt, um die Schwingungen im Frequenzbereich bis ca. 20 Hz zu dämpfen. Die Elemente dieses Systems umfassen:

- 16 Luftspulen, welche um die kupfernen, mit massiven Wasserkühlkanälen versehenen Vakuumkammern installiert wurden,
- 16 Strahllagemonitore, welche über einen schnellen Datenbus (4 kHz Datenfrequenz) ausgelesen werden, so dass alle 16 Lagemonitorwerte mit einer Rate von ca. 800 Hz zur Verfügung stehen,
- Ansteuereinheiten für die Luftspulen mit einer maximalen Spannung von 10 V und einem Maximalstrom von 3 A bei einer Bandbreite von 50 Hz,
- ein PC gestütztes Datenverarbeitungssystem, welches die Datenaquisition steuert und das digitale Filtersystem beinhaltet.

Dieses System erlaubt sowohl globale Orbitkorrekturen als auch lokale Orbitstabilisierung an den Wechselwirkungspunkten. Das System wurde im Spätherbst 2006 erfolgreich getestet. Die Abbildungen 100 und 101 zeigen den zeitlichen Verlauf der Orbitenschwingungen an einem der Wechselwirkungspunkte und die entsprechende schnelle Fourier-Transformation der Daten ohne (Abbildung 100) und mit Strahlstabilisierung (Abbildung 101). Die Schwingungen im Bereich unter 20 Hz werden um den Faktor drei unterdrückt. Es ist geplant, das System im Betriebsjahr 2007 routinemäßig zum Einsatz zu bringen.

Betriebseffizienz 2006

Im Berichtszeitraum wurden keine neuen größeren Maßnahmen zur Verbesserung der Betriebseffizienz getroffen. Die in den vergangenen Jahren eingeführten Prozeduren und Methoden wurden jedoch weitergeführt und teilweise verfeinert. Insbesondere wurde

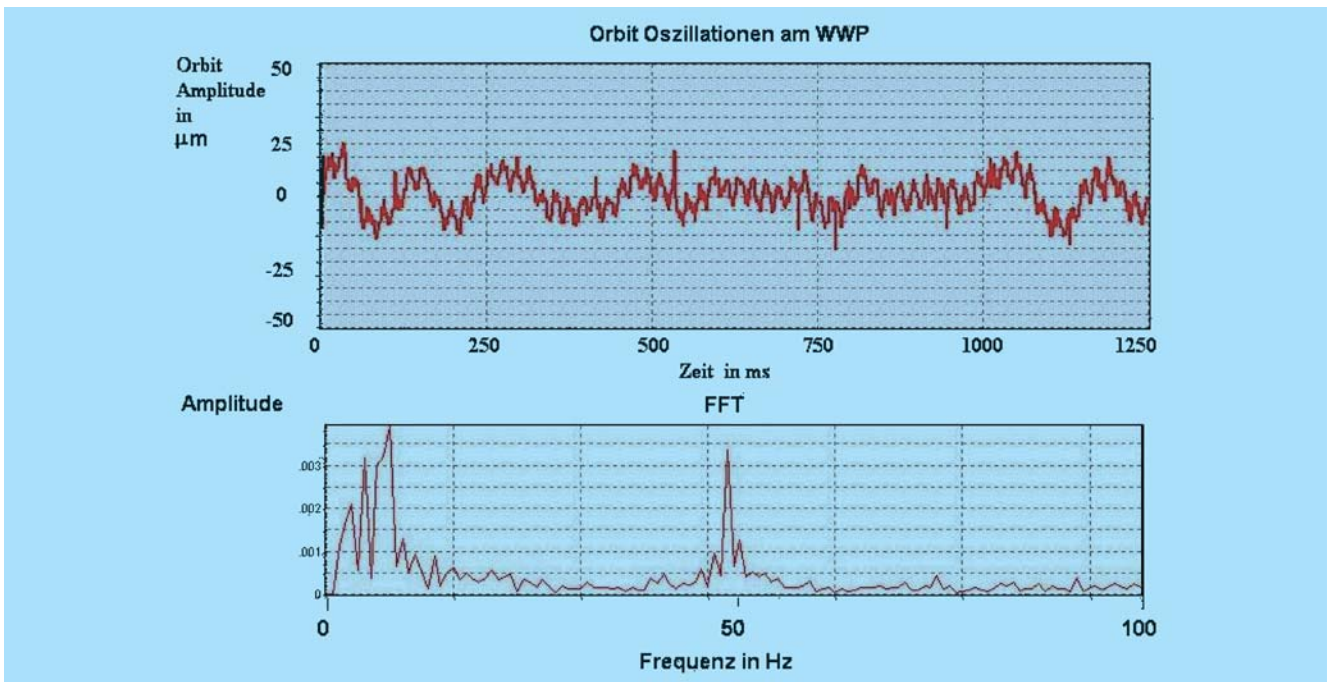


Abbildung 100: *Orbitschwingungen am Wechselwirkungspunkt (WWP) Süd und die Fourier-Transformation (FFT) der Messwerte ohne Lageregelung.*

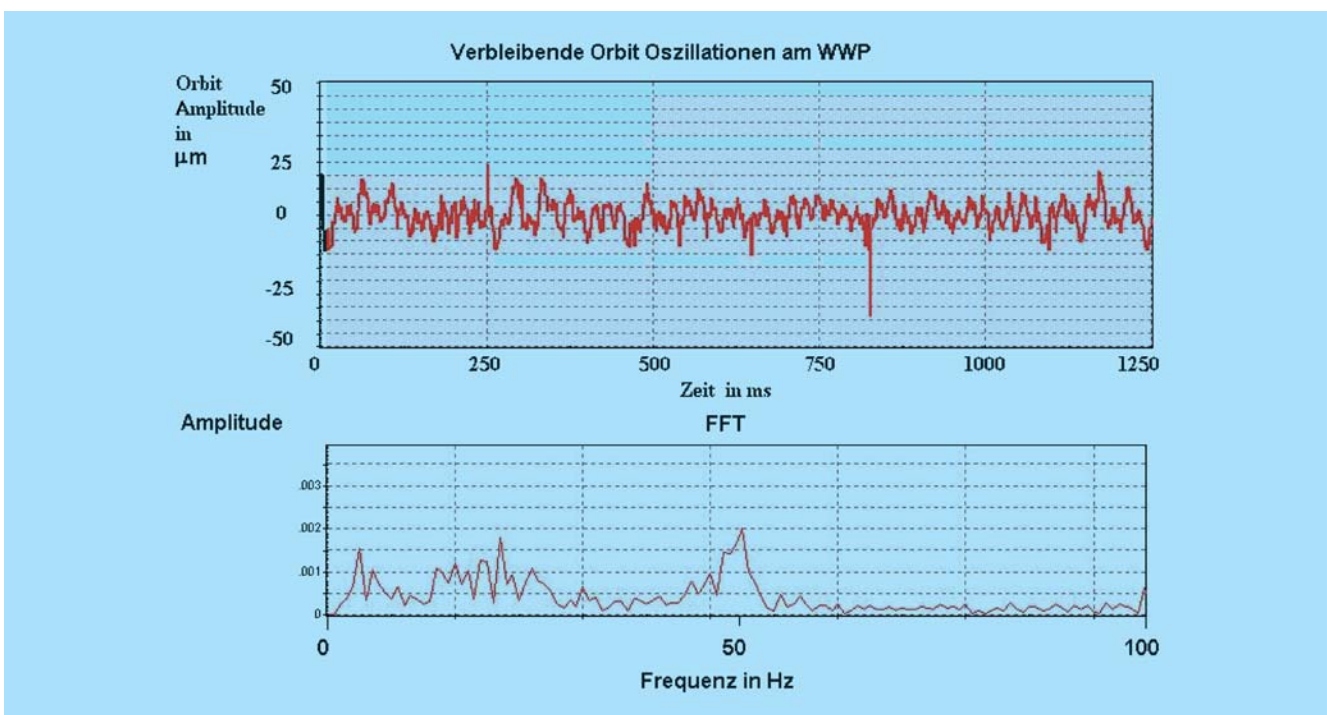


Abbildung 101: *Orbitschwingungen am WWP und zugehörige FFT mit eingeschalteter Lageregelung.*

das System der Stromversorgungsgeräte weiterhin einer regelmäßigen Überprüfung unterzogen.

Dies führte zu einer ausgezeichneten Verfügbarkeit der HERA-Anlage. Der Anteil der Zeit mit Luminositätsproduktion war mit 43.2% nur geringfügig größer als im vergangenen Jahr, bedingt durch den Zeitaufwand für den Anlauf nach den Betriebspausen und die Zeit für die Umstellung von Elektron-Proton auf Positron-Proton Betrieb. Dies erforderte einen Anteil von 7% der Zeit in 2006. Der Anteil von technischen Ausfällen an der Gesamtzeit ging etwa um den gleichen Betrag zurück. Fernerhin wurden die erforderlichen Zeiten für Injektion, Beschleunigung und Einstellung guter Luminositätsbedingungen noch um einige Prozentpunkte verringert. Die Effizienz des Betriebes, die Zeit im Luminositätslauf dividiert durch die insgesamt dafür angesetzte Zeit (inklusive Injektion, Beschleunigung und Einstellung) betrug 2006 zum ersten Mal seit dem Jahr 2000 mit 53% wieder mehr als 50%. Die Abbildung 102 zeigt die Verteilung der Zeit auf die einzelnen Betriebszustände.

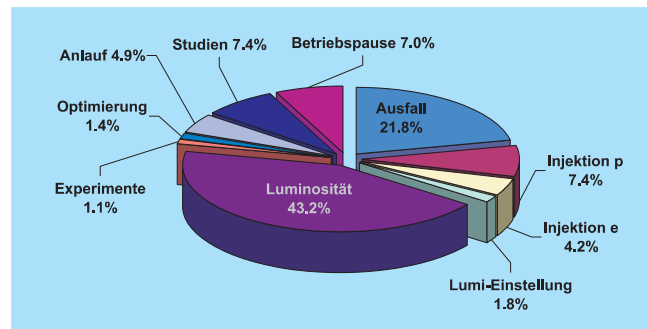


Abbildung 102: HERA Betriebsstatistik 2006: Die Zeit mit Kollisionen der beiden Strahlen nimmt den größten Raum ein (43.2%) gefolgt von Betriebsunterbrechungen durch technische Fehler, deren Beseitigung und dem darauf folgenden Wiederanlauf des Betriebs (21.8%). Die notwendigen Zeiten für Injektion und Beschleunigung und Einstellen der Luminosität der Strahlen hat sich weiter verringert (11.6%). Für Anlauf und Maschinenentwicklung wurden 12.3% der Zeit eingesetzt. Die Experimente benötigten 1.1% der Betriebszeit für Kalibration und Behebung von Problemen. Für Wartungsarbeiten wurden 7% benötigt.

Speicherring DORIS III

Strahlbetrieb

Das Jahr 2006 war für DORIS ausgesprochen erfolgreich. Die Strahlzeit für Nutzer konnte auf 5990 Stunden erhöht werden, bei gleichzeitiger Steigerung des mittleren Strahlstromes. Gleichzeitig konnte der bisherige Spitzenwert für die Verfügbarkeit der Maschine aus dem Jahr 2003 (95.9%) mit 95.7% fast wieder erreicht werden. Die mittlere Runzeit zwischen zwei Ausfällen lag bei 56.5 Stunden. Erfreulich für die Nutzer war auch, dass die Verfügbarkeit nie unter 84% lag (siehe Abbildung 103). Dieses gute Ergebnis wurde vor allem erreicht durch eine Verbesserung der Zuverlässigkeit bei den HF-System und den Magnetnetzgeräten, welche aufgrund ihrer Komplexität üblicherweise die Fehlerstatistik anführen. Verbesserungspotenzial gibt es noch bei den Beamline Interlocksystemen, welche knapp die Hälfte aller Ausfälle verursacht haben.

Die Lebensdauer konnte im Laufe des Jahres auf bis zu 20–30 Stunden gesteigert werden, bis sie gegen Ende des Jahres durch ein Vakuumleck am Ende des Transportweges wieder etwas reduziert wurde.

Der Nutzerbetrieb wird 2007 am 18. Januar wieder aufgenommen.

Arbeiten am Beschleuniger

In der Wartungsperiode 2005/2006 bis Mitte Januar wurde an sechs Wiggler Auslasskammern die Kühlung erneuert. Es hatte sich gezeigt, dass das bisherige System im Dauerbetrieb zu Ermüdungsbrüchen neigte. Dies sollte bei dem neuen, verbesserten Design ausgeschlossen sein. Zusätzlich wurde die Wigglerkam-

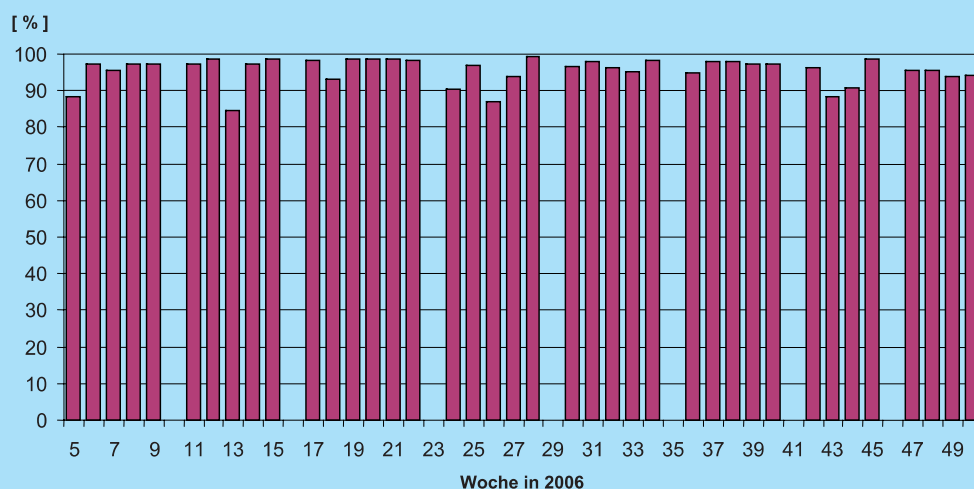


Abbildung 103: Verfügbarkeit von DORIS. Anteil der gelieferten an der geplanten Strahlzeit für Nutzer pro Woche. Die mittlere Verfügbarkeit in 2006 liegt bei 95.7% .

mer des BW3 wieder eingebaut, die im August 2005 durch einen Fehler an der Permanentmagnetstruktur beschädigt wurde. Leider war es nicht möglich, die beschädigte Magnetstruktur des BW3 zu reparieren – die Struktur wurde stattdessen um ein Viertel gekürzt, um einen Betrieb zu ermöglichen. Zugleich wurde der Magnet mit Schutzbändern versehen, die eine erneute Beschädigung der Kammer ausschließen. Der Wiggler wurde dann im Sommer 2006 wieder vervollständigt.

Zwei Vakuumventile wurden ersetzt, von denen eines Probleme mit der HF-Abschirmung zeigte und das andere eine leichte Undichtigkeit aufwies.

Zur Verbesserung der Zuverlässigkeit und zur Vereinfachung der Wartung wurden einige Quadrupol Netzgeräte durch einen modernen Typ ersetzt.

Im Shutdown ab 18. Dezember 2006 musste dann das Leck beseitigt werden, welches am Ende des Transportweges aufgetreten war. Zusätzlich musste noch ein Ventil gewechselt werden, so dass das halbe Ringvakuumsystem belüftet wurde. Die Arbeiten wurden noch vor Weihnachten beendet, so dass bereits am 27. Dezember mit dem Ausbackbetrieb begonnen werden konnte. Somit sind wir sicher, rechtzeitig zum Beginn des Nutzerbetriebes eine gute Lebensdauer zu erreichen.

Die Vorbeschleuniger

LINAC II und PIA

LINAC II und PIA wurden im Jahr 2006 routinemäßig mit Elektronen und Positronen betrieben. Nachdem im Mai der HERA-Betrieb auf Positronen umgestellt worden war, wurde zunächst auf das regelmäßige Umschalten der Teilchenart verzichtet. Seit Ende September werden die Teststrahlen wieder mit Elektronen bedient. Damit soll die Belastung des Konverters minimiert werden.

Derzeit wird ein Ersatz für den bisherigen Konverter entwickelt, der mechanisch erheblich vereinfacht ist, keine Lötstellen an Kühlleitungen im Vakuum mehr enthält, und im Sinne des Strahlenschutzes optimiert ist. Die Konstruktionsphase ist so gut wie abgeschlossen, erste Fertigungsaufträge wurden vergeben. Der Einbau ist für 2008 vorgesehen. Der Reservesender für das 125 MHz System in PIA ist nahezu vollständig. Mit der Fertigstellung ist im Frühjahr 2007 zu rechnen.

Linac III

Im Berichtszeitraum standen beide H^- -Ionenquellen am Linac III sowie der Linac selbst mit sehr hoher Zuverlässigkeit zur Verfügung.

DESY II

DESY II lieferte Positronen für DORIS, PETRA und HERA sowie Elektronen für die Teststrahlbenutzer. Typische Teilchenzahlen pro Bunch entsprachen $2 \cdot 10^9$ bis $1 \cdot 10^{10}$ Positronen und $1 \cdot 10^{10}$ Elektronen.

Das Umschalten zwischen den Teilchenarten verlief sehr zuverlässig. Die ungewöhnlich hohen Temperaturen im Sommer 2006 deckten Unzulänglichkeiten in der Klimaanlage des Synchrotron-Elektronik-Raumes (SER) auf. Ein neues System ist für Installation im Frühjahr 2007 vorgesehen.

Es wurden Prototypen für eine neue Regelelektronik der Magnetstromversorgung erfolgreich getestet.

In Zukunft wird für den Betrieb für PETRA III eine Endenergie von 6 GeV nötig sein. Bereits in diesem Jahr wurden verschiedene Tests in einem solchen Betriebsmodus durchgeführt. Um auch in Zukunft weitere Tests in einfacher Weise zu ermöglichen, wurde im Dezember die Endenergie für den Routinebetrieb für PETRA von bisher 7 GeV auf 6 GeV reduziert, ohne dass irgendwelche Nachteile für den PETRA/HERA-Betrieb beobachtet werden konnten.

DESY III

Als Vorbeschleuniger für PETRA und HERA lieferte DESY III sehr zuverlässig Protonen bei mittleren Strömen von etwa 200 mA beim Maximalimpuls von 7.5 GeV/c. Es gab keine erwähnenswerten Komponentenausfälle.

PETRA

Übersicht

Nach einer Winter-Wartungszeit stand PETRA vom 23.1. bis zum 31.12., also für 343 Tage, als Vorbe-

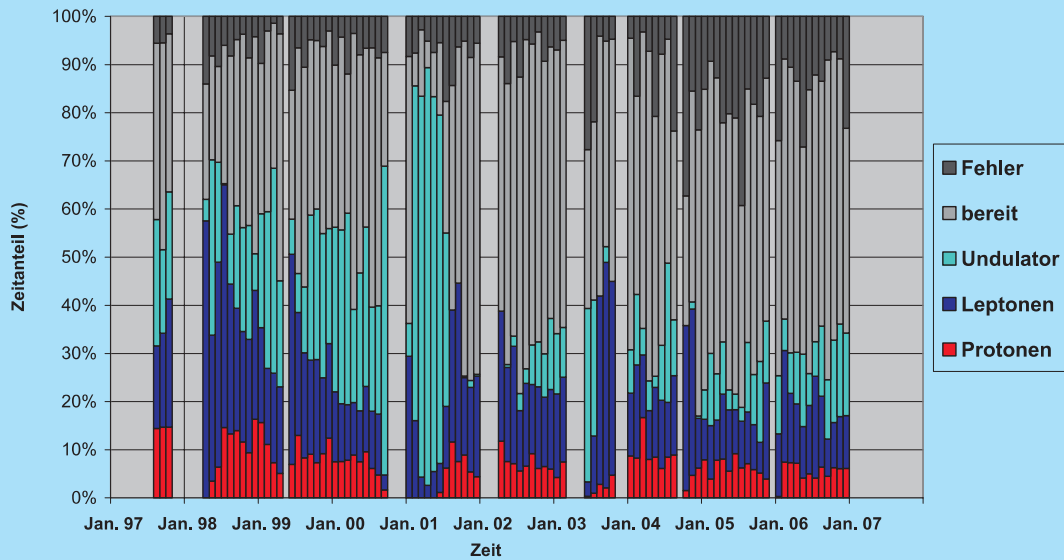


Abbildung 104: Übersicht der Betriebszeitanteile von PETRA seit 1997.

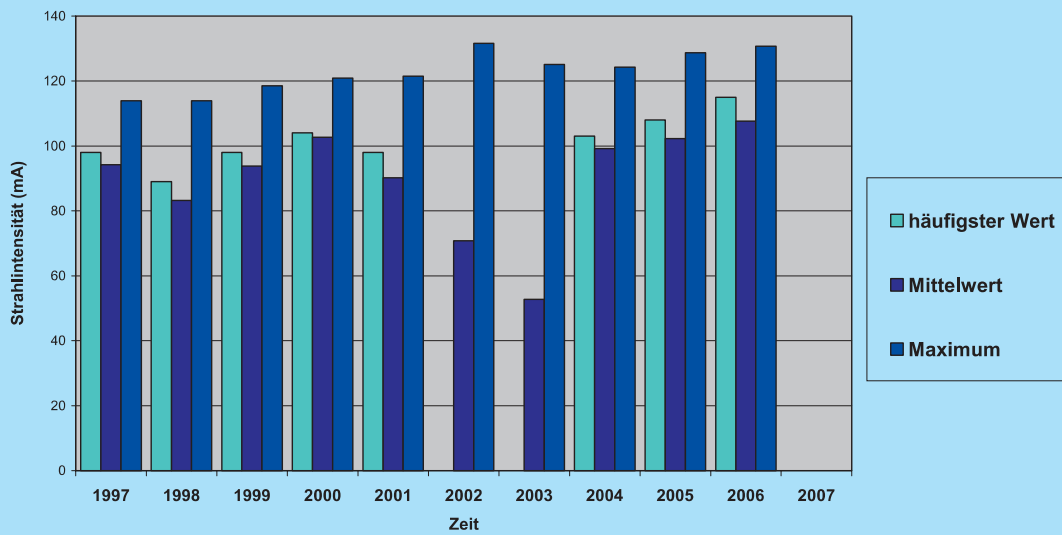


Abbildung 105: Übersicht der Protonenintensitäten bei Ejektion (60 Bunche).

schleuniger für HERA und als Synchrotronlichtquelle für HASYLAB zur Verfügung. Etwa 20% der Zeit hat HERA beansprucht, grob 10% der Zeit HASYLAB.

Die Abbildung 104 zeigt die Betriebszeitanteile der vergangenen Jahre. Auffällig ist der relativ hohe Anteil an Fehlerzeiten, der nach wie vor auf eine verschlechterte Fehlerüberwachung zurückzuführen ist, die zeitweise trotz erfolgreichem Strahlbetrieb oder Strahlbereitschaft zur Fehleranzeige geführt hat.

In der ersten Jahreshälfte wurde HERA mit Elektronen beliefert, Mitte des Jahres wurde dann der Leptonenbetrieb auch für HASYLAB auf Positronen umgestellt.

Um bei DESY II parasitäre Studien für die PETRA-III-Zukunft durchführen zu können, wurde im Dezember die Injektionsenergie für Positronen in beiden Betriebsmoden von 7 GeV auf 6 GeV, die zukünftige PETRA-III-Sollenergie, reduziert.

Da sich herausgestellt hat, dass das im Magnetbetrieb aufgrund unkompensierter Ringströme erzeugte Stör-Magnetfeld PETRAs (etwa ein fünfzigstel des Erdmagnetfelds) Auswirkungen auf den Betrieb von TTF/FLASH hatte, wurde ein zusätzlicher Kompensationsstromkreis eingeführt, der im Betrieb synchron zu den Magnetstromkreisen gefahren wird.

Betrieb als Vorbeschleuniger

Der Betrieb mit Elektronen oder Positronen war wie in den vorangegangenen Jahren unproblematisch. Es gab hierbei zwei Ausfälle: Im August musste einer der drei Ejektionskicker getauscht werden. Im Dezember wurde wegen eines Klystronausfalls von der Senderanlage SL auf SR umgeschwenkt.

Um die HERA-Füllzeiten zu reduzieren wurden ab Oktober 16×3 statt bisher 14×3 Bunche gefüllt und damit der durchschnittliche Gesamtstrom im Positronenbetrieb erhöht.

Auch der Betrieb mit Protonen verlief im Wesentlichen unproblematisch. In der Abbildung 105 sind als Maß für Betriebsqualität die Protonenstrahlintensitäten bei Ejektion (mit 60 Bunchen) im Vergleich zu den Werten der Vorjahre dargestellt. Die Strahlintensitäten und auch die Zuverlässigkeit konnten noch einmal gesteigert werden, so dass die ursprünglichen Entwurfswerte erreicht wurden. Dennoch litt der Strahlbetrieb mit Protonen unter einer strahlintensitätsabhängigen Störung der Orbits unbekannter Ursache. Zunächst wurde versucht, diesen Effekt mit Hilfe einer ausgewählten Korrekturspule grob zu kompensieren, leider mit nur zeitweisem Erfolg. Erst im Dezember ist es gelungen, die Ursache zu finden und zu beseitigen: im Bereich der Halle SO werden offensichtlich in Abhängigkeit von der Protonenstrahlintensität hochfrequente Signale erzeugt, die von den Zuleitungen der dortigen Korrekturspulen aufgefangen werden und auf die angeschlossenen Netzteile zurückwirken, so dass in den Stromkreisen erhebliche, unüberwachte Fehlerströme fließen. Die Störsignalquelle konnte bislang nicht identifiziert, aber mittels Filterkondensatoren im Ausgang der Netzteile der jeweilige Fehlerstrom beseitigt werden.

Betrieb als Synchrotronstrahlungsquelle

Wie auch im vergangenen Jahr wurde PETRA nur etwa 10% der Zeit als Synchrotronstrahlungsquelle betrieben. Zeitweise traten wieder erhebliche Strahlverluste während der Beschleunigung auf, die auf eine longitudinale Anregung des Strahls zurückgeführt werden konnten, jedoch ohne die eigentliche Ursache hierfür dauerhaft beseitigen zu können.

Bauarbeiten im Bereich der zukünftigen Experimentierhalle für PETRA III haben zu deutlichen Orbitveränderungen in der Maschine und Ablagen im Lichtweg geführt.



Freie-Elektronen-Laser FLASH

Das Jahr 2006 stand im Zeichen der Stabilisierung der außerordentlichen Leistung des FLASH Beschleunigers und der Verbesserung der Betriebsabläufe. Von insgesamt 7896 geplanten Betriebsstunden wurde der FEL-Strahl 3696 Stunden (47%) Nutzerexperimenten zur Verfügung gestellt. Die restliche Strahlzeit wurden für Studien zur Verbesserung des FEL-Betriebes (2352 Stunden) und für allgemeine Beschleunigerstudien (1848 Stunden) genutzt.

Mit einer Strahlenergie von 370 bis 700 MeV erzeugt FLASH laserartige FEL-Strahlung in einem Wellenlängenbereich von 47 bis 13 nm. Die kohärenten Strahlungspulse sind mit 10 bis 20 fs extrem kurz und erreichen eine Energie von mehr als 100 μJ im VUV bis EUV-Wellenlängenbereich.

Im April wurde die FEL-Strahlung zum ersten Mal bei 13 nm erzeugt und im August konnte die für den SASE-Prozess typische Sättigung erreicht werden. Diese weltweit einzigartigen und unübertroffenen Ergebnisse beruhen auf einer systematischen Verbesserung der Stabilität des Strahls zusammen mit einem verbesserten

Verständnis der Strahloptik und des -orbits insbesondere im Undulatorbereich.

Die Messung der Verstärkung in Abhängigkeit von der Länge der ausgenutzten Undulatorstrecke zeigt den erwarteten exponentiellen Anstieg der FEL-Strahlenergie bis Sättigung erreicht ist. Aus diesen Daten zusammen mit der Analyse des Frequenzspektrums und einer statistischen Analyse der Energiefluktuation des SASE-Prozesses wurden die Eigenschaften der Strahlung bestimmt: bei der Wellenlänge 13.7 nm erreicht der einzelne FEL-Puls eine Energie von mehr als 70 μJ – gemittelt über viele Einzelpulse. Im Maximum werden 170 μJ erreicht. Die Länge der Pulse beträgt etwa 10 fs und erreicht eine Leistung von 5 GW. Tabelle 7 fasst die Ergebnisse zusammen.

Neben der fundamentalen Wellenlänge enthält die erzeugte Strahlung auch Beiträge von höheren Harmonischen. In der Sättigung sind im Wesentlichen die ungeraden Harmonischen messbar. Die Messung ergab folgende Werte:

Fundamental: 13.7 nm (90 eV) mit einer Energie von 40 μJ und Pulsleistung etwa 4 GW,

Wellenlängenbereich (Fundamentale)	13–47 nm
Mittlere Pulsenergie (bester Wert)	bis zu 100 μJ
Mittlere Pulsenergie (normaler Betrieb)	30 μJ
Maximal erreichte Pulsenergie	170 μJ
Einzelpulsleistung	~ 5 GW
Mittlere Leistung	> 100 mW
Pulslänge (FWHM)	10–50 fs
Spektrale Breite (FWHM)	0.5–1%
Einzelpuls-Brillanz	10^{29} – 10^{30} $\frac{\text{Photonen}}{\text{smrad}^2 \text{mm}^2 0.1\% \text{ Bandbreite}}$

Tabelle 7: *Eigenschaften der FEL-Strahlung.*

3. Harmonische:

4.6 nm (270 eV) mit etwa 250 nJ und 40 MW,

5. Harmonische:

2.7 nm (450 eV) mit etwa 10 nJ und 2 MW,

7. Harmonische:

1.9 nm (630 eV) ist beobachtet worden.

Diese Werte entsprechen einer Einzelpuls-Brillanz von $(6 \pm 3) \cdot 10^{29}$, $(2 \pm 1) \cdot 10^{28}$ und $(2 \pm 1) \cdot 10^{27}$ Photonen/s/mrad²/mm²/(0.1% Bandbreite) für 13.7, 4.6 und 2.7 nm.

Der Betrieb von FLASH wurde im Jahre 2006 weiter stabilisiert. Viele Betriebsabläufe wurden standardisiert und optimiert. Operateure sind jetzt in der Lage, Teile der komplexen Optimierung des Elektronenstrahls, der für das Zünden und Halten des SASE-Prozesses notwendig ist, selbstständig und regelmäßig durchzuführen; wenn auch immer noch die Hand des Experten für schwieriges Abstimmen nötig ist.

Regelmäßige Studien und Experimente zur Verbesserung der Elektronenstrahldiagnose und der Vermessung der Strahleigenschaften führten zu einem wesentlich besseren Verständnis der Transferfunktionen und der Strahloptik und trugen so verbesserten Strahleigenschaften im Undulator bei.

Entscheidende Verbesserungen der Strahlstabilität wurden durch zum Teil kleine Verbesserungen in vielen Bereichen erreicht:

Eine verbesserte Optik erlaubt kleinere Elektronenstrahlgrößen in weiten Bereichen des Beschleunigers und vermindert so die Sensitivität für Einstellungsfehler der Quadrupole.

Durch ein verbessertes Modell des Beschleunigers kann jetzt zuverlässig Dispersion korrigiert werden, strahlbasierende Korrekturverfahren glätten den Orbit und vermeiden so unnötige Quellen von Dispersion.

Elektromagnetisch induzierte Störungen wurden an vielen Stellen identifiziert und eine Beseitigung eingeleitet. Zum Beispiel wurden alle Netzgeräte der Magnete mit Rauschfiltern ausgestattet und eine Maßnahmen zur Glättung des Stromes durchgeführt. Nach und nach werden da wo es möglich ist, alle Chopper-Netzteile

durch rauscharme Geräte ausgetauscht. Diese Maßnahmen haben zu einer wesentlich stabileren Strahlage geführt.

Durch Shuntwiderstände wurden die Präzision der Stromsteuerung um den Faktor 10 erhöht, und dadurch die Reproduzierbarkeit der Korrektoreinstellungen deutlich verbessert.

Die Umgebungstemperatur der empfindlichen Elektronik zur Stabilisierung der Amplituden und Phasenlage des beschleunigenden HF ist durch den Einbau einer präzisen Klimaanlage auf $\pm 1^\circ\text{C}$ stabilisiert worden. Dadurch konnten Tag-Nacht und Wettereinflüsse auf die Phasenlage des Strahls eliminiert werden. Der Injektorlaser hat ebenfalls eine verbesserte Temperaturregelung, hier liegen die Schwankungen in einem Bereich von $\pm 0.02^\circ\text{C}$.

Weitere Maßnahmen zur Reduzierung von elektromagnetisch induzierten Störungen betreffen auch das Erdungsschema der Stromversorgung. Das alte TN-C System (4-Leiter mit PEN) wird nach und nach durch ein modernes TN-S System (5-Leiter PEN und getrenntes PE) ersetzt. Das vermaschte Erdungssystem reduziert vagabundierende Erdströme und verhindert Erdungsschleifen. Gleichzeitig wurde die Stromversorgung der Großverbraucher wie Klystrons und Modulatoren von den empfindlichen Magnetnetzgeräten getrennt. Diese Maßnahmen werden im Frühjahr 2007 abgeschlossen sein.

Die Veränderung des im FLASH-Beschleuniger induzierten Magnetfeldes des PETRA-Ringbeschleunigers während seiner Rampenfahrten induziert eine deutlich messbare Bewegung des Elektronenstrahls weit über die Toleranz für den SASE-Prozess hinaus. Ein Kompensationsstrom wurde eingeführt, der den Effekt auf ein akzeptables Niveau reduziert (10% der FEL-Strahlenergie).

Die Phasen- und Amplitudenstabilität der HF der Elektronenstrahlquelle (RF-Gun) wurde durch die Einführung einer leistungsfähigeren Elektronik (FPGA) deutlich verbessert. Es ist jetzt möglich, Amplitude und Phase des Beschleunigungsfeldes in der RF-Gun durch die Bildung der Vektorsumme der ein- und rücklaufen-

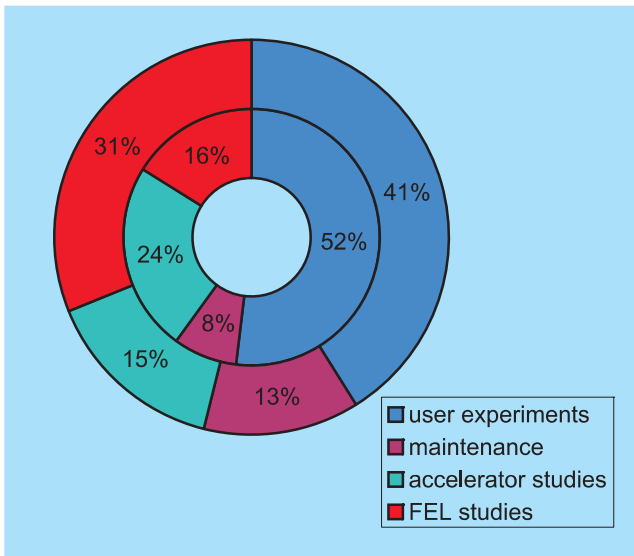


Abbildung 106: Verteilung der Strahlzeit auf die erste (innerer Kreis) und zweite Periode mit Nutzer-Experimenten. Im Vergleich zur Periode 1 von August 2005 bis Februar 2006 ist die Strahlzeit in Periode 2 von April 2006 bis März 2007 für die Verbesserung des FEL-Strahlbetriebes (rot) verdoppelt worden.

den HF-Leistung zu bestimmen und damit zu regeln. Die gemessene Phasenstabilität beträgt jetzt hervorragende 0.14° bezogen auf die HF (1.3 GHz), was 300 fs entspricht. Ein ähnlich verbessertes System ist schon für das erste Beschleunigungsmodul (ACC1) aufgebaut und wird getestet.

Die Standarddiagnose – insbesondere die Messung des Strahlorbits – ist jetzt überholt und erreicht jetzt beachtliche Genauigkeit. Zum Beispiel liegt jetzt die Auflösung der Strahllagemessung im Undulatorbereich bei $20 \mu\text{m rms}$.

Der Betrieb von FLASH unterscheidet bisher zwei Perioden mit Nutzer-Experimenten. Im Vergleich zu der ersten Periode von August 2005 bis Februar 2006 ist die Strahlzeit in der zweiten Periode (April 2006 bis März

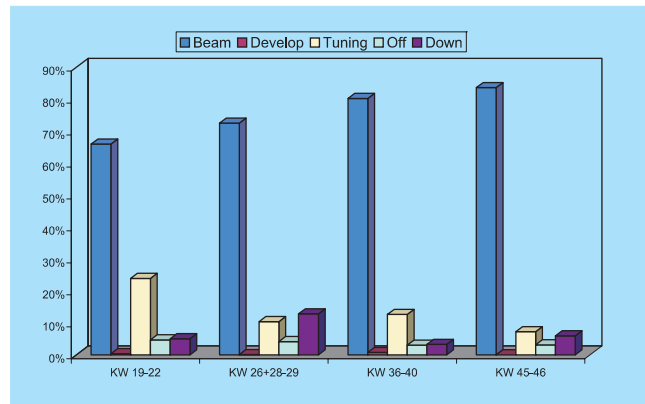


Abbildung 107: Strahlzeit für Nutzer-Experimente seit April 2006 im Vergleich zur Einstellzeit (Tuning), Ausfallzeit (down) und planmäßiger Betriebsunterbrechung (Off).

2007) für die Verbesserung des FEL-Strahlbetriebes erhöht worden (Abbildung 106). Die zusätzlichen Studienzeiten zahlen sich in einer deutlich besseren Strahlqualität aus, die die Ausbeute der Experimente deutlich erhöht hat.

Eine wichtige Prozedur, die während der FEL-Studienzeiten eingeübt wurde ist der Wechsel der FEL-Wellenlänge von Experiment zu Experiment. Ein Wellenlängenwechsel bedeutet eine Veränderung der Elektronenstrahlenergie, was eine komplizierte Optimierungsprozedur nötig macht. Mehr als 14 verschiedene Wellenlängen im Bereich von 47 bis 13 nm wurden eingestellt und die dazugehörigen Parameter des Beschleunigers gespeichert. Der Wechsel der Wellenlänge gelingt jetzt meist in weniger als zwei Stunden, wenn auch die Feineinstellung der Wellenlänge noch schwierig ist.

Abbildung 107 zeigt den langsamen Anstieg der effektiven Strahlzeit während der Nutzerperioden seit April 2006 auf jetzt 80%. Die Zeit, die für das Einstellen (Tuning) benötigt wird, ist deutlich reduziert worden. Die Ausfallzeiten liegen konstant um die 10%.



Die zukünftige Synchrotronstrahlungsquelle PETRA III

Zur Vorbereitung des Umbaus von PETRA II in eine dedizierte Lichtquelle sind die Arbeiten weiter vorangetrieben worden.

Um die angestrebte Emittanz von 1 nmrad zu erreichen, muss die Strahlungsdämpfung von PETRA III erheblich erhöht werden. Dies wird durch den Einbau von 20 vier Meter langen Dämpfungswiggler erreicht. Sie werden in enger Zusammenarbeit mit dem Budker-Institut in Novosibirsk gebaut. In 2006 wurde der erste Prototyp eines vier Meter langen Wiggler gebaut und getestet. Nach Auswertung der Tests wurden noch kleinere Veränderungen an der Auslegung der Wiggler vorgenommen und dann mit der Serienproduktion begonnen. Die ersten Magnete werden zu Beginn des Jahres 2007 bei DESY eintreffen. Die Apparatur zur Beschichtung der Wigglerkammern mit NEG-Material ist fertig konstruiert und wurde in Teilen aufgebaut. Die ersten Versuche zur Beschichtung sollen zu Beginn des nächsten Jahres durchgeführt werden.

Die Arbeiten am Vakuumsystem der Dämpfungswigglerstrecke sind weitergeführt worden.

Um die Vakuumkammer im Bereich der Dämpfungswiggler vor zu starker Belastung durch Synchrotronstrahlung zu schützen, sind drei Typen von Absorbern unterschiedlicher Länge notwendig. Die sogenannten regulären Absorber von 80 cm Länge sind im wesentlichen fertig konstruiert. Zu klären sind noch einige Fragen im Zusammenhang mit der Wasserkühlung. Die Auslegung der 4 m langen Absorber und der 6 m langen Absorber ist weitgehend abgeschlossen. Gestelle und Justiereinrichtungen für die Wiggler und Absorber sind ausgearbeitet worden. Nach Klärung einiger Detailfragen kann im folgenden Jahr mit der Serienproduktion der Komponenten begonnen werden.

Um von den kleinen Strahldimensionen zu profitieren, muss die Strahlage mithilfe eines Rückkopplungssystems stabilisiert werden. Die Strahlage wird dabei über eine anspruchsvolle Elektronik gemessen. In diesem Jahr wurden weitere Versuche mit einer Prototyp-elektronik durchgeführt, um die Spezifikation für die Beschaffung der Monitorelektronik zu erstellen. In diesem Zusammenhang wurden auch Messungen an der ESRF durchgeführt, um den Einfluss des Strahlstroms und der Verteilung der Bunche in der Maschine auf die Lagemessung zu untersuchen. Um auf die Lage des Teilchenstrahls Einfluss zu nehmen, werden spezielle Magnete benötigt, von denen einige Prototypen beschafft wurden. Diese Magnete wurden im Zusammenspiel mit neu entwickelten Netzgeräten getestet, um sowohl die Anforderungen an die Serie für die Magnete wie auch für die Netzgeräte festzulegen.

Im Zusammenhang mit der Strahlagestabilität sind einige Untersuchungen bezüglich der statischen und dynamischen Eigenschaften der neuen Experimentierhalle durchgeführt worden. Es stellte sich z. B. heraus, dass starker Wind Einfluss auf die Bodenplatte hat. Um diesen Einfluss zu minimieren, ist das Fundament der Halle verändert worden. Die Träger der Hallenwände werden auf ein tief gegründetes spezielles Pfeilersystem gestellt.

Die ersten Serienmagnete für das umzubauende Achtel sind geliefert und getestet worden. Die gelieferten Magnete erfüllen die Spezifikationen. Für den Betrieb von PETRA III sind einige Spezialmagnete notwendig, wie z. B. gedrehte Quadrupole, die alle in 2006 ausgelegt worden sind und deren Beschaffung weitgehend gestartet wurde. Die Lieferung der Ersatzspulen für die existierenden PETRA Magnete lief wie geplant weiter.

Die Auslegung der Magnetträger für das neue Achtel ist abgeschlossen. Es wurde ein Konzept entwickelt, das die Justierung der Magnete mit der geforderten Genauigkeit von etwa 50 µm erlaubt. Die Magnete werden dann auf dem Girder mittels Klebung endgültig fixiert. Die Stabilität dieser Fixierung konnte erfolgreich nachgewiesen werden. Die dynamischen Eigenschaften der Girder sind untersucht worden und erfüllen die Anforderungen.

Die Fertigung der Kammern für die Bögen der sogenannten alten Achtel PETRA III sind fortgeführt worden. Zu Testzwecken ist ein kleiner Bogenabschnitt in PETRA II eingebaut worden, um die Konditionierung des Vakuums und die Verlässlichkeit der Wasserkühlung zu überprüfen. Dieser Kammerabschnitt hat sich wie erwartet verhalten, insbesondere haben sich die Vorhersagen bezüglich der Zeit für die Konditionierung des Vakuumsystems bewahrheitet. Die Anforderungen an die Geraden-Stücke sind weitgehend festgelegt worden.

Die Konstruktion der Komponenten für das neue Achtel ist praktisch abgeschlossen. Der erste Prototyp einer ca. 5 m langen Undulatorkammer ist geliefert worden. Dieser Prototyp wurde noch einigen weiteren Bearbeitungsschritten unterworfen und deren Einfluss auf die

Stabilität der Kammer untersucht. Die Auslegung der Absorber wurde noch einmal kritisch beleuchtet und in Teilen verändert, sodass deren Fertigung nun gestartet werden kann.

In Zusammenhang mit dem Vakuumsystem wurde der Einfluss von Querschnittsänderungen der Kammerapertur auf die Strahldynamik untersucht. Der Einfluss aller relevanten Elemente ist untersucht worden, und die Ergebnisse sind in einer Datenbank zusammengestellt worden. Nach den bisherigen Abschätzungen sollte der geplante Gesamtstrom sowie der Einzelbunch-Strom erreichbar sein.

Für einen zuverlässigen Betrieb von PETRA III sind etliche Verbesserungen an der existierenden Infrastruktur notwendig. Die Wasserkühlung der Maschine wird komplett erneuert. Wesentliche Komponenten dafür wurden 2006 bestellt. Ebenfalls erneuert wird die Senderstromversorgung, die im Berichtszeitraum spezifiziert und ausgeschrieben wurde. Zum Ende des Jahres ist der größte Teil der neuen Anlage in Auftrag gegeben worden.

Die Arbeiten zur Erneuerung der Mittelspannungsanlagen wurden in 2006 begonnen. Wesentliche Komponenten für die neuen Anlagen wurden bestellt.

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 Ångström-Bereich. Sowohl die Beschleuniger-Technologie als auch das SASE-Prinzip sind an der VUV-FEL Anlage FLASH bei DESY (in kleinerem Maßstab und bei größeren Wellenlängen im Ultraviolett-Bereich) erfolgreich erprobt. Die XFEL Röntgenstrahlungsquelle der vierten Generation ermöglicht Untersuchungen mit räumlicher Auflösung im atomaren Bereich sowie zeitlicher Auflösung im Bereich der Dynamik chemischer Bindungen in Molekülen und wird einer Nutzer-Gemeinde aus zahlreichen wissenschaftlichen Disziplinen völlig neue Forschungsmöglichkeiten eröffnen. Die Finanzierung der Baukosten der Anlage liegt zu ca. 60% beim Bund und den Ländern Hamburg und Schleswig-Holstein, ca. 40% sind von ausländischen Partnern zu erbringen.

Bei den vorbereitenden Arbeiten für die Europäische Röntgenlaser-Anlage XFEL wurden im Berichtszeitraum entscheidende Meilensteine erreicht. Der Technische Entwurfsbericht wurde plangemäß Mitte 2006 fertig gestellt, am 25. Juli vom European Project Team (EPT) an das International Steering Committee (ISC) übergeben und vom ISC uneingeschränkt akzeptiert. Ebenfalls im Juli erfolgte seitens der zuständigen Behörde (Landesbergamt Clausthal-Zellerfeld) die Feststellung des Plans für die Errichtung und den Betrieb der Anlage. Bei den Entwicklungsarbeiten und der Industrialisierung für die technischen Komponenten wurden wichtige Fortschritte erzielt.

Die Projektvorbereitung hat damit zum Ende des Berichtszeitraums plangemäß einen Status erreicht, von dem aus mit der Realisierung des Projekts begonnen werden kann. Mit dem offiziellen Startschuss für die Errichtung der Anlage wird für das erste Halbjahr 2007 gerechnet, abhängig vom Fortschritt der zurzeit laufenden bilateralen Verhandlung zwischen Deutschland und den internationalen Partnern bezüglich der auswärtigen Finanzierungsbeiträge.

Technischer Design Report

An der Erstellung des TDR (DESY-2006-097) waren über 200 Wissenschaftler und Ingenieure aus 69 Instituten beteiligt. Der Bericht beschreibt detailliert die wissenschaftlichen Ziele und die technische Auslegung der XFEL Anlage. Er enthält ebenfalls eine Beschreibung der Projektkosten, des Zeitplans und der Projektorganisation.

Im Zuge der Erstellung des TDR wurde eine Überarbeitung der zuerst im TESLA-TDR supplement (DESY-

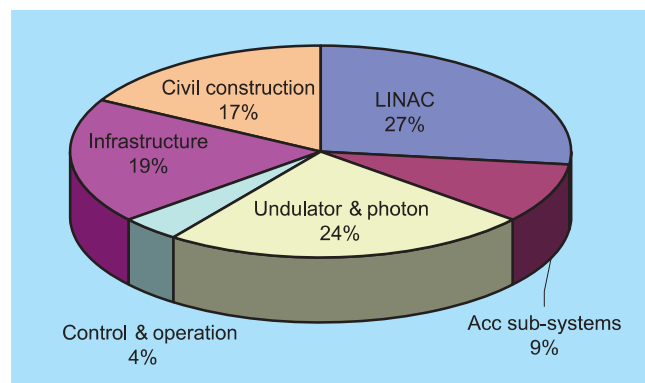


Abbildung 108: Verteilung der Gesamtkosten von 986 M€ für den Bau der XFEL Anlage.

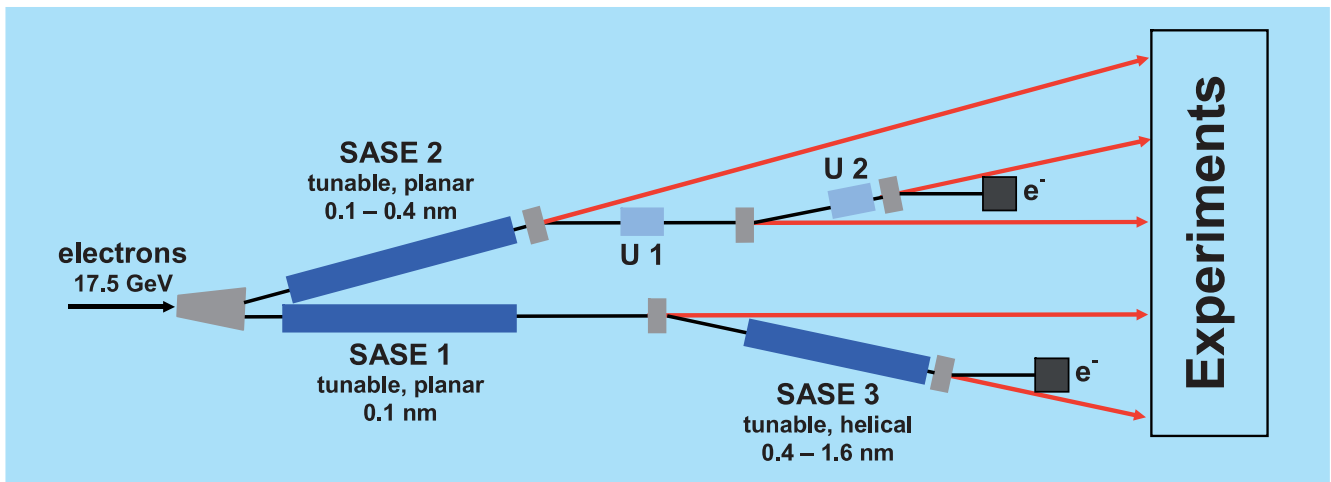


Abbildung 109: Auslegung der Photonen-Strahllinien.

2002-167) vorgelegten Kostenschätzung vorgenommen, um unter anderem Design-Modifikationen und Veränderungen in der Marktlage (z. B. durch die Entwicklung von Rohstoffpreisen) zu berücksichtigen. Die Gesamtkosten für den Bau der Anlage belaufen sich auf 986 M€, wovon etwa drei Viertel auf Investitionen und ein Viertel auf Personalkosten entfallen. Die Verteilung der Kosten auf die verschiedenen Anlagen-Teile ist in Abbildung 108 gezeigt.

Die Errichtung der Anlage bis zum Beginn des Strahlbetriebs wird etwa sechseinhalb Jahre in Anspruch nehmen. Danach werden die insgesamt fünf Undulator-Strahlführungen (zehn Experimentierplätze) für FEL- und spontane Strahlung (Abbildung 109) sukzessive in Betrieb genommen, so dass im neunten Jahr nach Baubeginn alle Experimentiereinrichtungen für wissenschaftliche Nutzer zur Verfügung stehen.

Planfeststellungsverfahren und Vorbereitung der Baumaßnahmen

Die Vorbereitung der Tiefbaumaßnahmen für den XFEL (Tunnelgewerke, Zugangsschächte, Experimentierhal-

lenschacht und Injektorkomplex) wurde weiter vorangetrieben. Hierzu wurden die zuvor in einem engen Raster durchgeführten Baugrundaufschlussbohrungen ausgewertet. Als ein wichtiges Ergebnis der Bodenerkundungen stellte sich heraus, dass die im Bereich der Verteilungsschächte für die Photon-Strahlführungen auf dem späteren Betriebsgelände Schenefeld geplante große offene Baugrube nicht realisiert werden kann, sodass auch in diesem Bereich die Tunnel mit einer Tunnelbohrmaschine aufgeföhren werden. Eine entsprechende Planänderung wurde erarbeitet und der Planfeststellungsbehörde (das Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie in Clausthal-Zellerfeld) zugestellt.

Es wurde eine Arbeitsgruppe unter Hinzuziehung eines externen Projektsteuerers eingerichtet, welche die Erstellung der umfangreichen Ausschreibungsunterlagen für die Tiefbaugewerke 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.

Im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens wurden in mehreren Arbeitssitzungen mit der Planfeststellungs-



Abbildung 110: Das supraleitende Beschleunigermodul Nr. 6 auf dem im Herbst 2006 fertig gestellten Teststand in Gebäude 70.

behörde offene Fragen erörtert und beantwortet. Die Planfeststellungsbehörde hat am 20. Juli bekannt gegeben, dass der Plan für den Bau und den Betrieb des XFEL festgestellt wird. Der ca. 350 Seiten lange Planfeststellungsbeschluss wurde vom 9. August bis zum 23. August ausgelegt, die Klagefrist gegen den Beschluss lief am 25. September ab.

In regelmäßigen Treffen zwischen Vorhabensträger, Bund und Ländern wird die Frage des Grunderwerbs kontinuierlich verfolgt. Die zeitliche Verzögerung der Planfeststellung ist insofern nicht kritisch, als sie sich nicht auf dem kritischen Pfad bewegt. Dieser wird momentan durch den Starttermin der Veröffentlichung der Ausschreibung für die Tiefbaugewerke bestimmt. Aus technischer und planerischer Sicht kann die Ausschreibung begonnen werden.

Entwicklungsarbeiten und Industrialisierung

Die umfangreichen technischen Entwicklungsarbeiten wurden fortgesetzt. Die folgende kurze Zusammenfassung beschränkt sich auf einige Beispiele.

Der Teststand für Beschleunigermodule wurde fertig gestellt und in Betrieb genommen. Damit ist es jetzt möglich, Module im kalt gefahrenen Zustand mit voller Hochfrequenzleistung zu testen, ohne die Notwendigkeit sie dazu in den FLASH-Linac einzubauen (und damit dessen Betrieb zu unterbrechen). Der später für die Energieerhöhung bei FLASH vorgesehene Modul Nr. 6 wurde bereits auf dem Teststand installiert (Abbildung 110) und die Tests haben begonnen.

Bei den Klystrons für das Hochfrequenzsystem des Linearbeschleunigers konnte die Qualifizierung zweier weiterer industrieller Anbieter mit dem erfolgreichen Test von jeweils einem Prototypen nachgewiesen werden. Die Arbeiten in der Industrie konzentrieren sich jetzt darauf, modifizierte Klystrons für den späteren Einbau im Tunnel in horizontaler Lage zu entwickeln.

Die systematischen Untersuchungen der Elektropolitur (EP) von Niob-Cavities wurde fortgesetzt. Es zeichnet sich ab, dass ein etwas vereinfachtes Verfahren, bei dem nur ein einmaliger EP-Durchgang angewendet wird und die Endbehandlung nach dem 800-Grad Glühen in einer kurzen chemischen Beize besteht, zu guten Resultaten für den erreichbaren Beschleunigungsgradienten führt. Parallel wurde ein alternatives Herstellungsverfahren (zuerst am JLAB in den USA erfolgreich angewendet) erprobt, bei dem die Cavities direkt aus groß-

kristallinem Niob-Ingots gefertigt werden. Die Indikation aus ersten Tests ist, dass damit gefertigte Cavities auch mit einfacher chemischer Beize (ohne EP) gute Ergebnisse erreichen können.

Bei der Undulator Entwicklung wurde ein mechanischer Antrieb erprobt, mit dem eine Einstellung der Magnetöffnung mit einer Genauigkeit von besser als einem Mikrometer erreicht werden kann. Die Prototypen-Entwicklung im Rahmen der Industrialisierung der Undulator-Fertigung wurde bei drei Firmen begonnen.

Für das Entwicklungsprogramm experimenteller Detektoren wurde ein *Call for Expression of Interest* durchgeführt. Die aus den eingegangenen Bewerbungen von einem Expertengremium ausgewählten Konsortien werden im Verlauf des Jahres 2007 mit den Entwicklungsarbeiten beginnen.

Aktivitäten in Zeuthen

PITZ

Der Photoinjektor-Teststand Zeuthen (PITZ) dient der Entwicklung und Optimierung von Elektronenquellen für Freie-Elektronen-Laser (FEL), siehe Abbildung 111.

Das Hauptziel 2006 bestand in der Bereitstellung einer voll konditionierten Ersatz-Elektronenquelle für FLASH (Gunkavität 3.1), die auch schon mit Elektronenstrahl betrieben wurde.

Die Gunkavität 3.1 wurde im Dezember 2005 aus Hamburg geliefert. Beim Ausheizen zeigte sich ein Leck im Wassersystem. Dieses wurde in Hamburg repariert. Ab 16.3. wurde die Gunkavität im Schichtbetrieb konditioniert. Nach etwa einem Monat Konditionierungszeit waren die maximalen FLASH-Betriebsparameter erreicht (3.5 MW Spitzenleistung, 0.9 ms Pulslänge,

10 Hz Wiederholrate). Dies entspricht einer mittleren Leistung von 31.5 kW und einem Tastverhältnis von 0.9%. Nach Inbetriebnahme des erweiterten Diagnose-Strahlrohrs und mehreren Ausfällen des 10 MW Hochfrequenz(HF)-Systems wurde die Gunkavität 3.1 im Oktober unter Verwendung des TESLA-Boosters, der den Strahlimpuls von ca. 5 MeV/c auf ca. 13 MeV/c erhöhte, charakterisiert.

Das wesentliche Ergebnis der Messungen ist eine transversale Emittanz von 1.5 mm mrad gemittelt für beide transversale Koordinatenrichtungen und etwa 1.2 mm mrad für die horizontale Koordinatenrichtung. Im November wurde Gunkavität 3.1. ausgebaut und steht bereit für den Einsatz an FLASH.

Eine wesentliche Einschränkung des Betriebes stellte die beschränkte Leistung des 10 MW Klystrons sowie



Abbildung 111: Blick auf die Anlage PITZ im November 2006.

insbesondere die häufigen Ausfälle des zugehörigen HF-Systems dar. Dies führte im gesamten Jahr zu Einschränkungen der Nutzungsfähigkeit der Gesamtanlage. Es gab mehrmals Ausfälle der Bouncer-Spule, was auf falsche Dimensionierung zurückzuführen ist.

Im November wurde ein neues Klystron ausgeliefert, das in Hamburg konditioniert worden war. Dieses kann nach Reparatur und Wiederinbetriebnahme der Bouncer-Spule in Betrieb gehen.

Vereinbarungsgemäß wurde eine von BESSY entwickelte Gunkavität im Februar bei PITZ installiert und ab dem 14.3.06 für mehrere Monate konditioniert. Hauptziel war hierbei das Erreichen einer möglichst hohen mittleren Leistung und Test des Kühlsystems der Gunkavität. Einschränkung stellte die begrenzte Leistung des 10 MW Klystrons dar. Beim Konditionieren mit maximaler Spitzenleistung wurden 5.5 MW Spitzenleistung und 0.42 ms HF-Pulslänge bei 10 Hz Wiederholrate erreicht. Dies entspricht einer mittleren Leistung von 22 kW und einem Tastverhältnis von 0.42%. Beim Konditionieren mit dem Ziel maximaler mittlerer thermischer Leistung wurden 42 kW mittlere Leistung bei 10 Hz und einer HF-Pulslänge von 1 ms erreicht (Tastverhältnis 1%).

Die Anlage wurde durch zahlreiche Diagnose-Elemente und Vakuum-Komponenten erweitert. So wurden drei neue Emittanz-Messsysteme (EMSY), die in Sofia (INRN) gebaut wurden, montiert, in Betrieb genommen und im Messbetrieb eingesetzt. Zwei Module mit zahlreichen Diagnose-Elementen wurden komplett aufgebaut. Die in 2005 entwickelten Schirmstationen wurden eingebaut und werden zum Jahreswechsel in Betrieb genommen. Die für die Messung des longitudinalen Profils des Elektronenpulses vorgesehene Station wird zum Einbau am Jahresanfang 2007 vorbereitet. Das zugehörige optische System wurde entwickelt und ist montagebereit. Weiterhin wurde an der Entwicklung wesentlicher Diagnosekomponenten für PITZ gearbeitet:

- Die physikalische Entwicklung des Hochenergiespektrometers HEDA1 ist abgeschlossen und die technische Entwicklung hat im November begonnen. Der Dipolmagnet wurde von LAL Orsay

entwickelt und ist einbaubereit, die Quadrupolmagnete wurden bereits geliefert.

- Die Entwicklung einer ablenkenden HF-Kavität (Deflektor) ist in der ersten Phase abgeschlossen. Sie dient zur Messung der longitudinalen Elektronenpulsverteilung und zur Messung der Emittanzverteilung innerhalb eines Elektronenpulses. Die Entwicklung des Phasenraum-Thomographiemoduls ist an die des HF-Deflektors gekoppelt und wird fortgesetzt. Eine technische Designstudie läuft.
- Das zweite Hochenergiespektrometer wird entwickelt.

Eine Überhitzung des Hauptsolenoiden im Juli führte zu einer Betriebsunterbrechung. Der Solenoid wurde ausgetauscht und das technische Interlock überarbeitet.

Die Strahlperiode wurde im Herbst durch den Ausfall der Bouncer-Spule am 27.10.06, einer der wesentlichen Komponenten des Klystron Modulators, beendet.

Der Konditionierungsteststand (CTS) wurde entwickelt und die meisten Komponenten sind gebaut. Er dient der Konditionierung von HF-Gunkavitäten.

In Hamburg läuft die Herstellung von zwei weiteren Gunkavitäten (4.1, 4.2), die im Jahre 2007 fertig gestellt werden. Parallel dazu läuft der Bau einer weiteren neu entwickelten Nachbeschleuniger-(Booster)-Kavität, des CDS-Boosters, der ebenfalls 2007 an PITZ ausgeliefert werden soll und 2008 eingebaut, konditioniert und vermessen wird.

Parallel zu den aufgezählten Hardware-Arbeiten wurde an zahlreichen weiteren Entwicklungsthemen gearbeitet:

Im MBI werden in Zusammenarbeit mit PITZ drei Projekte entwickelt, zum Beispiel ein mischendes Zweikanalsystem mit dem Ziel, Laserpulse von 20 ps Länge (FWHM) mit Anstiegs- und Abfallszeitzeiten von weniger als 2 ps zu erreichen. Weiterhin wird ein System entwickelt, das zur Vermessung des longitudinalen Profils von Laserpulsen mit einer Zeitauflösung von weniger als 1 ps dienen soll. Durch transversale Laserstrahlformung mit asphärischen Linsen soll die Nutzung der Laserenergie effektiviert werden.

Arbeiten zur Laserstrahldiagnostik werden im Rahmen einer Diplomarbeit fortgesetzt, Ein Photovervielfacher und eine Quadrantendiode werden zur pulsweisen relativen Messung der Laserenergie und der pulsweisen relativen Messung der Laserstrahlposition genutzt.

An verschiedenen Photo-Kathoden wurden Messungen von Dunkelstrom und Quantenausbeute durchgeführt. Die Ergebnisse wurden auf dem Workshop für Photokathoden mit hoher Quantenausbeute für HF-Gunkavitäten in Mailand im Oktober vorgetragen. Zur Charakterisierung von Photokathoden wurde die Zusammenarbeit mit BESSY und INFN Milano erweitert und XPS-Messungen in BESSY vorbereitet.

Im November wurde ein Workshop mit internationaler Mitwirkung zur dreidimensionalen Laser-Impulsformung in Zeuthen durchgeführt, der von PITZ organisiert wurde.

Strahldynamik-Simulationen wurden hinsichtlich mehrerer Themen durchgeführt, so für den aktuellen PITZ Aufbau sowie zur Vorbereitung von Messungen zur generellen Photo-Injektor Optimierung. Weiterhin wurden für die Entwicklung und Optimierung der PITZ2-Diagnostik Simulationen durchgeführt, so für Emitanzmessung, den ablenkenden HF-Deflektor, das Phasenraum-Tomographie-Modul und das Spektrometer HEDA1. Für den zukünftigen PITZ2-Aufbau wurden für mehrere Booster-Kavitätsvarianten Simulationen durchgeführt. Zur Vorbereitung des Aufbaus der Elektronenquelle für den Europäischen XFEL wurde mit mehreren Varianten für unterschiedliche thermische Emittanzen und Laserpulsformen (zylindrisch und ellipsoid) simuliert.

Im Januar 2007 wird die Gunkavität 3.2, die baugleich zu Gunkavität 3.1 ist, in PITZ eingebaut werden. Diese Gunkavität soll bis zu einem Beschleunigungsgradienten von 60 MV/m konditioniert werden, um noch kleinere transversale Emittanzen erzielen zu können.

Modulator Test Facility (MTF)

Im Rahmen des WPI des europäischen Röntgenlaserprojektes XFEL wird in Zeuthen eine Modulator Test



Abbildung 112: Blick in die fertig gestellte Modulator Test Facility (MTF) Halle.

Facility aufgebaut. Hier werden die Modulatoren für den XFEL aufgebaut und erprobt. Im Juni letzten Jahres wurde die MTF-Halle fertig gestellt (Abbildung 112) und mit der Installation der Infrastruktur (Wasser, Elektroversorgung, Elektronikracks, Verkabelung) wurde begonnen.

Parallel dazu konnte in enger Zusammenarbeit mit der Gruppe MHF-p und V4 die Ausschreibung für die Entwicklung von XFEL-Prototyp-Modulatoren abgeschlossen werden. An zwei Firmen wurde ein Auftrag zur Entwicklung und zum Bau von Prototypen vergeben.

FLASH

Bestimmung der Strahlparameter mit einem Ionisation Profil Monitor

Für das erfolgreiche Durchführen von Experimenten am FLASH sind genaue Kenntnisse über die Strahl-lage und das Strahlprofil notwendig. Eine Möglichkeit zur Bestimmung dieser Größen bietet ein *Ionisation Profil Monitor* (IPM). Der Photonenstrahl ionisiert auf seinem Weg durch das Strahlrohr das darin befindliche Restgas. Die dabei entstehenden Ionen werden in einem homogenen elektrischen Feld seitlich auf eine Mikrokanalplatte beschleunigt. Das Abbild des Strahls auf dem Phosphorschirm der Mikrokanalplatte wird mit

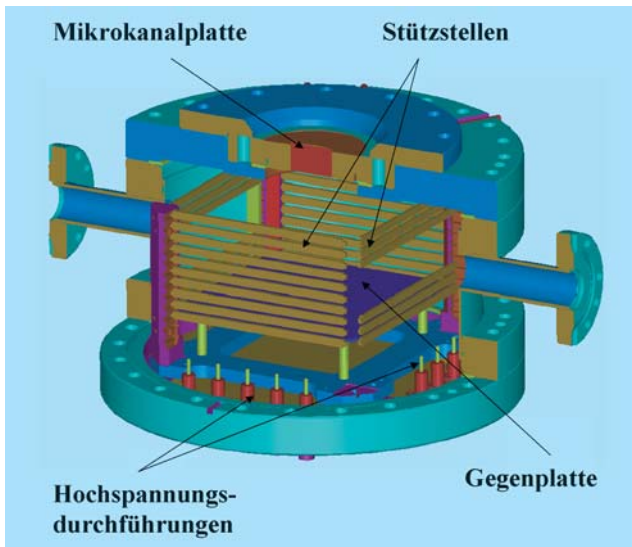


Abbildung 113: Modell eines IPM mit Potentialstützen.

einer CCD-Kamera aufgenommen, in einen Rechner eingelesen und weiter ausgewertet. Auf diese Weise gestattet der IPM die Messung der Strahlparameter ohne Beeinflussung des FEL-Strahls und somit eine Optimierung bzw. Anpassung der Maschinenparameter im laufenden Betrieb.

Bei der technischen Realisierung wird das homogene elektrische Feld durch Potential-Stützstellen erzeugt (siehe Abbildung 113). Als Alternative zu den Stützstellen können auch Netze benutzt werden, die den vom Strahl passierten Raum abdecken. Der Vorteil gegenüber den Stützstellen ist die Festlegung eines Potentials in einem größeren Raum. Beide Varianten wurden mit ähnlichen Resultaten am FLASH getestet. Das Abbild des Strahls auf dem Phosphorschirm des IPM dient zur Bestimmung der charakteristischen Parameter wie Schwerpunkt, Breite und Profil. Im Allgemeinen wird das räumliche Auflösungsvermögen eines IPM hauptsächlich durch folgende Faktoren beeinflusst:

- Impulsübertrag auf die Elektronen und Ionen bei der Ionisation
- Die thermische Bewegung der Ionen
- Einfluss des Teilchenstrahls und der Vakuummessgeräte
- Der Einfluss des Detektors selbst

Um verschiedene Strahlpositionen zu simulieren, wurde der IPM in einer Hubvorrichtung installiert, welche eine vertikale Variation der Detektorlage ermöglicht. Die Position wurde mit einem LVDT-Messsystem gemessen. Die Messungen ergaben eine lineare Abhängigkeit zwischen der Strahlposition und der Abbildung auf dem MCP, siehe Abbildung 114. Die Ausgleichsgerade hat dabei einen Anstieg von 1.0602 und liefert damit eine fast ideale eins zu eins Abbildung zwischen Strahlage und Abbildung auf dem MCP. Die Streuung der Differenzen Ausgleichsgerade – Messwert liegen in der Größenordnung von $50\mu\text{m}$. Dabei wurden die letzten beiden Punkte, welche von der Linearität abweichen, vernachlässigt. Diese befanden sich direkt im Randbereich der Mikrokanalplatte, in welchem das elektrische Feld jedoch nicht mehr homogen ist.

Beim der nächsten großen Betriebsunterbrechung des FLASH (März bis Juli 2007) werden zwei IPM für den Routinebetrieb in die Strahlführung eingebaut. Dabei werden die beiden Detektoren um 90° versetzt, um eine horizontale und vertikale Messung der Strahlparameter zu gewährleisten.

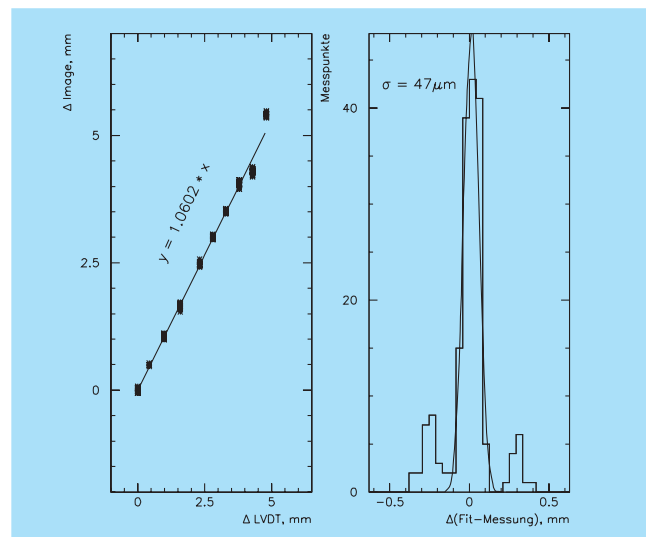


Abbildung 114: Zusammenhang zwischen der wahren und der gemessenen Strahlposition (linkes Bild). Für die Bestimmung der Auflösung wurde die Differenz zwischen dem Wert, welche die Ausgleichsgerade liefert und dem Messwert gebildet. Die Verteilung der Differenzen zeigt das rechte Bild.

Arbeiten der Gruppen des Bereichs Beschleuniger

Beschleunigerphysik und Beschleunigerkoordination

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 hat im Jahre 2006 den drei experimentell genutzten Wechselwirkungszonen longitudinal polarisierte Elektronen und Positronen, jeweils sowohl mit positiver als auch negativer Helizität, zur Verfügung gestellt. Die dabei erreichten run-gemittelten Strahlpolarisationen lagen zwischen 30% und 40%. Als Spitzenpolarisation wurden zum Run-Ende hin zum Teil 45%, in speziellen Kombinationen von Teilchenladung und Helizität bis zu 50% erreicht. Der Arbeitspunkt war im gesamten Jahr für optimale Luminosität, nicht für optimale Polarisation gewählt. Das bedeutet, dass die nicht-kollidierenden Bunche (typischerweise nur 6 von 180) generell stärker polarisiert waren (normalerweise 50–55%, gelegentlich bis zu 60%).

Weitere Polarisationsaktivitäten

Mit Hilfe aufwendiger Simulationen wurde die Phänomenologie der sogenannten *snake*-Resonanzen, die experimentell nachweisbar Depolarisation bei der Beschleunigung von polarisierten Teilchen in Kreisbeschleunigern mit sibirischen Schlangen hervorrufen,

untersucht. Die Simulationen wurden mit der haus-eigenen *spin-dynamics* Applikation SPRINT, sowie spezieller, auf besondere Teilaspekte optimierter neuer Software durchgeführt. Die Untersuchung mündete in einer Veröffentlichung im *New Journal of Physics* **8** (2006) 296.

Die Simulationen zur Depolarisation in Dämpfungsringen sowie im *beam delivery system* des International Linear Colliders wurden weiter vorangetrieben. Der entscheidende Schritt, die Einbeziehung nichtlinearer Orbitbewegung, ist in Arbeit. Diese Studien sind wichtig für die Abschätzung der Polarisationsverluste bei der Injektion von Strahlen großer Emittanz in Dämpfungsringen sowie für die Beurteilung der nutzbaren Polarisation am Wechselwirkungspunkt.

Strahldynamik des XFEL

Die FEL Beam Dynamics Gruppe beschäftigt sich mit Fragen der Optik und Dynamik des Elektronenstrahls in den FEL Projekten. Beiträge und Tagesordnungen der wöchentlichen Gruppenbesprechungen und weiteres befinden sich auf der Web-Seite: <http://www.desy.de/xfel-beam>.

Die Strahldynamik im Bunchkompressorsystem des XFEL ist mit einer rigoros dreidimensionalen sogenannten *Start to End* Simulationen berechnet worden. Die Ergebnisse weichen kaum von denen im TADR gezeigten ab, was im Wesentlichen auf die relativ großen Sicherheitsmargen des Designs gegen Störungen durch Raumladungs- und kohärente Synchrotronstrahlungseffekte zurückzuführen ist.

Das Kompressordesign ist weiter optimiert worden, um die Empfindlichkeit auf Störungen der Phasen-

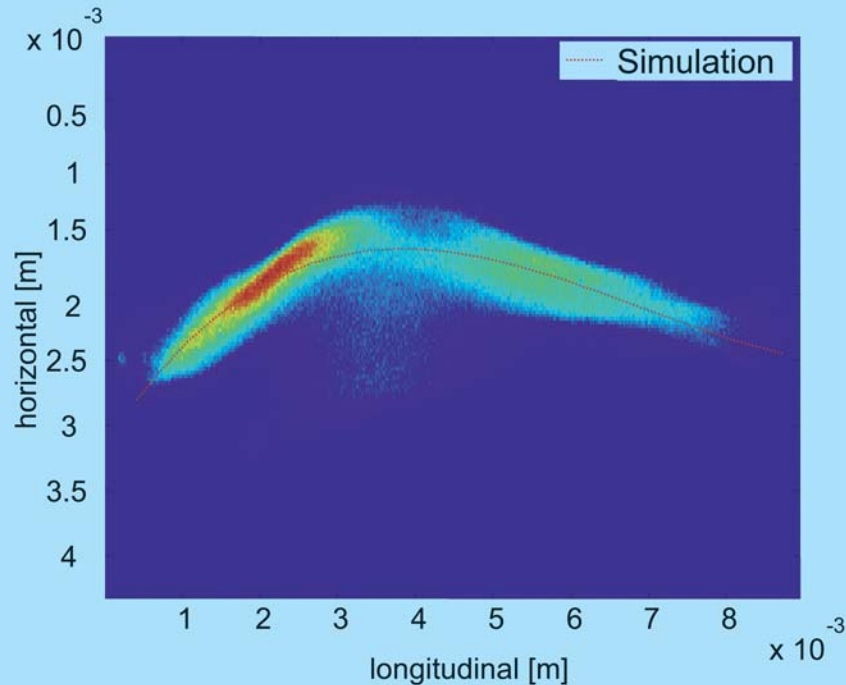


Abbildung 115: Messung und Simulation der Deformation der Schwerpunktverteilung eines Strahls unter Einfluss kohärenter Synchrotronstrahlungseffekte in FLASH.

und Amplitudeneinstellungen der HF Systeme zu verringern. Mit einem analytischen Modell wurde ein Arbeitspunkt für die Kombination der TESLA HF Module mit dem dritten harmonischen HF System gefunden, der die longitudinale Kompression gegen Phasenschwankungen um etwa zwei Größenordnungen unempfindlicher macht. Allerdings muss die Amplitudenstabilität besser werden und die Leistung des dritten harmonischen HF Systems verdoppelt werden.

Um geringere Anforderungen an Phasen- und gleichzeitig Amplitudenstabilität zu erreichen, wurde ein Computerprogramm geschrieben, das gleichzeitig HF Stabilitätsanforderungen und die Stärke der sogenannten Microbunching-Instabilität berechnet und minimiert.

Die Stärke dieser im Wesentlichen durch Raumladungsfelder getriebenen Instabilität wird mit einem sogenannten *laser heater* reduziert, der im Injektorbereich die Breite der unkorrelierten Energieverteilung

im Strahl kontrolliert erhöht. Der Elektronenstrahl durchquert dazu einen etwa einen Meter langen Undulatormagneten zusammen mit einem Laserstrahl. Die Wirkungsweise dieses Systems ist im Detail analysiert und berechnet worden.

Neben den Wake-Feldern entlang des Linacs und der Undulatorkammer sind auch die in Kickern, Septa und in den Vakuumkammern des Strahlverteilungssystems auftretenden Felder berechnet worden, um dann ihren Einfluss auf den SASE-Prozess zu simulieren. Als Folge dieser Untersuchung könnte der Durchmesser der Vakuumkammern in der Strahlverteilung und damit die Öffnung der verwendeten Magnete reduziert werden.

Bei FLASH sind mithilfe der transversal deflektierenden HF-Sektion (LOLA) erstmals Strahlgrößen und -schwerpunkte entlang der longitudinalen Position im Bunch unter dem Einfluss kohärenter Synchrotronstrahlung (CSR) gemessen worden (siehe Abbildung 115).

Der Strahl wird dazu in der ersten Magnetschikane des Bunchkompressorsystems überkomprimiert, d. h. er wird innerhalb der Schikane sehr kurz und erreicht einen hohen Spitzenstrom, verlässt die Schikane aber fast mit der gleichen Länge wie vorher. Dadurch kann der CSR-Effekt zur Wirkung kommen, ohne von Raumladungseffekten nach der Kompression überdeckt zu werden.

Die Messung und Korrektur von Orbit und Dispersion in FLASH ist jetzt mithilfe eines MatLab-Programms mit einem *Graphical User Interface* möglich. Das Programm kann unter *Tools* und *More Tools* vom Hauptmenü des FLASH-Kontrollsystems aufgerufen werden. Die Dispersion entlang der Maschine konnte erfolgreich korrigiert werden.

Da die Korrekturen sehr generell spezifiziert werden können, ermöglicht das Programm zum Beispiel Orbit-Beulen, die mit iterativer Orbitkorrektur abgeschlossen werden können, auch wenn die Stärken der Magnete zwischen den Korrekturspulen nicht genau bekannt sind.

Für das ILC Projekt sind mit einer Weiterentwicklung des Wake-Field-Berechnungsprogramms ECHO die Wakes der vorgeschlagenen optimierten Cavity-Geometrien berechnet und für Strahldynamikrechnungen parametrisiert zur Verfügung gestellt worden. Das Programm wurde auch in Zusammenarbeit mit dem LCLS Projekt zur dreidimensionalen Berechnung von Wake-Feldern der Kollimatoren und Vakuumkammerübergängen benutzt.

Elektronenstrahl-Optik

Die Strahl-Optik wurde weiter entwickelt und den geänderten Anforderungen angepasst. So ist die Kollimationssektion nochmals überarbeitet worden, die Strahlwege zu den Dumps wurden optimiert und vereinfacht.

Der Prototyp einer Datenbank für die strahloptischen Elemente wurde fertig gestellt. Die Komponenten des XFELs wurden bisher in einer Excel-Datei verwaltet und bearbeitet. Eine neu entwickelte Web-Oberfläche,

auf der Basis von Oracle Forms, ermöglicht nun die verteilte Verwaltung der Komponenten. Die zugrunde liegende Datenbank erlaubt umfangreiche Ansichten festzulegen und stellt die Gültigkeit der Einträge untereinander sicher. Eine Weiterverarbeitung der Daten wird durch ein Export in eine Excel-Datei ermöglicht. Durch ein Sicherheitssystem können die Zugriffsrechte individuell eingestellt werden.

Ein gemeinsamer Workshop mit Kollegen des Paul-Scherrer-Instituts war dem Problem der longitudinalen Strahlstabilisierung im XFEL gewidmet.

Die Zusammenarbeit mit CANDLE in Armenien hat sich auf die Untersuchung von Störfeldern in der XFEL Strahlverteilung sowie numerische Untersuchungen der SASE Performance konzentriert.

Programme, Software und Computer

CSRtrack Auf der Web-Page <http://www.desy.de/xfel-beam/csrtrack/> steht das Programm CSRtrack interessierten Benutzern zur Verfügung. Ein MatLab Programm zur Darstellung von CSRtrack-Resultaten sowie eine Bedienungsanleitung sind dort auch zu finden. Die Version 1.2 erlaubt benutzerdefinierte Wake-Felder, um zum Beispiel *resistive wall wakes* in Magnetschikanen berücksichtigen zu können. Die zur Simulation der extrem nicht-gaussförmigen Strahlungsverteilungen von FLASH entwickelten eindimensionalen Stromglättungs-Algorithmen sind ebenfalls in Version 1.2 implementiert.

Paralleles Rechnen Für *Start-to-End*-Rechnungen bei den FELs ist die PC-Farm um zwanzig 64-Bit-Prozessoren erweitert worden. Die Parallel-Version des Injektor-Simulationsprogramms ASTRA, zu finden auf: <http://tesla.desy.de/~lfroehli/astra/>, rechnet in ihrer neuen Version jetzt auch den Strahl-Transport durch Dipolmagnete.

SASE Simulation mit Alice Ein neues Programm für die Simulation des FEL SASE Prozesses ist entwickelt und getestet worden. Das Programm stellt eindimensionale, rotationssymmetrische und 3-D Algorithmen zur

Verfügung. Ein sogenannter *perfectly matched layer* Ansatz wird benutzt, um die notwendige Größe des numerischen Gitters zu minimieren.

Zusammenarbeit mit der Helmut-Schmidt-Universität Das Computer-Programm zur nichtlinearen Optimierung der longitudinalen Phasenraumverteilung in Linacs mit Bunchkompressoren ist erstellt und wird getestet. Im nächsten Schritt soll in das Programm ein Modell der Raumladungskräfte integriert werden.

FLASH Optic Server Package Eine umfangreiche MatLab Library steht jetzt zur Verfügung, die aktuelle Optik Daten on-line berechnet und zur Verfügung stellt. Die Strahlfokussierung durch die TESLA-Beschleuniger-Module sowie die Undulatoren wird korrekt berücksichtigt. Das Programmpaket ist umfassend dokumentiert in: <http://ttfinfo.desy.de/TTFelog/index.jsp>, wo auch viele Beispiele und Tipps zu seiner Benutzung zu finden sind. In der neuesten Version ist auch die Optimierung der Strahloptik (*Optic Matching*) ermöglicht worden.

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 sogenannten *Beam-Dumps* in allen Speicherringen und Synchrotrons. Weitere Aufgaben stehen in Zusammenhang mit dem Betrieb des TTF/FLASH-Linac. Der Schwerpunkt liegt hier im Bereich des Injektionssystems, dem Betrieb einer speziellen Einrichtung zur Messung sehr kurzer Elektronenbunche, der Koordination des Aufbaus eines 3.9 GHz

HF-Systems zur Linearisierung des Beschleunigerfeldes, sowie in der Koordination des TTF/FLASH-Linac Betriebes.

Elektronen / Positronen LINAC II und PIA

In 2006 wurden für HERA zunächst Elektronen und ab Mai Positronen geliefert. DORIS wurde durchgängig mit Positronen beliefert. Außerdem wurden die Teststrahlen ausgiebig genutzt. Nach der Umstellung von HERA auf Positronen wurden zunächst die Teststrahlen mit Positronen betrieben, so dass keine Umschaltung der Betriebsarten nötig war. Nachdem die Betriebsabläufe gefestigt und die Effizienz der Positronenerzeugung zuverlässig hoch war, wurde der Teststrahlbetrieb wieder mit Elektronen durchgeführt. Dies reduziert die Belastung des Konverters und somit dessen Aktivierung und das Risiko von Ausfällen.

Der letzte der ursprünglich 14 bestellten Beschleunigerabschnitte wird derzeit 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. Dadurch wurde die Dauer der Behandlung verlängert. Inzwischen ist aber ein stabiler Betrieb bis zu einer Spitzenleistung von 60 MW möglich, der Abschluss der Konditionierung ist innerhalb der ersten Wochen von 2007 zu erwarten.

Ein weiterer Abschnitt wartet auf die Konditionierung, hier muss aber der Pumpstutzen nachgearbeitet werden, da Kontrollmessungen ein schlechtes Stehwellenverhältnis am Eingangskoppler ergaben. Ein letzter Abschnitt ist in der Fertigung. Wenn die Behandlung dieses Beschleunigerabschnitts abgeschlossen ist, ist die Serie vorerst abgeschlossen.

Der Neubau eines Reservesenders für das 125 MHz System in PIA steht kurz vor der Vollendung. Die Restarbeiten sollen im Frühjahr 2007 abgeschlossen werden. Der Test des neuen Senders wird vermutlich

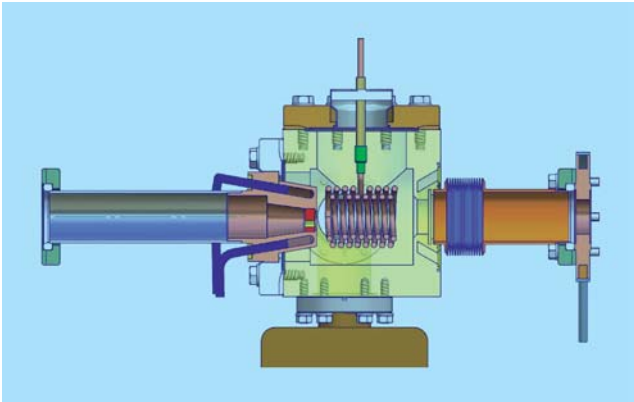


Abbildung 116: Längsschnitt durch den neuen Positronenkonverter. Der Elektronenstrahl trifft von links kommend auf den eigentlichen Konverter, eine Blende aus Wolfram (rot), die dort erzeugten Positronen werden in einer Solenoidlinse eingefangen. Für den Elektronenbetrieb wird der einlaufende Strahl mittels Ablenkspulen durch das Loch der Blende (gelb) geführt.

erst im Sommershutdown 2007 durchgeführt werden können.

Für den LINAC II sind zwei größere Neukonstruktionen geplant. Zum einen soll der Konverter durch ein verbessertes Modell 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. So soll auf Lötstellen der Kühlleitungen im Vakuum vollständig verzichtet werden. Der neue Konverter (siehe Abbildung 116) soll kompakter werden, was eine bessere strahlenschutztechnische Abschirmung erlaubt. Während des Betriebes soll eine Abschirmung aus Aluminium die Aufaktivierung der näheren Umgebung reduzieren, beim Wechsel des Konverters eine Bleihaube die Strahlung reduzieren.

Die Konstruktion des Konverters ist nahezu abgeschlossen, erste Fertigungs- und Bestellaufträge wurden erteilt. Der Einbau des neuen Konverters ist 2008 vorgehen.

Weiterhin ist eine Erneuerung der Elektronenquelle geplant. Die bisherige Elektronenquelle ist eine ge-

pulste Diodenkanone. Der Pulser ist mit Öl gefüllt, sodass lediglich ein einziger Keramikisolator das Ölvolumen vom Vakuum des Linacs trennt. Ein Bruch dieser Keramik hätte große Folgen für das Vakuumsystem. Auch wenn dieses Risiko seit Betriebsbeginn des LINAC II (1968) akzeptiert wird, so wurde angesichts der Tatsache, dass auch weiterhin Positronen zu erzeugen sind und damit hohe Elektronenstrahlströme von der Quelle gefordert werden, entschieden, Studien durchzuführen, um die Eignung verschiedener neuer Konzepte zu prüfen. In der engeren Wahl befinden sich eine Photo-HF-Kanone und eine thermionische HF-Kanone (siehe Abbildung 117). Letztere konnte vom MaxLab/Schweden zur Verfügung gestellt werden. Zurzeit werden Vorbereitungen getroffen, den Abschnitt-Teststand für den Test dieser Elektronenkanone nutzbar zu machen. In diesem Test soll überprüft werden, ob eine solche Kanone dauerhaft genügend Strom bei voller Pulsrate von 50 Hz liefern kann.

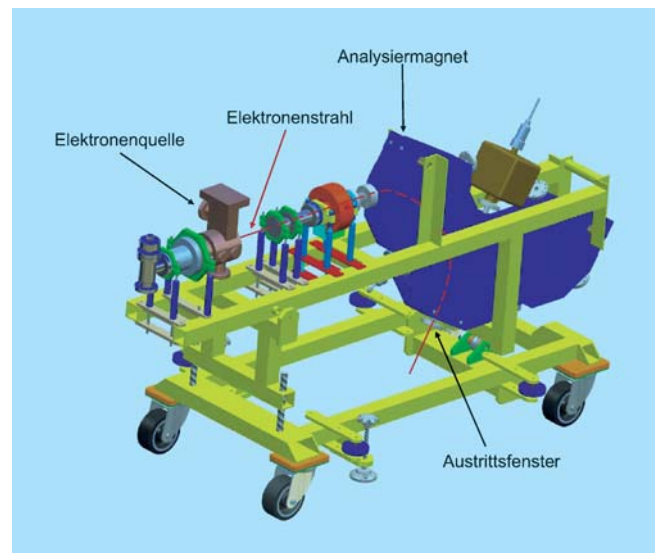


Abbildung 117: Die MAXLAB Photo-HF-Kanone auf dem Teststand. Links im Bild ist die aus Kupfer gefertigte Kanone zu sehen, deren Elektronenstrahl durch Diagnoseeinrichtungen hindurch in den sogenannten Analysiermagneten (blau), eine Kombination aus Dipolen und Quadrupolen geführt wird. Ablenkrichtung im Analysiermagnet ist nach unten.

LINAC III

Am LINAC III stehen für die Erzeugung zwei verschiedene H^- -Quellen zur Verfügung: eine sogenannte Magnetron-Quelle, sowie eine Hochfrequenz H^- -Quelle, die aufgrund ihrer Ergebnisse weltweit Anerkennung findet. Die Weiterentwicklung dieser Quelle ist im Rahmen eines EU Förderungsprogramms unterstützt worden. Auf der im Mai 2006 veranstalteten Abschlusskonferenz der Kooperation, an der acht Institute beteiligt waren, wurde der bei DESY erreichte Weltrekord bzgl. Strahlstrom als das wohl wichtigste Ergebnis der Kooperation bezeichnet. Auch nach Ende der Förderungsperiode wurden die Versuche mit dem zurzeit höchsten und längsten H^- -Strahlpuls (siehe Abbildung 118), der mit einer alkalifreien Quelle erzielt wurde, in 2006 fortgesetzt.

Aufgrund der Erfolge hat sich CERN entschieden, die DESY HF H^- -Quelle für das LINAC IV Project zu verwenden. Die Quelle war 2006 patentiert worden. In einem Vertrag zwischen CERN und DESY wurde eine Vereinbarung über den Technologietransfer getroffen. Die für die Fertigung bei CERN erforderliche umfang-

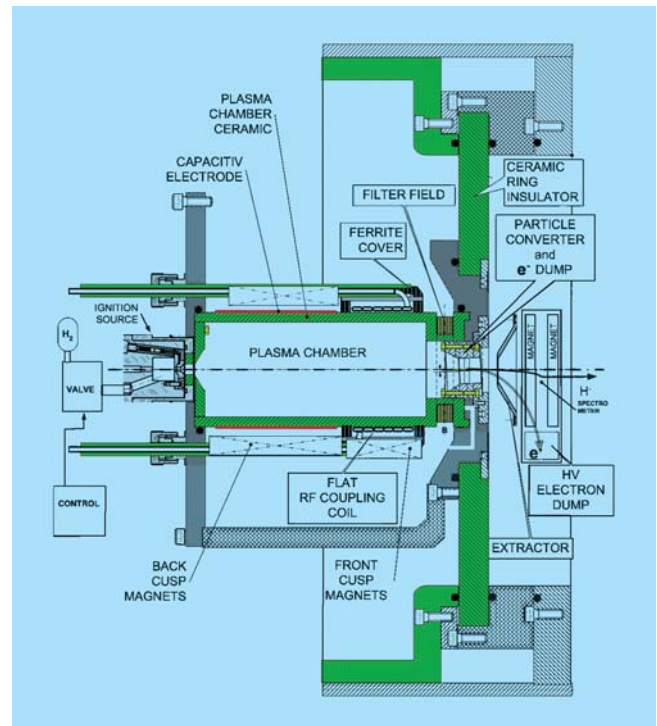


Abbildung 119: Die neue DESY HF Multicusp H^- -Ionen-Quelle mit vollisolierter Plasmakammer und longitudinal geteiltem Teilchenkonverter.

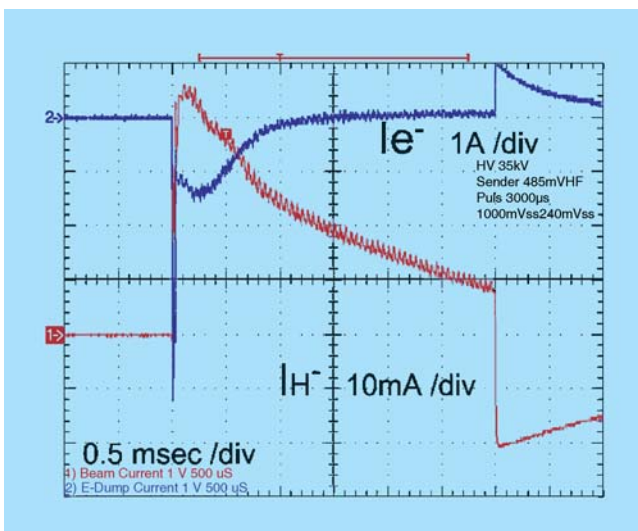


Abbildung 118: Oszillogramm des längsten und höchsten H^- -Strompulses, der bislang mit einer alkalifreien Quelle erzeugt wurde. 1: H^- -Strom (40 \rightarrow 30 mA) und 2: Elektronenstrom.

reiche Dokumentation machte die Umstellung auf ein neues Zeichenprogramm und ein teilweises Neuzeichnen erforderlich. Dies hat zu einer teilweisen Neugestaltung der Quelle geführt (siehe Abbildung 119).

Die wesentliche Änderung ist, das Plasma nur noch im Bereich des Teilchenkonverters mit Metall in Berührung kommt. Die das Plasma führenden Cusp Magnete wurden optimiert. Die Hochfrequenzeinkopplung ist durch Ummanteln der Koppelschleife mit Ferriten verbessert worden. Zusätzlich wurde eine kapazitive Elektrode eingeführt, die das Hochfrequenzfeld führt. Die Leistungseffektivität konnte so von 2 auf 5 mA/kW bei 7 kW gesteigert werden. Auch wurde bei dieser geringen Leistung eine normierte vertikale 90% rms Emittanz von nur 0.235π mm mrad bei 35 mA gemessen. Der Teilchenkonverter zur Erzielung hoher H^- -Ströme ist als konisch zylindrisches Element optimiert worden. Die Elektroden des Konverters sind longitudi-

nal geschlitzt, um den Elektronenstrom bereits vor der Plasmablende weiter zu minimieren.

Kickerlabor

Bei den Arbeiten im Kickerlabor wurden im Berichtszeitraum einige Entwicklungsarbeiten an bestehenden Anlagen vorgenommen. Um einen zuverlässigen PIA Betrieb auch für PETRA III zu gewährleisten, wurden zwei Pulsgeneratoren mit unterschiedlichen Thyatron Typen (CX 1154 und CX 1157) ausgestattet. So konnten Erfahrungen bzgl. der Zuverlässigkeit, Stabilität und der Lebensdauer gesammelt werden. Daneben gab es eine Reihe von Konstruktionsaufgaben für PETRA III. Anders als ursprünglich geplant sogenannten Feedbackkicker mit einer zusätzlichen Wasserkühlung ausgestattet werden. Der Entwurf der neuen Injektionskicker ist abgeschlossen.

Wie schon im letzten Berichtszeitraum erwähnt stellt der in der Elektronen-Quelle entstehende Dunkelstrom ein Problem beim Betrieb des TTF/FLASH-Linac dar. Zur Reduzierung dieses Dunkelstroms wurde ein vertikal ablenkender Schwingkreis-Kickermagnet (1 MHz) mit Leistungsverstärker eingebaut. Beim Versuch diesen in den normalen Strahlbetrieb zu implementieren, stellte sich schnell heraus, dass sich der Arbeitspunkt des Leistungsverstärkers immer wieder verschiebt. Deshalb wurde ein neuer Schwingkreis-Pulsgenerator entwickelt. Ein weiterer ähnlicher Schwingkreis-Kicker (200 kHz) wurde für ein Sweeper-System des PITZ Strahlfänger entwickelt. Dieser Magnet besitzt einen horizontalen und vertikalen Leiter, der jeweils von einem Pulsgenerator (Sinus Schwingung) angesteuert wird. Dadurch wird der Bunchzug nach einer Lissajousfigur auf dem Dumpblock verteilt. So kann eine punktuelle Temperaturerhöhung verhindert werden.

Über die Zuverlässigkeit und Stabilität der DESY II In- und Ejektion sind im letzten Jahr Daten gesammelt worden. Diese Erfahrungen sind in die Konstruktion der neuen Pulsgeneratoren eingeflossen. Die Entwicklung eines Einschaltfeldes zur Ansteuerung der neuen Pulsgeneratoren ist mit der Erprobung eines Prototypen abgeschlossen.

Für das XFEL Projekt entstand ein erster Pulsgenerator mit einer Wiederholrate von 5 MHz. Um die Pulsstabilität zu verbessern wurden selektierte Halbleiterschalter verwendet und zusätzlich die Halbleiter mit Wasser gekühlt. Daneben wurde eine Rechteckpulsgenerator mit einer Pulslänge von 300 μ s entwickelt.

Septumlabor

Im Rahmen des PETRA III Projektes wurde die Konstruktion des neuen e^+/e^- Injektions-Septums für PETRA inklusive angrenzender Vakuumkammern abgeschlossen. Der Bau des Septums ist für das erste Halbjahr 2007 vorgesehen. Für die spätere Montage in PETRA wird zur Zeit an einer Übersichtszeichnung gearbeitet.

Der am LINAC II eingesetzte Pulser für die Ansteuerung der sogenannten Positronenlinse, einem Einfangmagneten unmittelbar hinter dem Konverter, wird zurzeit überarbeitet. Ein Halbleiterschalter soll die bisher eingesetzten Thyristoren ersetzen. Die interne Wasserkühlung wird dabei entfallen und durch eine Luftkühlung ersetzt werden. Weitere Zielsetzung ist eine Vereinfachung des internen Aufbaues und des Gesamtgewichtes nebst besserer Wartbarkeit, da der zzt. eingesetzte Pulsgenerator bei Reparaturen Hebezeug zum Ausbau der Halbleiter benötigt.

Für den Betrieb der LINAC III H^- -Quelle wurde im Berichtszeitraum ein neuer Halbleitersender verwendet. Die aus den Testläufen gewonnenen Erkenntnisse machen jedoch eine Überarbeitung des Leitungsteils des Senders erforderlich, da die Endstufe mit den zu Beginn der Zündphase auftretenden erheblichen Blindleistungen (kapazitiver wie induktiver Art) überlastet war. Geändert wurde die Ansteuerung und Anzahl der Leistungshalbleiter, um so das Schaltverhalten im Bereich hoher Ausgangsströme bzw. Auslastung der Einzeltransistoren zu verbessern. Durch eine zusätzlich vorgesehene Entkopplung von Schalt- und Lastkreis sollen die Auswirkungen hoher Blindleistungen auf die Endstufe reduziert werden. Zurzeit wird der Endstufenteil umgebaut.

TTF / FLASH-Linac

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

Die Phasen- und Amplitudenstabilität der HF der Elektronenstrahlquelle wurden deutlich verbessert.

Die transversal ablenkende Struktur LOLA zur Messung sehr kurzer Elektronen-Bunche wurde 2006 regelmäßig betrieben. Das System zur HF-Synchronisierung wurde umgebaut, was eine Vereinfachung des Systems und eine erhebliche Steigerung der Zuverlässigkeit ergab. Hierbei erwies es sich als nützlich, dass der Gruppe MIN durch die Betreuung der TTF/FLASH Cavity-BPMs Hochfrequenzfilter im Bereich von 1.5 GHz zur Verfügung standen.

Die LOLA Struktur wurde für Messungen der Bunchlänge, des longitudinalen Phasenraums, der Slice-Emmittanz und von Effekten durch die kohärente Synchrotronstrahlung im ersten Bunchkompressor benutzt.

Zur Verbesserung der Strahlqualität der komprimierten Bunche und zur Erhöhung der Effektivität der Komprimierung wird ein System bei der 3. Harmonischen der 1.3 GHz Grundfrequenz des Linacs aufgebaut. Ein Klystron nebst Vorverstärker und Hohlleiterkomponenten ist inzwischen eingetroffen und der Umbau eines Pulsnetzgerätes (Modulator) wird weiter vorangetrieben. Dazu wird der Modulator des ehemaligen *Capture Cavities* aus dem ersten Injektor von TTF I umgebaut. Die Umbauten beziehen sich auf den Austausch unbrauchbar gewordener Komponenten, kleinerer Modifikationen in der Anordnung und einer Modernisierung der Interlock- und Steuerelektronik. Herzstück der Umbauten ist eine neue Elektronikkarte mit Transistoren zur Ansteuerung der eigentlichen Modulatorröhren. Sollte sich das Konzept dieser Karte als erfolgreich erweisen, kann es auch in Kickerpulsenergiegeneratoren und anderen Klystronmodulatoren verwendet werden.

Hochfrequenztechnik –MHF–

Die Gruppe MHF ist verantwortlich für den Betrieb und die Entwicklung aller Hochfrequenzanlagen bei DESY. Die Arbeiten teilen sich drei Untergruppen. MHF-e ist zuständig für die 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–

HERA und XFEL

Die supraleitenden Beschleunigungsstrecken in HERA sind in den früheren Jahresberichten ausführlich beschrieben worden. Die 16 supraleitenden Resonatoren sind auf 8 Kryostate verteilt und werden jeweils über einen coaxialen Einkoppler mit Hochfrequenzleistung versorgt. Im Jahr 2006 gab es mit diesem supraleitenden System keine nennenswerten Ausfälle. Lediglich kleine Korrekturen an dem Kühlsystem eines Einkopplers mussten vorgenommen werden.

Neben der Betreuung dieser Beschleunigerstrecke ist MHF-sl in Zusammenarbeit mit anderen Gruppen des M-Bereiches beteiligt an den Vorarbeiten zum XFEL Projekt. Im Wesentlichen sind dies die Überarbeitung bzw. die Erstellung der Fertigungsunterlagen und des Qualitätsmanagements der zukünftigen Fertigung von XFEL Resonatoren sowie die Eingangskontrolle, Frequenzabstimmung und schließlich der Messung der Resonatoren aus der laufenden Resonator Fertigung. Der Betrieb von FLASH wird unterstützt durch Betreuung

der supraleitenden Resonatoren des Linacs. Weitere Arbeiten beziehen sich auf die Montage der HF Einkoppler sowie die Konditionierung der Koppler und Resonatoren in neuen supraleitenden Modulen für FLASH und FNAL.

Arbeiten im Rahmen des EU Projektes CARE

Seit Beginn des Jahres 2004 werden bei DESY die R&D Arbeiten an supraleitenden Beschleunigungsresonatoren (*Joint Research Activity Superconducting Radio Frequency*) durch das von der EU geförderte Project CARE (*Coordinated Accelerator Research in Europe*) begleitend unterstützt. Die Führung dieses Konsortiums liegt in den Händen von MHF-sl. Eine ausführliche Beschreibung der Aktivitäten findet sich im DESY Jahresbericht 2004 und auf den Webseiten <http://care.lal.in2p3.fr/> und <http://jra-srf.desy.de/>. Als Beispiele für den wissenschaftlichen Fortschritt im Jahre 2006 sei folgendes genannt.

Die Weiterentwicklung einer neuen Reinigungsmethode von supraleitenden Resonatoren mittels CO₂ Jet: Eine wesentliche Begrenzung der Leistungsfähigkeit von supraleitenden Resonatoren wird durch Feldemissionsstrom an Staubpartikeln auf der Oberfläche verursacht. Üblicherweise werden Niob Resonatoren mit einem Hochdruck Wasserstrahl (ungefähr 90 bar) gereinigt. Die Reinigung mit einem CO₂Jet bietet den Vorteil einer höheren Effektivität, die durch thermische Spannungen des kalten CO₂ Jets verursacht werden. Weiterhin ist die Abwesenheit von Wasser aus der Sicht der Vakuumtechnik von großem Vorteil. An Nb Proben konnte im *DC Scanning Microscop* der deutlich verbesserte Reinigungseffekt gegenüber Hochdruckwasser durch verringerte Anzahl der Staubpartikel belegt werden. Auch zeigten einzellige Test Resonatoren sehr hohe Beschleunigungsfeldstärken ohne Feldemissionsstrom.

Die Weiterentwicklung des Hochfrequenz Kontrollsystems für supraleitende Resonatoren. Als Beispiel einer neuen Entwicklung ist die Implementierung einer neuen Soft- und Hardware zu nennen, die den stabilen

Betrieb des FLASH Beschleunigers bei unterschiedlichen Feldstärken innerhalb eines Makropulses zulässt. Hier ist insbesondere die sehr fruchtbare Zusammenarbeit der Experten von DESY und der Universitäten von Warsaw und Lotz auf dem Gebiet der digitalen Signalaufbereitung und der entsprechenden Kontrollsoftware zu nennen.

Die Fertigung und Tests von Resonatoren aus ein-kristallinem Niob Material zur Untersuchung der maximal möglichen Feldstärken ohne Beeinträchtigung durch negative Effekte an Korngrenzen.

Die Einbindung der chemischen Industrie bei der Bestimmung einer geeigneten Methode zur Qualitätskontrolle des Elektrolyten zur Elektropolitur von Niob Resonatoren.

Einkoppler für FLASH und XFEL

Gemeinsam mit IN2P3 in Orsay werden systematische Studien zur Konditionierung von Hochfrequenz Leistungseinkopplern betrieben. Im Jahr 2005 konnte die notwendige erste Konditionierzeit durch optimierte Prozessparameter halbiert werden. Danach wurde eine saubere Demontage- und Lagerungsprozedur der Koppler in trockenem Stickstoff entwickelt. Nach dem Transport zu DESY und erneuter Montage reduzierte sich die notwendige erneute Konditionierung auf ca. 20 Stunden, was einer deutlichen Reduzierung der früheren Konditionierzeiten entspricht.

Weiterhin wurden Messungen zur Verbesserung und Vereinfachung der Kopplerdiagnose durchgeführt. Mit Blick auf den XFEL sollen mehrere Diagnose Sensoren zur Vermeidung von Hochfrequenz Überschlägen durch eine einzige Messung am Koppler-Innenleiter ersetzt werden.

Normalleitende Beschleunigungsstrecken für Elektronen/Positronen –MHF-e–

MHF-e betreibt die 500-/1000-MHz-HF-Systeme aller Elektronen-Ringbeschleuniger. Diese HF-Systeme be-

stehen 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 2006 liefen die acht 500-MHz HF-Systeme 225 Tage für den Betrieb von HERA-e. Während dieser Zeit wurden 165 technische Störungen registriert. Das entspricht ca. fünf Störungen pro Woche. In 1/5 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 75% der Fälle der Strahl verloren. Die Störanfälligkeit des HF-Systems mit den supraleitenden Kavitäten war im Berichtsjahr deutlich geringer als in den vergangenen Jahren.

Die mittlere Zeit zwischen zwei Störungen war:

- Supraleitendes HF-System: 8 Tage
- Normalleitende HF-Systeme: 7–28 Tage (Mittelwert 11 Tage)

HF-Betrieb für DORIS III

Im Berichtsjahr 2006 liefen die zwei 500-MHz-HF-Systeme 267 Tage für den Betrieb von DORIS III. Während dieser Zeit wurden 22 technische Störungen registriert. Das entspricht ca. zwei bis drei Störungen pro Monat. Die beiden HF-Systeme DORIS-NL und DORIS-SR waren zu gleichen Teilen an den Störungen beteiligt.

Die mittlere Zeit zwischen zwei Störungen war:

- HF-System DORIS-NL: 24 Tage
- HF-System DORIS-SR: 24 Tage

Vorbereitende Arbeiten für PETRA III

Für PETRA III wurden Planungs- und Entwicklungsarbeiten durchgeführt, am Bau von Prototypen gearbeitet, Serienfertigungen über die Abteilung FE gestartet, Komponenten beschafft und Abnahmemessungen an gelieferten Komponenten durchgeführt. Insgesamt war für PETRA III im Jahresmittel ein Personal-Äquivalent von 10 Vollzeit-Arbeitskräften gebunden. Ein Arbeitsschwerpunkt war die Software-Entwicklung für das Kontroll- und Interlock-System. Sie erforderte ein Drittel des genannten Personal-Äquivalents. Es wurde am strukturellen Aufbau von Software-Modulen, an der Architektur des Datenverkehrs und an der Entwicklung von Algorithmen für eine vollautomatische Cavity-Regelung gearbeitet.

Bei PETRA III ist beabsichtigt, Elektronik im Ringtunnel, direkt unter den Cavities zu installieren und zu betreiben. Zur Ermittlung der Betriebszuverlässigkeit unter Strahlungseinfluss werden seit zwei Jahren Elektronik-Komponenten im DORIS-Ringtunnel getestet. Dazu wird eine repräsentative Elektronik an verschiedenen Orten mit erhöhter Strahlungsintensität betrieben (in Bogennähe, dicht am Strahlrohr). Die Untersuchungen sind noch nicht abgeschlossen. Erste Ergebnisse lassen jedoch vermuten, dass die Elektronik bis zu einer Dosis von mindestens 10 Gy zuverlässig arbeitet. Bei DORIS beträgt die Dosisleistung im Bereich der Cavities ca. 1 mGy pro Tag. Bei PETRA III wird aufgrund des wesentlich größeren Dipol-Radius und des ebenfalls wesentlich größeren Abstands der Cavities von den Bögen, mit einer deutlich geringeren Strahlendosisleistung gerechnet.

Ein wichtiger Meilenstein war der erfolgreiche Upgrade der herkömmlichen Cavity-Einkopplungen auf 250 kW HF-Vorlaufleistung und die Bereitstellung von 12 Einkopplungen für den späteren Einbau bei PETRA III. Seit Juni 2004 wurden 33 Cavity-Einkopplungen konditioniert und getestet, um eine verlässliche Prozedur zu finden, die ursprünglich einmal für 60 kW konzipierten sogenannten PETRA-Koppler sicher bis 250 kW betreiben zu können. Konditionierungen und Leistungstests wurden an einem Kopplertest-Cavity durchgeführt, das von einem 600-kW Klystron gespeist wird. Zum



Abbildung 120: Cavity-Einkopplung vom Typ PETRA. Typisches Bild eines während der Konditionierung gescheiterten Kopplers. Die grauen Stellen auf dem Mittelleiter stammen vom überschüssigen Silberlot einer Lötung nahe der Keramik. Dort wurde durch Überschläge Material abgetragen, welches sich dann als grauer Schleier auf der Kupferoberfläche des Außenleiters und in Schlierenform auf der Keramik des Vakuumfensters abgelagert hat.

Konditionieren fährt eine Automatik die HF-Leistung zyklisch hoch und herunter und erhöht bei jedem erfolgreich absolvierten Zyklus die Maximalleistung um 10 kW. Die Automatik überwacht dabei das Vakuum im Test-Cavity und senkt die HF-Leistung automatisch ab, sobald der Vakuumdruck den Grenzwert von $5 \cdot 10^{-7}$ mbar übersteigt. Gewöhnlich macht das Konditionieren der Einkopplungen zunächst gute Fortschritte. Bei vakuumseitigen Überschlägen im Leistungsbereich oberhalb von ca. 150 kW beginnt dann aber meistens eine Degradierung. Es kommt zu immer häufigeren Überschlägen bei immer niedrigeren Leistungen, bis schließlich die Verlustleistung des keramischen Vakuumfensters schon bei einigen 10 kW Vorlaufleistung gefährlich hoch wird. Der Konditionier-Prozess muss dann abgebrochen werden, um einen Bruch des Vakuumfensters zu vermeiden. Die im Konditionier-Prozess gescheiterten Koppler zeigen gewöhnlich vakuumseitig eine graue, manchmal auch rötliche, Belegung des Fensters. Der Belag besteht aus Lotmaterial (Silber-Legierung) oder Kupfer, das bei Überschlägen vom

Mittelleiter des Kopplers abgetragen wurde und sich zum Teil auf der Keramik niedergeschlagen hat (siehe Abbildung 120). In der Vergangenheit war es immer rätselhaft, warum viele Koppler bereits frühzeitig durch eine Vielzahl von Überschlägen und resultierender Bedampfung des Vakuumfensters aufgegeben werden mussten und nur wenige relativ problemlos mehr als 250 kW erreichten.

Durch die folgenden neu eingeführten Maßnahmen wurde erreicht, dass jetzt alle Koppler problemlos und verlässlich auf eine Vorlaufleistung von über 250 kW konditioniert werden können und bei dieser Leistung auch dauerhaft zu betreiben sind.

Sandstrahlen des Mittelleiters Durch das Sandstrahlen wird die Rautiefe der Oberfläche von $R_z = 2-4 \mu\text{m}$ auf $R_z = 9-12 \mu\text{m}$ erhöht.

Koppler-Interlock auf Lichtdetektor-Basis anstatt über Vakuumdruckmessung Der Lichtdetektor überwacht den Koppler vakuumseitig durch ein gegenüberliegendes Quarzfenster.

Modifizierte Konditionierung Senkung der Steilheit der Leistungsrampe von 60 kW/min auf 15 kW/min. Einführung 30 minütiger Zwischenintervalle bei konstanter Leistung. Frequenzmodulation der HF mit einer Modulationsfrequenz von 400 Hz und einem Frequenzhub von 100 kHz.

Die mit Abstand wirkungsvollste Maßnahme ist das Sandstrahlen des Mittelleiters. Durch die im mikroskopischen Maßstab stärker zerklüftete Oberfläche sinkt die Wahrscheinlichkeit für Sekundärelektronen, die Oberfläche mit nennenswerter Energie zu verlassen und weitere Sekundärelektronen zu erzeugen. Damit wird das sogenannte *Multipacting* unterdrückt, das oft ursächlich für Überschläge im Koppler ist.

500-MHz-Klystron-Reserven

Der Engpass an Klystron-Reserven der vergangenen Jahre hat sich im Berichtsjahr ins Gegenteil verkehrt.

Seit Anfang 2005 hätten statistisch sechs der 24 500-MHz/800-kW Klystrons ausfallen müssen. Tatsächlich waren im genannten Zeitraum aber nur zwei Ausfälle zu verzeichnen. Im selben Zeitraum wurden sechs neue Klystrons geliefert und drei Klystrons repariert. Dadurch sind wir heute, ein halbes Jahr vor Beendigung des HERA-Betriebes, in der Situation genügend Klystron-Reserven für die nächsten Jahre zu haben. Aufgrund langer Lieferzeiten und statistisch fluktuierender Klystron-Sterberaten ist es schwierig die Nachbeschaffung von Klystrons so zu terminieren, dass jederzeit ein optimaler Reservebestand zur Verfügung steht. Die erwähnten sechs neuen Klystrons waren bereits Ende 2002 und Anfang 2003 bestellt worden, zu einem Zeitpunkt, als die Reservesituation kritisch war.

Hochfrequenzsysteme 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 FLASH und des geplanten XFELs.

Protonen-HF-Systeme

Im Berichtszeitraum waren bei den Protonen-HF-Systemen keine größeren Unterbrechungen zu verzeichnen. Kleinere Störungen konnten schnell behoben werden bzw. soweit korrigiert werden, dass Reparaturarbeiten an den geplanten Zugangstagen zusammen mit den anderen Wartungsarbeiten durchgeführt werden konnten.

MHF-p hatte sich im Jahr 2005 an Entwicklung, Konstruktion, und Installation des neuen HERA-p longitudinalen Multibunch-Feedbacksystems beteiligt, welches im Kapitel HERA und im Gruppenbericht MSK ausführlich behandelt ist.

FLASH, XFEL und ILC

Der Betreuung des Betriebes und die Durchführung von Reparatur- und Wartungsarbeiten der Hochfrequenzsender des FLASH war ein weiteres Arbeitsgebiet der Gruppe. Da FLASH aus der Tesla Test Facility entstanden ist, wurden die RF-Systemkomponenten über mehrere Jahre entwickelt, installiert und betrieben. Sie spiegeln daher in ihrer Verschiedenartigkeit den Stand der Technik zum Zeitpunkt ihrer Entwicklung wieder. Dies ermöglicht zwar, für zukünftige Großprojekte wie den XFEL oder den International Linear Collider, ILC, Erfahrungen mit Neuentwicklungen zu gewinnen, hat aber andererseits den Nachteil, dass die Zuverlässigkeit und Wartungsfreundlichkeit gegenüber einheitlichen Systemen, die sich weniger an der Grenze der technischen Machbarkeit befinden, reduziert ist.

Neben den geplanten waren auch einige außerplanmäßige Wartungs- bzw. Reparaturarbeiten im Jahr 2006 erforderlich. Dazu zählen besonders der Austausch eines 5-MW-Klystrons für die RF-Gun, Abdichtung eines Wasserlecks an einem 5-MW-Klystron, Austausch eines defekten Hochspannungskondensators und eines defekten Netztransformators in den Hochspannungsmodulatoren.

Geplante größere Wartungsarbeiten waren der Einbau eines 10-MW-Multibeam-Klystrons, Austausch eines Netztransformators in einem Hochspannungsmodulator, Erneuerung des Interlocks an einer RF-Station sowie der Einbau von Higher-Order-Mode Absorbern in einige Hohlleiterteilungen. Außerdem wurde die Installation und Inbetriebnahme einer Reserve RF Station erfolgreich beendet. Der Test der Umschaltung von Betrieb mit einer Standard RF-Station auf Betrieb mit der Reservestation ist für den Beginn des nächsten Jahres geplant.

Die Gruppe führte die Planungs- und Entwicklungsarbeiten für das RF System für den XFEL weiter.

Der Teststand für die 10-MW-Multibeam-Klystrons wurde mit zusätzlicher Diagnostik und neuen Leistungsabsorbern ausgerüstet. Getestet wurden drei 10-MW-Multibeam-Klystrons eines französischen Herstellers. Hier konnte ein großer Fortschritt im Verständnis



Abbildung 121: Die drei bei DESY verwendeten Multibeam-Klystrons THALES TH1801, CPI VKL8301, und TOSHIBA E3736.

des Verhaltens des noch neuartigen Klystrontyps erzielt werden, so dass ein stabiler und zuverlässiger Betrieb möglich ist. Das Multibeam Klystron eines amerikanischen Herstellers wurde ein zweites Mal getestet, nachdem ein Vakuumleck, das Ende des letzten Jahres aufgetreten war, vom Hersteller gedichtet worden war. Eines der wichtigsten Ergebnisse war der erfolgreiche Test des Multibeam-Klystrons eines japanischen Herstellers, welches die geforderten Spezifikationen (10 MW, 1.5 ms, 10 Hz) erfüllte und in einigen Bereichen sogar übertraf. Die Effizienz ist mit 66% größer als mit 65% spezifiziert. Die drei Klystrons sind in Abbildung 121 gezeigt.

Die Spezifikation der horizontalen Version zur XFEL Tunnelinstallation konnte fertig gestellt, die Ausschreibung zur Entwicklung und Fertigung von Prototypen durchgeführt und Aufträge zur Fertigung dreier Prototypen vergeben werden.

Die Spezifikation der Hochspannungsmodulatoren für den XFEL wurde in Zusammenarbeit von DESY Zeuthen, MKK und MHF-p fertig gestellt, das Ausschreibungsverfahren durchgeführt und Aufträge zur Fertigung von zwei Prototypen vergeben. Die Lieferung der Modulatoren wird Anfang 2008 erwartet. Die Tests werden in Zeuthen stattfinden, wo bereits die Bauten für die Modulator-Testhalle erstellt worden.

Die Anforderungsliste der 650-W-Halbleiter-Vorverstärker für die 10-MW-Klystrons wurde überarbeitet. Auf Grundlage der neuen Spezifikation wurde eine Ausschreibung durchgeführt und ein Auftrag für die neuen Vorverstärker vergeben. Die ersten Exemplare sind bereits bei DESY eingetroffen und werden derzeit geprüft.

Für den XFEL wurde eine neue Hohlleiterverteilung mit asymmetrischen *Shunt Tees* als Alternative zu

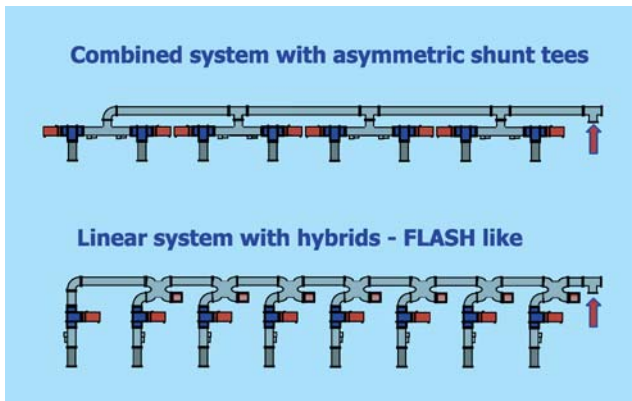


Abbildung 122: Neuartige Verteilung mit asymmetrischen Shunt Tees, unten die lineare Verteilung wie bei FLASH verwendet und als Baseline für XFEL vorgeschlagen.

der bekannten linearen Verteilung entwickelt (Abbildung 122). Die Vorteile sind: eine höhere Flexibilität in der Leistungsaufteilung, die erlaubt die RF Leistung für die supraleitenden Cavities innerhalb bestimmter Grenzen zu ändern, ein kompakterer Aufbau, der eine einfachere Installation im XFEL Tunnel erlaubt und die Möglichkeit eröffnet, fertig getestete Verteilungen im Tunnel als komplette Einheiten zu installieren, und eine kleinere Anzahl und Verschiedenartigkeit der Bauelemente.

Bisher wurden die neuartigen Bauelemente sowohl bei hoher als auch kleiner Leistung getestet. Der Test der vollständigen neuartigen Verteilung bei hoher Leistung ist bei FLASH vorgesehen.

MHF-p beteiligte sich auch an Planung, Aufbau, Inbetriebnahme und Betrieb der neuen Modultestfacility. Dafür wurde eine weitere RF-Station aufgebaut und in Betrieb genommen und eine weitere neuartige Hohlleiterverteilung entwickelt und installiert. Diese neuartige Verteilung soll ermöglichen, die Cavities und deren Koppler bei RF Leistungen zu prozessieren, die 3–4-mal so hoch sind, wie die für den Standardbetrieb benötigten. Derzeit ist ein 5-MW-Klystron in der RF-Station installiert. Es ist aber geplant, ein 10-MW-Klystron zu installieren, um alle acht Cavities eines Moduls bei RF Leistungen bis zu ca. 1 MW zu testen.

Der vom FZK in Karlsruhe entwickelte SMES Modulator wurde mit einer normal leitenden Spule getestet. Die Inbetriebnahme mit supraleitender Spule und Klystron ist für 2007 geplant. Der SMES Modulator soll zukünftig als Teststation für Hohlleiterkomponenten genutzt werden.

Die Test der Puls-kabel, die beim XFEL die 10-MW-Multibeam-Klystrons im Tunnel mit den Hochspannungsmodulatoren in den Hallen verbinden werden, wurde in Zusammenarbeit mit MKK weitergeführt. Um auch den Einfluss auf einen sich im Betrieb befindlichen Beschleuniger bei räumlich mehrere 100 m voneinander getrennten Modulatoren und Klystrons prüfen zu können, wurden zusammen mit MKK Puls-kabel und Interlockleitungen zwischen zwei entfernten Hallen entlang des FLASH-Linacs verlegt. Ein neuer Modulator wird ab Frühjahr 2007 ein Klystron des FLASH mit Hochspannungspulsen aus einer entfernten Halle versorgen.

Neben diesen Aktivitäten beteiligte sich die Gruppe mit mehreren Beiträgen bei verschiedenen Konferenzen. Hervorzuheben sind die Beiträge beim EIFAST Workshop bei DESY, der ILC Beschleunigerschule und der EPAC2006.

Software und Technik zur Kontrolle von Beschleunigern –MST–

Die M-Bereichsgruppe MST betreibt die Kontrollsysteme der Beschleuniger LINAC II und III, DESY II und III, DORIS, PETRA und HERA sowie der dazugehörigen Strahltransportwege. Für diese Kontrollsysteme sowie für das Kontrollsystem von FLASH entwickelt und betreut MST Software. MST betreibt ein umfangreiches Netzwerk mit über 500 angeschlossenen Rechnern und unterhält ein Entwicklungs- und Service-labor für Elektronikmodule zur Steuerung und Überwachung von Beschleunigerteilsystemen oder technischen Beschleunigerkomponenten.

Im Rahmen des Umbaus von PETRA zu PETRA III, einem Speichering zur Erzeugung von Synchrotronstrahlung, ist die Gruppe MST für die Erneuerung der Kontrollsysteme von PETRA, LINAC II und DESY II und weiten Teilen der dazugehörigen Front-End Elektronik zuständig. Darüber hinaus beteiligt sich MST am europäischen Röntgenlaser Projekt XFEL und am GANMVL (Global Accelerator Network Multipurpose Virtual Laboratory) Projekt, das Teil der EUROTeV Studie ist.

Betrieb

Rechnergestützte Beschleunigerkontrollen

Im Berichtsjahr konzentrierten sich die laufenden Arbeiten auf die Bereiche

- Erweiterung, Optimierung und Anpassung von Applikationsprogrammen und zentraler Kontrollsystemsoftware,
- Verbesserte Unterstützung der Betriebsabläufe im Beschleunigerkontrollraum und
- Anpassung der Rechnerinfrastruktur und Erweiterung von automatischen Abläufen.

So wurden zum Beispiel beim LINAC II Programme zur Auslese und Steuerung der neuen Modulatoren angepasst, bei DESY II ein Programm zur Orbitkorrektur bereitgestellt, bei DORIS und PETRA die Möglichkeiten verbessert, mit MatLab-basierenden Versuchsprogrammen Beschleunigerstudien durchzuführen, sowie bei PETRA die Betriebssoftware optimiert, um die Strahlverluste beim Beschleunigen des Protonenstrahls zu minimieren. Bei HERA wurde u. a. die Betriebsablaufsteuerung erweitert bzw. in Zusammenarbeit mit der Gruppe MSK Software für das neue longitudinale Multibunch-Feedbacksystem zur Kontrolle des Protonenstrahls implementiert. Bei FLASH lag der Schwerpunkt der Arbeiten bei der Realisierung bzw. Adaptierung von Applikationsprogrammen zur Messung der Strahlung auf Grund von Strahlverlusten.

Der bereits große Funktionsumfang der zentralen Kontrollsystemsoftware TINE (*Threefold Integrated Net-*

work Environment) wurde um zusätzliche Eigenschaften ergänzt, welche die äußerst flexiblen Nutzungsmöglichkeiten des Systems weiter verbessern. So wurde z. B. die Kontrollsoftware auf MacOS portiert. Auch die Benutzung nativer 64-bit Applikationsprogramme ist nun möglich. Darüber hinaus fand eine generelle Systempflege statt, und ein neues Release (TINE 4.0) wurde fertig gestellt. Die Zusammenarbeit mit anderen Gruppen und Instituten konnte im Berichtsjahr intensiviert werden. So wurden die Hamburger Außenstelle des European Molecular Biology Laboratory (EMBL) beim Aufbau eines TINE basierenden Kontrollsystems für die EMBL Beamline bei DORIS unterstützt sowie spezielle TINE Funktionen in das Beamlinekontrollsystem am KEK in Japan integriert. Wie schon in den vergangenen Jahren fand eine enge Zusammenarbeit mit DESY/Zeuthen im Rahmen des PIZ Projekt statt. Für das PETRA III Projekt wurden in einem Tutorial potenzielle Nutzer aus den technischen Gruppen bei DESY mit dem TINE Kontrollsystem vertraut gemacht.

Änderungen der zentralen EDV Infrastruktur bei DESY machten wie im vergangenen Jahr zahlreiche Anpassungen der Rechner und der administrativen Prozesse des Kontrollsystems notwendig. So wurden z. B. die Ersetzung der alten Windows NT-Systeme durch Windows XP-Systeme fortgesetzt sowie neue Rechnertypen eingeführt und die Betriebssoftware daran angepasst. In großem Umfang wurde die Hardware der Device Server Rechner und der Konsolrechner im Kontrollraum erneuert. Durch die Einführung eines sogenannten Watchdog-Prozesses zur automatischen Überwachung der Device Server Rechner und durch die Optimierung der Serverprogramme konnte die Zahl der Störungen des Beschleunigerbetriebs wegen nicht erreichbarer Serverrechner deutlich reduziert werden. Bezogen auf einen einzelnen Rechner beträgt die mittlere Zeit zwischen zwei Ausfällen nun mehrere Monate.

Digitale Controller und Front-End Elektronik

Seit jeher kommt digitale Elektronik im Bereich der Beschleunigerkontrollen in großer Stückzahl zum Einsatz.

So mussten über dreitausend Controllermodule angepasst und verbessert, gewartet und gegebenenfalls repariert werden.

Spezielle Einzelprojekte im Berichtsjahr waren der Aufbau der Ansteuerung des sogenannten Recoil-Magneten des HERMES Experiments bei HERA, die Ausstattung des HASYLAB Magneteststands sowie die Realisierung einer Vakuuminterlocksteuerung für HERA-e. Im Rahmen einer Neuentwicklung von Strahllegeelektronik durch die Gruppe MDI wurde ein von MST entwickeltes digitales Elektronikmodul erfolgreich bei HERA in Betrieb genommen.

Darüber hinaus ist MST zuständig für die Bereitstellung von allgemeinen Schnittstellenmodulen zwischen Rechnern und dem DESY-eigenen Feldbus SEDAC. Das elektronische Layout einer Schnittstelle auf USB Basis wurde fertig gestellt und Entwicklungsarbeiten für eine Schnittstelle auf TCP/IP-Ethernet Basis begonnen.

Projekt PETRA III

Im Rahmen des Umbaus von PETRA zu einem Speichering zur Erzeugung von Synchrotronstrahlung werden bis 2008 die Kontrollsysteme der Beschleuniger LINAC II/PIA, DESY III und PETRA sowie ein großer Teil der Front-End Elektronik erneuert. Eine besondere Herausforderung für die Gruppe MST 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. Als zentrale Kontrollsystemsoftware werden das bei HERA erprobte TINE Protokoll, die dazugehörenden Dienste und die grafische Programmierungsschnittstelle ACOP (Accelerator Component Oriented Programming) zum Einsatz kommen.

Der Schwerpunkt der Arbeiten der Gruppe MST lag im Berichtsjahr beim PETRA III Projekt. Die Konzeption und Realisierung zahlreicher Einzelaufgaben im Software- wie im Hardwarebereich konnte plangemäß fortgeführt werden.

Zur Vereinfachung und Standardisierung der Applikationsprogrammierung wurde eine Reihe von Softwarewerkzeugen neu bzw. weiter entwickelt. Im Einzelnen handelt es sich dabei um Frameworks zur Realisierung von sogenannten Rich-Client Konsolapplikationen sowie zur Realisierung von Serverapplikationen, Programmbibliotheken zur Erstellung von standardisierten, grafischen Bedienungsprogrammen, einem Softwaregenerator zur Erzeugung von sogenannten Device-Servern und Werkzeuge zur Verteilung und zum Starten von Applikationsprogrammen auf verteilten Rechnern. Mit Hilfe dieser Werkzeuge konnten erste Applikationsprogramme z. B. zur Bedienung der Injektionselemente oder der Beschleunigersynchronisationssysteme sowie zur Visualisierung des Strahlstroms erstellt und getestet werden. Die konzeptionelle Arbeiten zur Realisierung einer Kontrollsystem- und Beschleunigerkomponentendatenbank sowie zur Automatisierung des zukünftigen PETRA III Betriebs wurden intensiviert.

Aus verschiedenen Gründen müssen in Zukunft neben CANopen auch noch andere Feld- oder Datenbusprotokolle wie SEDAC unterstützt werden. Das sogenannte Common Device Interface (CDI), das eine busunabhängige Schnittstelle für die Applikationsprogrammierung zur Verfügung stellt, wurde weiter entwickelt, auf Windows und Linux portiert und erfolgreich erstmalig z. B. bei der Auslese von Temperatursensoren eingesetzt. Programmierschnittstellen in JAVA, C und VisualBasic sowie sogenannte Bustreiber Plug-Ins für RS232 und ADS/TwinCAT wurden bereitgestellt.

Auf dem Gebiet der Front-End Elektronik wurden die vielfältigen Entwicklungsarbeiten fortgesetzt, Prototypen getestet und erste Kleinserien fertig gestellt. Die gleiche CANopen Kommunikationssoftware konnte auf alle eingesetzten Controllertypen portiert werden. Ferner wurden verschiedene CANopen Unterstützungswerkzeuge implementiert. Nach der Entwicklung der allgemein einsetzbaren Controllertypen liegt jetzt der Schwerpunkt der Elektronikentwicklungsarbeiten auf dem Gebiet der nutzerspezifischen Funktionsmodule z. B. zur Vakuumüberwachung oder zur Ansteuerung der Netzgeräte für die Injektionselemente und

die Strahlführungsmagnete. Darüber hinaus wurden zahlreiche spezielle Test- und Entwicklungsprogramme erstellt.

Weitere Projekte (XFEL, GANMVL)

MST beteiligt sich an der Entwicklung von Software für die Hochfrequenzregelung der supraleitenden Beschleunigungsmodule des XFEL. Der Schwerpunkt der Arbeiten lag im Berichtsjahr auf dem Gebiet der DSP Programmentwicklung und bei der Evaluierung eines komplexen Softwarewerkzeugs zur sogenannten modellgetriebenen Systementwicklung.

Ferner beteiligte sich die Gruppe MST im Rahmen der EUROTeV Studie an der Entwicklung des sogenannten *Global Accelerator Network Multipurpose Virtual Laboratory* (GANMVL). Ziel dieses Projekts ist die Bereitstellung einer Web-basierenden Arbeitsumgebung, die es einer auswärtigen Person erlaubt, sich über das Internet an Messungen, Reparaturen oder Wartungsarbeiten zu beteiligen, ohne selbst mit vor Ort zu sein. MST kümmert sich in diesem Zusammenhang um die Integration von gebräuchlichen Labormessgeräten wie z. B. Oszillografen. Basierend auf den industriellen Standards IVI (*Interchangeable Virtual Instrument*) und VISA (*Virtual Instrument Software Architecture*) wurden zwei Applikationsprogramme realisiert, die Oszillografen bzw. digitale Multimeter unterschiedlicher Hersteller, Typen und Datenbusschnittstellen bedienen und visualisieren können.

Projektgruppe Quenchüberwachung –QP–

Die Aufgabe der Projektgruppe Quenchüberwachung besteht darin, die Quenchüberwachungssysteme des HERA-Rings weiter zu entwickeln und zu betreuen. Von einem Quench spricht man, wenn ein supraleitender Magnet zum Beispiel durch einen Energieeintrag bei einem Strahlverlust schlagartig in den normalleitenden Zustand übergeht.

Es gibt ein großes, HERA-weites Quenchüberwachungs- und Alarmsystem für die Hauptmagnete des HERA-Protonenrings. Zwei lokale, kleinere Systeme überwachen die supraleitenden Magnete in den Wechselwirkungszone von H1 und ZEUS. Diese Quenchüberwachungssysteme sorgen dann unter anderem dafür, dass der Magnetstrom schnell genug abgeschaltet wird, bevor eine Zerstörung der betroffenen Magnetspule eintreten kann.

Die Projektgruppe organisiert eine Rufbereitschaft und besteht aus Mitgliedern der M-Bereichsgruppen MST, MDI, MVP und MKS sowie den FH-Bereichsgruppen FEB und FH1.

Alle von der Projektgruppe betreuten Quenchüberwachungssysteme erfüllten im Berichtsjahr weitgehend zuverlässig ihre Aufgaben. Die Systeme werden seit vielen Jahren einer regelmäßigen, präventiven Wartung unterzogen. Um einer abnehmenden Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit auf Grund des zunehmenden Alters der Bauteile und Module entgegenzuwirken, wurden im Berichtsjahr in vielen betriebskritischen Komponenten potenziell unzuverlässige Bauteile ersetzt.

Personen-Sicherheitssysteme –MPS–

Die Gruppe MPS ist verantwortlich für die technische Erstellung und den sicheren Betrieb von Interlocksystemen zum Schutz von Personen vor ionisierender Strahlung bei Beschleunigerbetrieb. Dazu gehören Türeninterlock- und Notaus-Systeme, Beamshutter- und Strahlfallensteuerungen, optische und akustische Warneinrichtungen und Strahlfreigabe-Steuerungen für alle Beschleuniger und Cavity-Teststände. Außerdem werden von MPS Interlocksysteme für den Magnetstrombetrieb erstellt.

MPS hat es sich zum Ziel gesetzt, die Interlocksysteme auf eine moderne computerunterstützte Technik umzustellen und ältere, häufig modifizierte Interlocksysteme schrittweise zu erneuern. Dabei liegt die Priorität bei

den Beschleunigern, die für die Zukunftsprojekte von DESY eine zentrale Bedeutung haben.

Die Sicherheitsschaltungen werden mit neuen, bei MPS entwickelten Elektronikmodulen unter Verwendung von zwangsgeführten Relais aufgebaut und in 60-V-Technik verdrahtet. Die Module sind über ein CAN-Bus-Interface mit einem Computer verbunden, so dass ständig Schaltzustände auf Plausibilität geprüft und visualisiert werden können. Eine Computersteuerung der Relais ohne entsprechende Voraussetzungen durch die Hardware-Logik ist dabei in Schaltungen mit hoher Sicherheitsrelevanz ausgeschlossen, dagegen können andere Funktionen, wie z. B. die Ansteuerung von Warneinrichtungen, auch rechnergesteuert ablaufen.

Hardware-Entwicklung

Im Elektroniklabor von MPS wurde 2006 an folgenden Hardware-Entwicklungen zur Modernisierung der Interlocksysteme gearbeitet.

Für Warntableaus wurde eine Platine entwickelt, die den Einsatz von LED-Leuchtmitteln in einem kommerziell erhältlichen Gehäuse ermöglicht. Mit der Herstellerfirma wurde ein Lizenz-Vertrag abgeschlossen; die Tableaus können nun dort unter Verwendung der MPS-Entwicklung gefertigt werden.

Bei ZEUS und H1 wurden Prototypen von neu entwickelten Blinkwarnlampen mit LED-Leuchtmitteln in Probetrieb genommen und funktionieren seit 8 Monaten ohne Ausfälle.

Es ist geplant, diese wartungsarmen und bzgl. des Warneffekts deutlich besseren Blinkwarnlampen und Warntableaus bei allen Beschleunigern einzusetzen.

Bei der Entwicklung neuartiger Module für Sicherheitsschlüssel wurde in Zusammenarbeit mit MDI ein verbessertes mechanisches Modell konstruiert und mit der Neuentwicklung der Schaltung begonnen. Die ersten beiden Prototypen kommen im nächsten Shutdown bei FLASH zum Einsatz.

Für die Überwachung der USV-Anlagen des Personeninterlocks wurde ein Gerät entwickelt, mit dem eine Spannungs- und Stromauslese möglich ist. Ein Prototyp ist bereit zum Einsatz.

Software-Entwicklung

In Rahmen der geplanten Erneuerung der Interlocksysteme von LINAC II, DESY und PETRA III wird auch die Software für die Interlockserver schrittweise erneuert und dabei völlig neu konzipiert. Der Prozess wurde 2006 begonnen; die neuen Programme werden von MPS erstellt.

Das Ziel ist eine leicht zu pflegende Ablaufsteuerung, die Überwachung der vorhandenen Hardwarekomponenten und die Prüfung der Konsistenz der gesamten Interlock-Logik. Die neue modular strukturierte Software wird in JAVA programmiert.

Im Jahr 2006 wurde ein Konzept erarbeitet, Software-Module definiert und mit der Programmierung der ersten Module begonnen. Dazu wurden alle relevanten Schaltpläne in Funktionsdiagramme konvertiert. Die neue Software soll erstmals 2007 für die neuen Notaus- und Interlocksteuerungen der Vorbeschleuniger eingesetzt werden.

Kommunikationssysteme

Ein neu entwickeltes integriertes Ansagegerät mit Pilotton-Überwachung wurde nach dem erfolgreichen Probetrieb bei FLASH dort in Dauerbetrieb genommen, ein baugleiches Gerät ist inzwischen auch bei CMTB im Einsatz.

Für DESY, LINAC II und FLASH sind die Sprechstellenzentralen mit einer automatischen Videoumschaltung gekoppelt worden, so dass bei ZZ-Wünschen an der BKR-Interlockkonsole das zutreffende Kamerabild erscheint. Die dazu gehörige Software wurde bei MPS entwickelt.

Bei der HERA-Nottelefonanlage wurden die umfangreichen 5-jährlichen Wartungsarbeiten durchgeführt.

Interlocksysteme

Bei den Beschleunigern und Cavity-Testständen wurden im Jahr 2006 folgende Arbeiten an den Interlocksystemen durchgeführt:

LINAC II, DESY Die wenigen Wartungstage 2006 wurden genutzt, um in den Interlockgebieten von DESY und LINAC II Verkabelungs- und Installationsarbeiten für das neue Notaus-System durchzuführen, das im August 2007 in Betrieb genommen werden soll.

DORIS Nach Umbau des Roten Weges wurde im Januar das Türeninterlock- und das Notaus-System mit neuer Technik aufgebaut und in Betrieb genommen.

FLASH Für Klystron 1 und die drei Teststände in Halle 3 wurde ein komplexes neues Interlocksystem installiert und in Betrieb genommen, das die gewünschte hohe Flexibilität von Betriebsmöglichkeiten in sicherer Weise gewährleistet. Klystron 1 kann nun wahlweise den FLASH-Linac oder die Teststände in Halle 3 mit HF versorgen; die Teststände können alternativ jeweils auch mit Verstärkern betrieben werden.

Im FLASH-Tunnel wurden neu entwickelte Setztasten für das Türeninterlock montiert, die eine optische Unterstützung bei der Absuche bieten. Außerdem wurden an den Zugangstüren erstmalig bei MPS entwickelte neuartige Sperrbereichstableaus installiert.

CMTB Für den neu errichteten Kryomodul-Teststand (CMTB) wurde ein komplett neues Interlocksystem aufgebaut und in Betrieb genommen.

Neue Projekte

PETRA III (WP1.22)

Vorbeschleuniger Für die umfangreiche Umgestaltung der Freigabesteuerungen, die wegen der Einstellung des Protonenbetriebs im Kurz-Shutdown 2007 erfolgen muss, wurde ein detailliertes Konzept erstellt und mit Verkabelungsarbeiten begonnen.

Beschleuniger Die Umgestaltung des Türeninterlocks ist insbesondere in Hinblick auf neue Absuchprozeduren und erforderliche Baumaßnahmen beschlossen; das Konzept der Interlocksteuerungen ist festgelegt, für die Kommunikationssysteme sind bereits Komponenten beschafft worden.

Experimente Es wurde ein erstes Konzept für die Interlocksteuerungen ausgearbeitet.

XFEL (WP38)

Die Klärung der Sicherheitsbedingungen und Planung eines Interlockkonzepts wurde fortgeführt; es wurde ein Beitrag zum TADR verfasst.

Im Jahr 2006 waren vier Mitarbeiter von MPS als Operateure im BKR-Teilschichtdienst aktiv. Im Rahmen des europäischen *Leonardo da Vinci*-Internship-Programms wurde ein Student der Elektrotechnik in der Gruppe beschäftigt.

Diagnose und Instrumentierung –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. Weitere Informationen finden sich auf <http://adweb.desy.de/mdi/>.

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 und mit ersten Entwicklungen für die Diagnostik begonnen.

HERA

Die in HERA installierte Strahldiagnostik wurde weiter verbessert und erweitert.

Das neue Elektronen-Orbit-Feedbacksystem zur Stabilisierung der kollidierenden Strahlen ist in Betrieb genommen worden. Das System basiert auf einer schnellen (32 bit Fast-SEDAC), hoch auflösenden und simultanen e und p Orbitmessung und schnellen Korrektur-Luftspulen, die durch neu entwickelte Magnetansteuermodule und Leistungsverstärker bedient werden. Ein zentral angeordneter Computer sorgt für die schnelle Strahllageverarbeitung, die Reglerfunktion und die Magnetansteuerung.

Das BPM-Messsystem an den 2-m- und 6-m-Monitoren wurde wegen der sehr schwierigen Messbedingungen (kurze Abstände der e- und p-Bunche) weiter optimiert. Neben einer notwendigen Signalpegelanhebung musste die Firmware geändert werden. Zudem wurde durch geeignete Entstörmittel auch die Störsignaleinkopplung stärker unterdrückt.

Für das HERA-p BPM-System wurden neue Elektronik-Gräber für 12 BPMs nahe der Wechselwirkungszonen installiert und erfolgreich in Betrieb genommen. Die Verfügbarkeit des Systems wurde durch diese Maßnahme und durch eine intensivierte Wartung deutlich erhöht. Fehlerhafte BPM-Module und Pick-ups wurden repariert, um genügend Ersatz vorrätig zu behalten.

Mit dem verbesserten Synchrotronstrahlungs-Emittanzmonitor an HERA-e wurden Studien zum dynamischen Beta-Beating der Elektronen bzw. Positronen durchgeführt, das durch die Kollision der Teilchen mit den Protonen-Bunchen an den beiden Wechselwirkungspunkten hervorgerufen wird.

Während des Betriebes und in diversen Mini-shutdowns wurden ständig Diagnosekomponenten gewartet. Die Wirescanner von HERA-p wurden an ihren neuen Positionen erfolgreich in Betrieb genommen. Durch die größeren Beta-Funktionen in beiden Ebenen erreicht der Draht eine etwas niedrigere Temperatur bei einem Scan, wodurch sich die Lebensdauer des Drahtes signifikant erhöht hat.

Der schnelle Magnetstrom-Alarm an den kritischen Magnet-Netzgeräten der Wechselwirkungszonen und das AC Strom-Monitor Alarmsystem hat sich in 2006 sehr bewährt und hat ohne eine einzige Fehl-Auslösung einige kritische Strahlverluste erkannt und rechtzeitig den Strahl gezielt vernichten können. Dadurch wurden höhere Strahlungspegel in den Hallen und im Tunnel vermieden. Die Zusammenarbeit mit CERN in Hinblick auf die Verwendung dieses Alarmsystems bei LHC und des gesamten LHC Maschinen-Schutz-Systems wurde weiter ausgebaut. Im Zusammenhang mit dem Magnetstrom-Alarm wurde inzwischen ein Patent bezüglich der Idee und der Ausführung erteilt.

Die neue Auslese des Drahtmesssystems in den HERA-Hallen wurde von der Hardware- und der Software-Seite fertig gestellt. Es läuft nun zuverlässig und stabil.

Auf Grund von Strahlungsschäden wurden die Verkabelung für TSP, Ventilsteuerung und Getterpumpen erneuert, die Verkabelung des NEG-Interlocks N+S (neue Wasserventile) geändert, sowie die Netzwerkverkabelung (Intranet) in den HERA Hallen erweitert.

PETRA II und PETRA III

MDI entwickelt und konzipiert die komplette Strahldiagnostik für das Projekt PETRA III. Dafür wurde die umfangreiche Liste von Aufgaben weitergeführt.

Es wurden zahlreiche Tests mit kommerziellen BPM-Systemen auch an anderen Beschleunigern erfolgreich weitergeführt. Diese Tests zeigten, dass die sehr hohen Anforderungen an die Auflösung gut erfüllt werden konnten. In Zusammenarbeit mit MSK wurden detaillierte Spezifikationen für das BPM-System erarbeitet und die Datenübertragung der BPM-Ausleseelektronik an das schnelle Orbit-Feedbacksystem erfolgreich getestet. Die Pick-Up Konfigurationen für nahezu alle BPM-Geometrien wurden festgelegt. Die erforderliche BPM-Auflösung von deutlich unter 1 μm impliziert eine präzise Beobachtung von mechanischen Bewegungen der BPMs gegenüber einem festen Bezugspunkt. Da Tests mit einem kommerziellen Mikro-Messsystem in PETRA II nicht sehr erfolgreich waren, wurde ein neues Messsystem bei MDI entwickelt und erfolgreich

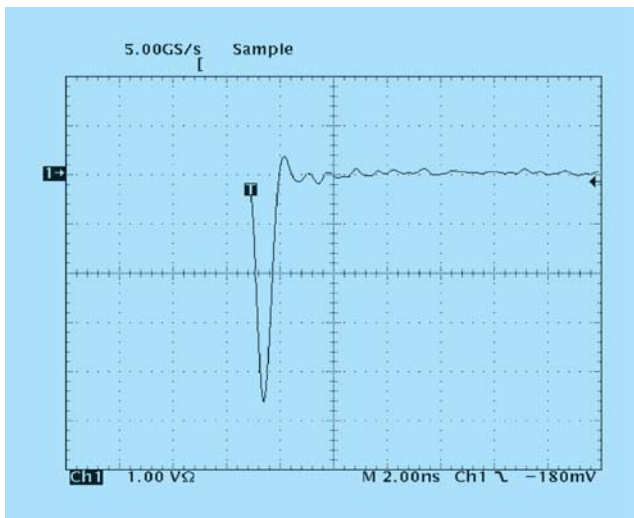


Abbildung 123: *Bunchsignal des neuen FCT in PETRA II.*

im Labor getestet. Es basiert auf der *stretched wire* Methode und erreicht eine Auflösung von unter 100 nm.

Der Prototyp eines In-Flange FCT der Fa. Bergoz wurde erfolgreich in PETRA II getestet. Die Signale sind schnell genug, um damit auch bei einem Bunchabstand von 4 ns in PETRA III Einzelbunch-Ströme genau messen zu können. Abbildung 123 zeigt ein einzelnes Bunchsignal in PETRA II.

Für die zur Emittanzmessung in PETRA III benötigte Diagnosebeamline wurde ein Konzept zusammen mit den notwendigen Spezifikationen erarbeitet, anhand derer die einzelnen Komponenten gegenwärtig konstruiert (ZM) und bestellt werden. Es werden zwei unterschiedliche Messprinzipien mit Hilfe der Synchrotronstrahlung Verwendung finden: Eine Pinhole-X-ray-Kamera mit einer Auflösung von ca. 15 μm und eine *Compound Reflective Lense* mit einer Auflösung von besser als 1 μm . Beide Systeme sollen wahlweise genutzt werden können, wobei zur Beobachtung derselbe Monochromator und dieselbe CCD-Kamera eingesetzt werden.

Weiterhin ist ein Laser Wirescanner als ergänzende Emittanzmessung geplant. An PETRA II konnte erstmals ein neuer Nd:YAG Q-switched Laser mit Injektions-Seeding erfolgreich getestet werden. Der

komplette Aufbau wird im Jahr 2007 in die neue Laserhütte auf den PETRA III Tunnel umziehen und dort wieder in Betrieb genommen werden.

Im Bereich der Schirmmonitore wurden Prototypen konstruiert und der Aufbau von Testkammern mit zugehörigen mechanischen Antrieben abgeschlossen. Zur elektronischen Ansteuerung der Schirme, Scraper, Girder und Schirmmonitore wurde ein Konzept entwickelt und in einem Testaufbau mit kommerziellen CAN-Bus-Modulen realisiert, mit dem ein Test-Girder erfolgreich angesteuert wurde.

Die Entwicklung des Maschinen-Protection-Systems (MPS) für PETRA III wurde fortgeführt. Erste Aufbauten wurden erfolgreich getestet und eine zuverlässige Signalübertragung bis zu 5 km Entfernung realisiert.

Zum Schutz der Vakuumkammern vor intensiver Synchrotronstrahlung der Dämpfungswiggler und der Undulatoren werden ca. 1500 Temperatursensoren auf speziellen Vakuum-Kammern verteilt angebracht. Ein Prototyp des für PETRA III entwickelten Temperatur-Alarm-Systems wurde in HERA installiert und getestet und zuverlässig betrieben. Damit kann die Serienproduktion in 2007 starten.

Nach nicht sehr erfolgreichen Systemtests mit einem kommerziellen System zur Auslese und Verarbeitung der Pilo-therm- und Wasserwächter-Signale zur Magnetüberwachung bei DESY II wurde entschieden, das bei HERA verwendete System nachzubauen und bei PETRA III einzusetzen. Dieses System hat seine Zuverlässigkeit in vielen Jahren des HERA-Betriebs bewiesen.

Die Neuverkabelung aller PETRA Hallen wurde in 2006 weiter fortgeführt, ohne den laufenden Betrieb zu stören. Die weitere Verkabelung von PETRA III und die Entkabelung von PETRA II wurden vorbereitet.

DORIS

Es wurde eine verbesserte Schirmung am DCCT-Strommonitor eingebaut. Diese Schirmung unterdrückt

externe Störeinflüsse, so dass eine genauere Strahlstrommessung möglich ist. Diese Verbesserung diente auch als Test für PETRA III, um den höheren Anforderungen an die Genauigkeit der DC-Strahlstrommessung für den Top-Up Betrieb gerecht zu werden.

LINAC II / III

Der Prototyp eines neuen induktiven Strommonitors für den L-Weg wurde im Labor erfolgreich aufgebaut und getestet. Dieser neue Typ soll die alten Monitore in den Transportwegen im Zuge des PETRA-III-Projektes ersetzen.

Die Planungen für den Umbau der Diagnostik im LINAC II wurden fortgeführt sowie weitere neue Komponenten bestellt.

FLASH

Umfangreiche Entwicklungsarbeiten am BPM-System haben zu einer deutlichen Verbesserung der Auflösung der Knopfmonitore geführt. Im Bereich des Undulators werden Auflösungen von typischerweise 15–25 μm (Einzelbunch, 1 nC) erreicht, in anderen Bereichen der Maschine, die mit Stripline BPMs ausgerüstet sind, liegt die Auflösung z. T. unter 10 μm . Die Bestrebungen, die Einzelbunch-Auflösung im Undulator auch bei kleinen Bunchladungen (0.2–0.5 nC) auf 10 μm zu verbessern, werden weiterhin intensiv vorangetrieben. Die Verbesserungen wurden im Wesentlichen durch Änderungen in der Signalaufbereitung (Filter, Verstärker) und in der Parametrisierung der Elektroniken erreicht. Es wurden zahlreiche Software-Tools entwickelt, um die Elektroniken im Betrieb kalibrieren zu können. Das BPM-System ist ein notwendiges Werkzeug, um gute Orbits im Betrieb wieder herzustellen und um eine hohe SASE Effizienz zu erreichen. Das System konnte die Störeinflüsse der PETRA Rampe auf den Betrieb messen. Mit der Minimierung des Differenz-Orbits wurden die Werte eines PETRA-Kompensationskreises optimiert. Dadurch gibt es jetzt kaum noch Auswirkungen der Streufelder während der p-Rampe bei PETRA auf den SASE-Betrieb bei FLASH.

Ein Spezial-BPM für die flachen und breiten Kammern der Bunchkompressoren in FLASH (und später XFEL) wurde in Zusammenarbeit mit MPY und FLA entwickelt. Dieser Monitor basiert auf einer quer zum Strahl liegenden Koppelantenne und nutzt die geringen Laufzeitdifferenzen der auf der Leitung auseinanderlaufenden Strahlsignale zur Ermittlung der horizontalen Strahlposition. Dieser Monitor wird für die Energiemessung in den Bunchkompressoren und für ein Feedbacksystem benötigt, das die Energie entlang des Bunchzugs im supraleitenden Linac korrigiert.

Ein neuer Toroid-Strommonitor wurde vor dem Undulator eingebaut und ins Kontrollsystem integriert. Damit kann die Strahltransport-Effizienz durch den Undulator genauer bestimmt werden. Strahlverluste durch Dunkelstrom und auch durch den normalen Strahl führen zu Aktivierung bzw. zu Beschädigungen von Komponenten, insbesondere der Undulatorenmagneten. Hier müssen die Strahlungsdosen kontrolliert und Verluste so gering wie möglich gehalten werden. Dazu ist der Undulator mit weiteren Verlustmonitoren ausgestattet worden, um die Dosisleistung auf wenige Gy pro Tag reduzieren zu können. Das System wird von Kollegen von MDI, MPY und MIN betreut.

Im Zuge einer Kollaboration zwischen MDI, FEA und CEA Saclay (Frankreich) wurde das Toroid-Protection-System mit langen Bunchzügen getestet. Es wird 2007 endgültig in Betrieb gehen und das Sicherheitskonzept des Maschinen-Protection-Systems komplettieren.

Es wurden Studien zur Emittanzmessung mittels *Optical Diffraction Radiation* (ODR) an FLASH gemeinsam mit der Uni Hamburg und dem INFN-Frascati (Italien) unternommen. Die aus ersten Testexperimenten gewonnenen Resultate zeigten dass es möglich ist, die ODR-Strahlungskomponente vom Untergrund zu separieren. Anfang 2007 folgen weitergehende Experimente mit der Zielsetzung, ODR zur Strahl Diagnose einzusetzen.

In Kollaboration mit SLAC, CEA Saclay, FNAL und KEK sowie mit Kollegen von anderen DESY Gruppen wurden weitere HOM-BPM Tests durchgeführt. Alle 80 HOM-Koppler der Beschleunigungs-Cavities sind mit von SLAC gebauter Auslese-Elektronik ausgerüstet.

Damit konnte die transversale Position der Cavities in zwei Kryo-Modulen ausgemessen werden. Diese Messungen haben auch gezeigt, dass die HOM-Signale für die Bestimmung der Strahlage genutzt werden können. Eine Auflösung unter $10\ \mu\text{m}$ wurde beobachtet. Weitere Studien in 2007 werden Multibunch Tests, Tests von digitaler Elektronik, Verbesserung der Auflösung usw. einschließen. Die HOM-BPMs sind für hochgenaue Orbitmessungen in den langen Beschleunigungsstrecken von ILC und XFEL sehr interessant.

Die Planung zum Bau von weiteren Diagnosekomponenten für die Seeding-Option wurde bei MDI gestartet.

XFEL

Für das Projekt XFEL wurden verschiedene Diagnosekomponenten untersucht und Entwicklungen weitergeführt.

Es fanden diverse Untersuchungen auf dem BPM-Gebiet statt. Standard-HERA-e-Elektroniken wurden bei FLASH erprobt. Es wurden Auflösungen erreicht, die mit denen der aktuellen FLASH-Elektronik vergleichbar waren. Einschränkungen gab es durch das normale 8-bit-Auslesesystem, welches die Auflösung begrenzte. Daher wurde eine Variante entwickelt, die einen schnellen 12-Bit-ADC im DOOCS Kontrollsystem mit einem speziellen Server nutzt, wodurch die Auflösung verbessert werden konnte. Zwei BPMs auf der Basis der 8-bit-HERA-e-Elektronik laufen im Betrieb von FLASH zurzeit mit, um Erfahrungen über einen längeren Zeitraum zu sammeln.

In Kollaboration mit PSI wurde der Prototyp eines neuen Resonant Stripline BPM für ein schnelles Strahlage-Intrabunchtrain-Feedback konstruiert, der ausgiebig in beiden Labors getestet wurde. Eine erste Prototypserie dieser Monitore wurde gebaut, ein Exemplar ist in FLASH für Tests installiert worden. HF-Messungen haben gezeigt, dass weitere Optimierungen des HF-Designs und genauere Toleranzbetrachtungen erforderlich sind. Eine weitere Kollaboration mit PSI zu Bau, Installation und Betrieb von Standard-BPMs und digitaler Auslese-Elektronik für den XFEL ist zurzeit in detaillierter Planung.

Für die Entwicklung von XFEL-Komponenten wird FLASH bereits genutzt. Es sind dort 2 Prototypen für BPMs für die XFEL-Module eingebaut. Zum einen handelt es sich um einen Knopfmonitor der von MDI in Kooperation mit MVP gebaut wurde, zum anderen um einen Reentrant-Cavity-BPM in Kollaboration mit CEA Saclay. Der Knopfmonitor wird benutzt, um die Entwicklung für eine BPM-Elektronik für die Modul-BPMs bei XFEL durchzuführen.

Für die Messung der Dunkelströme der supraleitenden Beschleunigungsmodule wurden Untersuchungen am dafür hergestellten supraleitenden Cryogenic-Current-Comparator zusammen mit GSI und der Friedrich-Schiller-Universität Jena durchgeführt. Genaue Messungen an dem Prototyp werden zurzeit in Jena vorgenommen.

MDI beteiligt sich an der Planung der Medienschächte, Elektronikräume, Verkabelung und Installationen sowie an der Erstellung eines Tunnel Mock-Up des XFEL.

Verkabelung

- 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, Instandhaltung und Neubau des Pilotthermsystems in allen Beschleunigern
- Neuinstallation und Anschluss von Diagnostik im Modulteststand Geb. 70
- Neuinstallation verschiedener Diagnostik in FLASH
- Vorbereitung der Verkabelung PETRA III (Planung, Materialbeschaffung)
- Neue Koaxialverteiler für verschiedene Beschleuniger-Tunnel

- Kabellagerhalle: Trennung der Bereiche MDI, MKK und V; Einrichtung eines Montage- und Lagerplatzes für Kleinmaterial in der Halle
- Arbeiten an der Beschaffung und Installation eines neuen, für DESY allgemein nutzbaren Tools für eine gemeinsame Kabeldokumentation. Dazu wurden in Zusammenarbeit mit IPP, einer externen Firma und vielen DESY-Gruppen eine Marktanalyse und ein sehr detailliertes Lastenheft erstellt.

Diverses

Umfangreiche Wartungs-, Reparatur- und Verbesserungs-Arbeiten an Diagnose-Komponenten in sämtlichen Beschleunigern sowie den Transportwegen wurden durchgeführt. Für die MDI-Werkstatt wurde eine Personen-Notsignal-Anlage angeschafft und an das DESY-Notsignal-System angeschlossen.

Die Dokumentationsunterlagen bei MDI wurden kontinuierlich erweitert. Position und Art der Messstationen, 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. 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 organisierte einen CARE-Workshop zum Thema *Simulation of BPM front-end electronics and Special Mechanical Designs*.

Strahlkontrollen –MSK–

Die Gruppe ist zuständig für spezielle Kontroll- und Instrumentierungsaufgaben im Zusammenhang mit der Strahldynamik in allen Beschleunigern. Neben dem Tagesgeschäft der Wartung und Instandhaltung der Feedback-, Timing, und Synchronisationssysteme aller Be-

schleuniger und der Hochfrequenzregelung am FLASH wurden die folgenden Schwerpunkte bearbeitet.

DESY II Magnetstromsteuerung

Zur Erfassung des DESY II Magnetstroms (Hauptstromkreise) wurden neue VME Karten entwickelt und in Betrieb genommen. Hierzu gehören ein flexibleres Zählermodul mit erweiterter Zählerkapazität von 32 Bit und ein Modul zur Synchronisierung des DESY II Magnetstroms mit der 50 Hz Netzfrequenz. Ein flexibel programmierbarer Clockgenerator zur Erzeugung diverser Clocks dient der Istwerterfassung und Sollwertgenerierung der neuen Magnetstromsteuerung. Für die Clockgeneratoren wurde auch eine neue HF-Verteilung von 10 und 20 MHz in Betrieb genommen.

Zur Übertragung von Messdaten werden neue zuverlässigere V/f-Konverter-Chips eingesetzt und sukzessiv in allen Hauptstromkreisen unter Standardbetriebsbedingungen bei laufendem Betrieb mit Strahlstrom erfolgreich getestet.

Der digitale Teil von Sollwertgeber für Strom und Spannungssteuerung ist entwickelt und getestet und der analoge Teil befindet sich in der Entwicklungsphase.

PETRA III Timing System

Für PETRA III werden Timing-Module benötigt die maschinenspezifische Zeitsignale wie Bunchpattern, Umlauftakt und Events (z. B. Injection, Top-up-mode) liefern und frei programmierbar sind. Jede Bunchuhr verfügt über drei unabhängige Timingeinheiten. Die Zeitmarken jeder Timingeinheit können individuell in 1 ns Delay-steps konfiguriert werden. Zusätzlich liefert jedes Timing-Modul Referenzfrequenzen von 125 MHz und 500 MHz (SMA). Alle 25 Module wurden getestet und sind einsatzbereit.

Zur Verteilung der Timingsignale und der Lagekorrekturdaten für das Orbit-Feedbacksystem von PETRA III wurde ein Lichtwellenleiter (LWL) basiertes Signalverteilersystem entwickelt, produziert und getestet.

Multibunch-Feedbacksystem für PETRA III

Für das Multibunch-Feedback für PETRA III werden FPGA-DSP basierte Boards zur Signalverarbeitung benötigt.

Die erste Ausbaustufe verarbeitet Strahlsignale mit einer Taktrate von 8 ns (62.5 MHz BW). Für ein künftiges PETRA III Upgrade ist eine Verarbeitungsgeschwindigkeit im 2 ns Takt vorgesehen (vier parallel arbeitende ADC im 8 ns Takt, 250 MHz BW).

Die Entwicklung und Fertigung des ersten Prototyp-Boards ist abgeschlossen. Das Board ist getestet und funktionsfähig. Vorbereitungen und Installationen zu Testzwecken für das PETRA III Multibunch-Feedbacksystem in PETRA II sind zurzeit in Arbeit.

Integration von Monitorelektroniken vom Typ LIBERA

Da für das Orbit-Feedback die Positionsmessungen von bis zu 220 Detektoren vom Typ LIBERA zu einer gemeinsamen Signalverarbeitungseinheit übertragen werden müssen, wurde ein entsprechendes Signal Combiner Modul entwickelt.

Das Design, Layout und die Fertigung eines Prototyp-Boards mit 16 Rocket I/O Data-Links zur ultraschnellen Datenerfassung von Positionsdaten für das PETRA III Orbit-Feedback wurden erfolgreich durchgeführt.

Entwicklung eines CAN/LWL Transmitters

Nach Design, Layout und Fertigung eines Prototyp-Boards zur Übertragung des CAN Protokolls über Lichtwellenleiter ist mit dem Start der Serienfertigung im Labor begonnen worden.

Entwicklung digitaler Leistungsverstärker für das PETRA III Orbit-Feedbacksystem

Insgesamt werden für das Orbit-Feedbacksystem ca. 100 Leistungsverstärker (DPA's) benötigt. Die Laborproduktion von fünf Prototypen als Muster für die

Serienfertigung wurde abgeschlossen. Die von den digitalen Verstärkern anzusteuernenden Korrekturspulen wurden industriell gefertigt und werden zurzeit vermessen und überarbeitet.

FPGA-DSP Board für das Fast-Orbit-Feedbacksystem für PETRA III

Für das Fast-Orbit-Feedback von PETRA III wurde eine FPGA-DSP basierte Zentraleinheit zur schnellen Signalverarbeitung entwickelt. Das Design und Layout des ersten Prototyps der Zentraleinheit ist abgeschlossen und das erste Modul befindet sich zurzeit in der Fertigung.

Hochfrequenzregelung FLASH und XFEL

Im Bereich der Hochfrequenzregelung des FLASH und des XFEL wurden unter anderem folgende Themenbereiche bearbeitet:

- Master Oscillator und Referenzverteilung
- RF-Gun-Regelung
- ACC1 Regelung
- Evaluierung des ATCA Standards
- Automatisierung des LLRF Betriebs
- Dosimetrie
- Downconverter
- ATCA Entwicklung für XFEL
- Dokumentation

Der neue Master Oszillator für FLASH wurde fertiggestellt und im Labor vermessen. Die geforderten Phasenrauschwerte werden eingehalten. Die neue digitale FPGA basierte Regelung SIMCON wird inzwischen erfolgreich zur Regelung der RF-Gun und des ersten Kryomoduls ACC1 eingesetzt. Die Phasenstabilität der RF-Gun konnte von etwa 1 Grad auf 0.25 Grad verbessert werden. Durch die hohe Abtastrate von 40 MHz konnte das Messrauschen durch Mittelung über 40 Messungen deutlich reduziert werden. Die neue Regelung wird am Fermilab zum Betrieb von supraleitenden

Cavities eingesetzt. Um in Zukunft eine weitere Verbesserung der Feldmessung zu ermöglichen, wurden driftarme Downconverter mit niedrigem Rauschfaktor entwickelt, die auch eine höhere Zwischenfrequenz von 10–50 MHz unterstützen. Im Rahmen der Entwicklung der Hochfrequenzregelung für den XFEL wurde der ATCA Standard evaluiert. Es ist geplant bis Ende 2007 ein LLRF System im ATCA Standard aufzubauen. Kommunikation mit niedrigen Latenzzeiten und hohe Verfügbarkeit sind die Hauptargumente für diesen Standard.

Longitudinales Multibunch-Feedbacksystem für HERA-p

Das im Jahre 2005 entwickelte breitbandige longitudinale Dämpfungssystem für die Protonenmaschine HERA-p wurde im Jahr 2006 in Betrieb genommen. Nach den ersten Tests konnte der Abgleich des Timings sowie das Einstellen der Gain-Parameter der Feedbackelektronik durchgeführt werden. Die ersten Luminositätsruns mit funktionierendem Feedback und verkürzter Bunchlänge fanden im März statt. Die Automatisierung der Prozedur wurde im Sommer fertiggestellt. Wegen eines vorzeitigen Defektes des Röhrensatzes am 1-kW-Feedback-Leistungsverstärker wurde ein Ersatzverstärker aufgebaut, der fortan als Reserve dient.

Seit August ist das System voll einsatzbereit und vollautomatisiert. D. h., einmal zugeschaltet, setzt es die optimalen Parameter je nach detektiertem HERA-Zustand von selbst. Das System arbeitet vollständig im Verborgenen und es bedarf keinerlei Einstellungen durch die Operateure.

Seit dem sind auch bei Protonenströmen über 100 mA Proton-Bunchlängen von 1.0 ns nach der Rampe möglich. Die Multibunch-Instabilitäten, welche bislang auf der Rampe dazu geführt haben, dass sich die Bunchlängen vergrößern, können nun (bei optimal eingestelltem Feedback) vollständig bedämpft werden. Das Feedback muss nach der Rampe noch typischerweise zwei Stunden lang Multibunch-Instabilitäten aktiv unterdrücken. Danach schaltet es sich ab, da dann die Bunchlänge einen kritischen Wert überschritten hat,

ab dem der Strahl nicht mehr instabil wird. Nach typischerweise 6 Stunden ist die Bunchlänge von 1.5 ns erreicht, wie sie ohne Feedback gleich nach der Rampe wäre. Der Gewinn ist jedoch jeweils für den gesamten Run auch danach noch gegeben, da die Bunchlängen zu jedem Zeitpunkt kleiner sind, als sie es ohne Feedback wären.

Eine Verschnellerung der Bunchverlängerung durch stochastische Anregung des Strahls (durch Rauschen) durch das Feedback konnte nicht beobachtet werden. Wenn das Feedback aktiv Schwingungen bedämpft, ist die Verlängerungsrate jedoch leicht höher als sie es bei nicht mehr instabilen Strahlbedingungen ist.

Wegen der etwas ungleichmäßigen Füllungen und der nicht mehr geplanten Injektionsschwingungs-Bedämpfung, sowie der Beamloading Kompensation in den Cavities, haben jedoch nicht alle Bunche die gleiche Bunchlänge. Diese Ungleichmäßigkeiten bleiben auch während der Rampe erhalten, sodass 1.0 ns nur von einigen Bunchen erreicht wird. Die Bunchlängenverteilung nach der Protonenrampe liegt zwischen 1.0 ns und 1.3 ns. Zum Vergleich: Ohne das Feedback liegt sie zwischen 1.3 ns und 1.7 ns. Die angestrebte Verbesserung der Bunchlänge konnte also in etwa erreicht werden. Dies dürfte für den Rest der HERA-Laufzeit eine Erhöhung der Luminosität von etwa 5% bringen.

Die geplante zusätzliche Modifikation der HERA-Optiken, welche zu einer stärkeren (transversalen) Fokussierung der Bunche an den Wechselwirkungen führen sollte, konnte bislang noch nicht implementiert werden. Zusammen mit dem longitudinalen Feedback sollte sich die Luminosität dann nochmals erhöhen.

Vakuum –MVA–

Die Vakuumsysteme der Beschleuniger HERA-e, PETRA, DORIS, LINAC II/III, PIA sowie DESY II/III werden von MVA betrieben und weiterentwickelt. Schwerpunkte in 2006 waren für die Gruppe die Gewährleistung eines hohen Standards bzgl. der Vakuumbedingungen in HERA, die Fertigung der Vakuumkomponenten für die neue Synchrotronstrahlungsquelle

PETRA III sowie diverse Entwicklungsarbeiten für das XFEL Projekt.

HERA

Die Betriebsbedingungen des Vakuumsystems im HERA-Elektronenring waren in der Regel sehr gut und die Lebensdauern des Elektronenstrahls lagen im Bereich von 12 bis 20 Stunden. Während der mittleren Betriebsdruck des Beschleunigers im niedrigen 10^{-9} mbar Bereich lag, wurden in den Wechselwirkungszone Drücke unterhalb $5 \cdot 10^{-10}$ mbar auch bei hohen Strömen erreicht. Letzteres führte zu ausgesprochen guten Untergrundbedingungen bei beiden e/p Experimenten.

Im Laufe des Jahres kam es zu mehreren Lecks im Vakuumsystem, mehrheitlich ausgelöst durch wechselnde thermische Belastungen bei mittlerweile recht hohen Strömen. Hiervon waren insbesondere die Spinrotoren betroffen. Zur Verbesserung der Situation wurden hier einige Vakuumkammern mit verbesserten Absorbern eingebaut sowie die Wasserkühlung einiger kritischer Absorber optimiert.

PETRA III

Die Konstruktionsarbeiten am neuen Vakuumsystem von PETRA III wurden in 2006 nahezu abgeschlossen. Ein großer Abschnitt des Vakuumsystems umfasst die 7/8 des Ringes, in denen die alten Magnete weiter verwendet werden. In den Dipolmagneten werden stranggepresste Aluminiumprofile mit integrierter Pumpkanal für NEG-Streifen als Vakuumkammern verwendet. In den zwischen den Dipolmagneten angeordneten Quadrupol- und Sextupolmagneten wird eine elliptische Stahlkammer, ebenfalls mit integrierter NEG-Pumpe und einem Strahlpositionsmonitor ausgerüstet, eingesetzt. Als dritte wesentliche Einheit wird ein Schiebestück mit einem elliptischen Edelstahlbalg und HF-Abschirmung benötigt. Inklusive Ersatzteilen müssen von diesen drei Bauteilen jeweils etwa 250 Stück für das Vakuumsystem von PETRA III gefertigt werden.

Im Berichtszeitraum wurde die überwiegend extern durchgeführte Fertigung der Einzelteile für die Dipolkammern sowie die Fertigung der Schiebestücke abgeschlossen. In der Gruppe wurde mit der Serienfertigung der Dipolkammern durch Verschweißen der vorgefertigten Baugruppen und die Bestückung mit den NEG-Streifen begonnen. Nach der Lecksuche werden die Dipolkammern auf drei Testständen evakuiert, mit heißem Dampf bei 150°C ausgeheizt, die NEG-Pumpen aktiviert und abschließend ein Restgasspektrum zur Qualitätssicherung aufgenommen. Ein Drittel der Dipolkammern stehen inzwischen für den Einbau bei PETRA III bereit. Die Fertigung der Quadrupolkammern erfolgt durch MVP, wobei die fertig präparierten NEG Streifen von der Gruppe zur Verfügung gestellt werden.

Die Ende 2005 bei PETRA II zu Testzwecken eingebaute Prototypstrecke mit zwei Dipolkammern, der dazwischenliegenden Quadrupolkammer und zwei Schiebestücken wurde mehrere Monate im Strahlbetrieb untersucht. Die hierbei erzielte Konditionierungsrate des Vakuumdruckes stimmt sehr gut mit den Abschätzungen überein (siehe Abbildung 124). Auch das Verhalten hinsichtlich thermischer Erwärmungen bzw. Verformungen durch die Belastung mit Synchrotronstrahlung weicht nicht von den Erwartungen ab. Aufgrund ei-

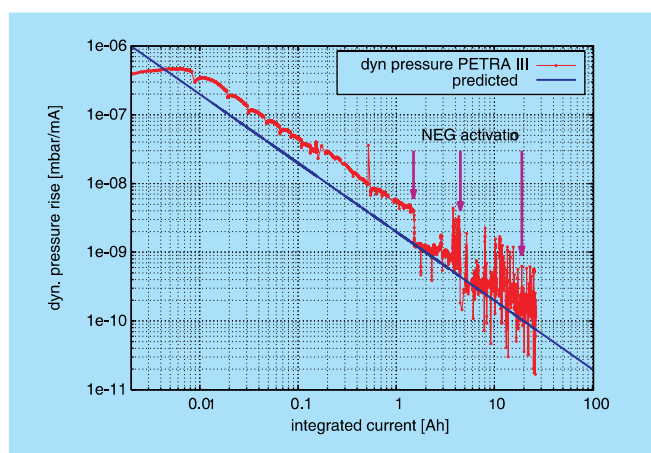


Abbildung 124: Konditionierung des Vakuumdruckes der Prototypvakuumkammern für PETRA III. Zu sehen ist der lineare Abfall des dynamischen Drucks, der umgekehrt proportional zum integrierten Strom erfolgt.

ner unerwartet hohen Aufaktivierung der Komponenten wurde diese Mitte 2006 wieder ausgebaut.

Für die Experimentesektion, dem *Neuen Achtel*, werden Edelstahlkammern mit dazwischenliegenden Kupferabsorbern verwendet. Der Aufbau ist wesentlich komplizierter als im Standardbogen. Das detaillierte Layout dieser Strecke wurde festgelegt und die Konstruktion der Komponenten ist nahezu abgeschlossen. Mit der externen Fertigung der Edelstahlkammern, Absorber und Untergestellen wurde begonnen. Die ersten erodierten Profile für die Kupferabsorber sind inzwischen angeliefert.

Das Synchrotronlicht für die Experimente wird in acht Undulatorabschnitten erzeugt. Als Vakuumkammern sind stranggepresste Aluminiumprofile mit Pumpkanälen für NEG-Streifen vorgesehen. Ein entsprechendes Profil (siehe Abbildung 125) wurde beschafft und mit der Fertigung einer Prototypkammer begonnen. Auf beiden Seiten der Magnetstruktur sind Strahlmonitore vorgesehen, an die sehr hohe Anforderungen hinsichtlich der mechanischen Stabilität gestellt werden. Aus Platzgründen sind die Monitore fest in die Undulator-Vakuumkammern integriert. Daher wurde zusammen mit dem Profil der Kammer eine steife Stützeinheit entwickelt, deren Konstruktion nahezu abgeschlossen ist.

Darüber hinaus wurde das Layout der verschiedenen geraden Strecken erarbeitet und mit der Konstruktion der entsprechenden Vakuumkammern begonnen. Diverse Sonderkomponenten wie Kollimatoren, Scraper, Shutter, Kickerkammern und spezielle Diagnosekammern befinden sich ebenfalls in der Konstruktions- und Fertigungsphase. Die Konstruktion der neuen Vakuumkammern für die Transportwege von PIA zu DESY II sowie DESY II zu PETRA wurde nahezu abgeschlossen. Ebenso ist die Beschaffung von NEG-Streifen, Ionengetterpumpen und Titanverdampferpumpen sowie deren Netzgeräte, Vakuumschieber sowie Komponenten für Pumpstände angelaufen, ein Teil der Komponenten wurde bereits geliefert.

Mittelfristig ist geplant, die PETRA III Undulatorkammern auf der Innenoberfläche mit NEG Material zu beschichten. Hierfür ist ein entsprechender Aufbau not-



Abbildung 125: Profil der Undulatorvakuumkammer: CAD Model (links) und stranggepresstes Aluminiumprofil (rechts). In der Mitte befindet sich die flache Öffnung für den Elektronenstrahl, rechts sieht man den Pumpkanal. Die runden Bohrungen sind für die Wasserkühlung.

wendig, in dem die knapp 5 m langen Kammern senkrecht gestellt werden können. Im Berichtszeitraum wurde daher ein entsprechend hoher Anbau an die vorhandene Fertigungshalle angefügt.

XFEL

Die Aktivitäten für das XFEL Projekt beschränken sich momentan auf konzeptionelle Vorarbeiten für technisch anspruchsvolle Teilkomponenten wie die Vakuumkammer in der Undulatorstrecke sowie die Kollimatoreinheiten. Die mechanische Konstruktion der Kollimatoren soll ähnlich wie bei FLASH ausgeführt werden. Als Kollimatormaterial wird eine Titanlegierung favorisiert. Neben einer möglichen schockartigen Erwärmung des Materials durch einen fehlgesteuerten Strahl kann es auch zu einer gleichmäßigen Belastung durch sogenannten Dunkelstrom aus den Beschleunigungsstrecken kommen. Zur effizienten Abführung der entstehenden Wärme sind Lötverbindungen zwischen Titan und Kupfer notwendig. Hierzu wurden verschiedene Versuche durchgeführt.

Für die Undulatorvakuumkammer wird bei einer Gap-Höhe des Magneteten von nur 10 mm eine möglichst geringe Wandstärke angestrebt. Zur Minimierung von resistiven Wake-Feldern muss die innere Oberfläche der Kammer eine hohe elektrische Leitfähigkeit haben. Momentan wird ein extrudiertes Aluminiumprofil

favorisiert. Hinsichtlich der Oberflächeneigenschaften wurden Untersuchungen zur Rauigkeit durchgeführt. Weiter wurde die Verkupferung und Vergoldung von Aluminiumrohren ausgetestet. Hierzu werden in Zusammenarbeit mit der Universität Uppsala und dem Royal Institute of Technology in Stockholm Untersuchungen zur Messung der Dicke der Oxidschichten auf Aluminiumproben durchgeführt. Das Layout der Strecke zwischen zwei Undulatoren mit Korrekturmagnet, Strahlpositionsmonitor, Pumpe und Vakuumkammer wird in einer Arbeitsgruppe mit allen beteiligten Gruppen erarbeitet.

In der Elektronenstrahlschweißanlage wurde eine Serie von Niob Einzellern erfolgreich geschweißt. Ebenso wurden einige Einzelkomponenten wie z. B. eine Struktur für eine supraleitende Elektronenkanone gefertigt.

Weitere Aktivitäten

In der Gruppe MVA werden Leuchtschirme hergestellt, die für die Strahldiagnose in allen DESY Beschleunigern sowie bei PITZ in Zeuthen benötigt werden. Dabei sind ca. 150 eingebaute Leuchtschirme zu betreuen und im abgelaufenen Jahr wurden insgesamt 40 neue bzw. Ersatzschirme hergestellt. Darunter waren auch Schirme, die für die Universität Hamburg im Auftrag gefertigt wurden.

Eine weitere Aktivität besteht in der Fertigung von neuen RF-Kanonen und eines Boostercavities, das ebenfalls bei 1.3 GHz betrieben wird, für den Photoinjektor Teststand PITZ in Zeuthen. Beides sind Lötkonstruktionen aus hochpräzise gefertigten Kupfertassen. Im Berichtszeitraum wurde die Fertigung für zwei weitere Guns und das Boostercavity weitgehend durchgeführt. Konstruktiv wurde hierbei die Wasserkühlung der Gun verbessert.

Protonenvakuum –MVP–

Die Vakuumsysteme des Protonenrings von HERA und der TESLA-Test-Facility (TTF) einschließlich des Linearbeschleunigers FLASH werden von der Gruppe

MVP verantwortlich betrieben und weiterentwickelt. Hierzu gehören auch die Isoliervakuumsysteme für die Heliumtransferleitungen und die supraleitenden Magnete sowie Kavitäten. Weiterhin ist MVP für die Entwicklung und den Betrieb des Kontrollsystems für den TTF-Linearbeschleuniger FLASH verantwortlich.

Im Berichtsjahr 2006 verlief der Betrieb dieser Systeme reibungsfrei. Die Aufgaben der Gruppe konzentrierten sich vor allem auf die Verbesserung der Vakuum- und Kontrollsysteme des TTF-Linearbeschleunigers FLASH, den Bau von Vakuumkammern für die neue Synchrotronstrahlungsquelle PETRA III, Entwicklungsarbeiten für die Vakuum- und Kontrollsysteme des XFEL sowie diverse Wartungs- und Reparaturarbeiten.

HERA

Im Berichtszeitraum wurde der HERA Protonenring durchgängig mit abgekühlten Magneten und damit in den Bögen mit kaltem Strahlrohr bei 4 K betrieben. An den Vakuumsystemen wurden lediglich kleinere Wartungs- und Reparaturarbeiten durchgeführt.

Vakuumsysteme für die TESLA-Test-Facility

Im Rahmen der Entwicklungsarbeiten der TESLA Technologie ist MVP mit verschiedenen Vakuumanlagen in den Testbetrieb der supraleitenden Kavitäten eingebunden. Die Anlagen und Abläufe werden kontinuierlich optimiert und den neuesten Erkenntnissen angepasst.

Im Ablauf der Vorbereitung der supraleitenden Kavitäten für den Betrieb hat sich inzwischen ein Ausheizen bei 120°C unter Vakuum als letzter Schritt vor dem vertikalen Test bei 2 K etabliert. Hierfür wurden von MVP zwei weitere Heizapparaturen in Betrieb genommen und mit einer automatischen Regelung für den Heizzyklus ausgestattet. Für diesen Prozess stehen nun drei Anlagen zur Verfügung.

Vakuumsysteme für FLASH

Beim Linearbeschleuniger FLASH wurden im Berichtszeitraum eine Reihe von Erweiterungen und Verbesserungen durchgeführt. Neben dem Einbau von weiteren Diagnoseelementen, ein neuer Strahllagemonitor im Abschnitt ACC6 sowie ein weiterer Toroid vor den Undulatoren, konzentrierten sich die Arbeiten auf den Bunchkompressor II. Hierfür wurden zwei neue flache Edelstahlkammern mit reduzierter vertikaler Höhe, größerer Winkelakzeptanz und zusätzlichen Auslassöffnungen für weitere Experimente konstruiert und gefertigt. Ebenso wurde in Zusammenarbeit mit Diagnoseexperten der Bau eines neuen Strahllagemonitors durchgeführt. Die neuen Komponenten wurden in der Sektion BCII eingebaut und erfolgreich in Betrieb genommen. Hierbei wurde die bestehende Kollimator-einheit umgebaut.

Für 2007 ist ein größerer Umbau des Injektors geplant, um die Strahlqualität zu verbessern. Hierfür wurden die Vakuumkammern zwischen der Elektronenkanone und dem ersten Beschleunigermodul konstruktiv überarbeitet und optimiert. Ebenso wurden die Unter-gestelle dieses Abschnitts sowie der Kanone und dem Kathodensystem überarbeitet, so dass nun mit der Fertigung der neuen Komponenten begonnen werden kann. Weiterhin werden verschiedene Vakuumkammern für den im Frühjahr 2007 geplanten Umbau bei FLASH vorbereitet.

Vakuumsysteme für XFEL

Aufbauend auf die Erfahrungen mit den Vakuumsystemen bei FLASH wurde die Weiterentwicklung verschiedener Komponenten für den XFEL vorangetrieben.

Für den XFEL wird jedes Modul mit einem Strahllagemonitor und einem Quadrupolmagneten zur Korrektur der Strahlage ausgestattet werden. Hierfür sind gegenüber den bisher in den Modulen bei FLASH eingesetzten Monitoren deutliche Verbesserungen hinsichtlich der örtlichen Auflösung notwendig. Zwei verschiedene Konzepte werden verfolgt und entsprechende

Prototypen getestet. Der bei DESY entwickelte Knopfmonitor hat sich im Testbetrieb bei FLASH bewährt. Die Konstruktion der Vakuumkammer wurde im Hinblick auf eine Serienfertigung optimiert. Der von CE-Saclay in enger Zusammenarbeit mit MVP angefertigte Cavity-Strahllagemonitor wurde zum Funktionstest in FLASH eingebaut.

Für den HOM-Absorber, der die höherfrequenten Anteile des Modenspektrums jeweils zwischen zwei Modulen absorbieren soll, wurden weitere vakuumtechnische Untersuchungen an Absorberkeramiken durchgeführt.

Im kalten Vakuumsystem des XFEL sind alle 150 m Vakuumschieber mit Ganzmetalldichtung vorgesehen, die auch im abgekühlten Zustand geschlossen bzw. geöffnet werden sollen. Da solche Schieber bisher nicht käuflich erhältlich sind, wurde in Zusammenarbeit mit der Industrie die Entwicklung eines Prototyps fortgesetzt. Parallel wurden die notwendigen Komponenten für einen Test des Prototypschiebers bei tiefen Temperaturen konstruiert.

Für den Modulteststand wurden die vorgesehenen Vakuumsysteme für das Strahl- und Isoliervakuum komplett installiert und in Betrieb genommen. Die Inbetriebnahme des Modulteststands sowie der Test des ersten Moduls in dieser Anlage wurden entsprechend unterstützt.

Im Bereich der Partikelerzeugung bzw. Partikeltransport in Vakuumsystemen wurden die Messreihen zum Partikeltransport beim Anpumpen und Fluten von Vakuumabschnitten sowie die Untersuchungen der Partikelerzeugung und Kohlenwasserstofffreiheit von schmiermittelfrei betriebenen Vor- und Turbopumpen weiter fortgesetzt.

Für die Elektronik des XFEL-Vakuumsystems wurden eine Reihe von Vorüberlegungen und Planungen angestellt. Unter anderem wurde mit der Entwicklung eines Netzteils für die Getterpumpen begonnen, deren Konzept festgelegt wurde. Zur Qualitätssicherung der Vakuumsysteme werden Massenspektrometer und Lecksucher eingesetzt. Für den XFEL werden neue Geräte beschafft werden müssen. Es wurde mit einer

Marktanalyse begonnen sowie Untersuchungen gestartet, den Gerätepark zu reduzieren und nur noch Massenspektrometer einzusetzen, die auch Lecksuchfunktionalitäten mit hoher Partialdruckauflösung und schnellen Antwortzeiten gestatten.

Vakuumsystem für PETRA III

Für den Ausbau des PETRA Beschleunigers zu einer Synchrotronstrahlungsquelle ist die Gruppe für die komplette Fertigung von über 250 Edelstahlkammern verantwortlich. Die elliptisch geformten Kammern, die zum Teil mit integrierten Strahlagemonitoren ausgestattet werden, haben seitliche Kühlkanäle sowie Pumpkanäle für NEG-Streifen, die aufgelötet werden.

Im Berichtszeitraum wurde mit der Serienfertigung begonnen. Die Einzelteile wurden überwiegend extern gefertigt, während die Fügeschritte bei DESY durchgeführt werden. Der Lötprozess bei ZM, bei dem alle drei Kanäle in einem Schritt angelötet werden, wird von der Gruppe intensiv vorbereitet und betreut (siehe Abbildung 126). Die abschließenden Schweißungen der verschiedenen Baugruppen zur fertigen Kammer werden in der Gruppe selbst durchgeführt. Mit Hilfe von selbst entwickelten und gefertigten Vorrichtungen

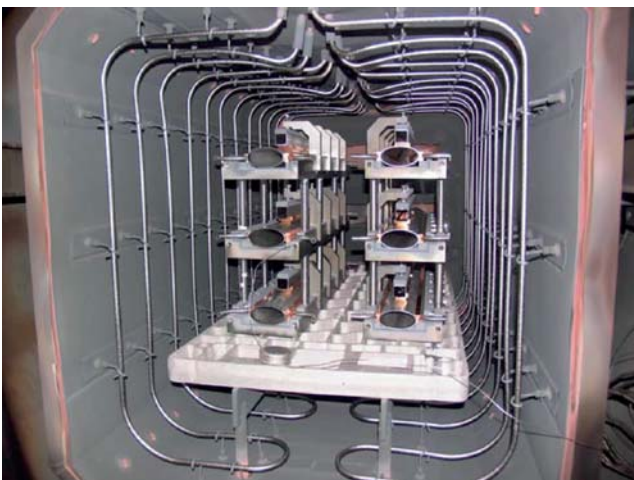


Abbildung 126: Lötöfen mit 6 Einheiten für die neuen Quadrupolkammern für PETRA III.

verläuft die Fertigung sehr zügig und zuverlässig. Inzwischen sind etwa 100 Kammern gefertigt und mit NEG-Streifen ausgerüstet.

Nach der Lecksuche werden die Kammern bei 150°C mit Dampf ausgeheizt, die NEG-Pumpen aktiviert sowie ein Restgasspektrum zur abschließenden Qualitätssicherung aufgenommen. Hierfür wurden drei Teststände für je vier Kammern mit entsprechenden Vakuumpumpen und Vakuummessgeräten aufgebaut. Rund 70 Kammern haben den gesamten Prozess erfolgreich durchlaufen und stehen zum Einbau für PETRA III bereit.

Kontrollsysteme für FLASH, XFEL und zukünftige Linearbeschleuniger

Ein Großteil der Arbeiten wurde in die Erweiterung vom FLASH Kontrollsystem investiert. Es wurde unter anderem ein sogenannter *alternating Gradient Mode* beim Betrieb der supraleitenden Cavitäten eingebaut. In diesem Betrieb wird das Beschleunigungsfeld bei jedem zweiten Maschinenschuss auf einen höheren Gradienten geregelt. Diese Betriebsart dient als Langzeittest bei maximaler Beschleunigung als Vorbereitung für den Internationalen Linear Collider (ILC) und kann parallel zum normalen Nutzerbetrieb von FLASH laufen.

Das System zur schnellen Datennahme (DAQ) wurde stark erweitert und erfolgreich im Betrieb genutzt. Typische Datenraten, die von der DAQ archiviert werden, sind 18 GB/Stunde für die FLASH-Strahldiagnose, 15 GB/Stunde für die Experimente und zusätzlich 17 GB/Stunde für Kamerabilder. Diese Daten werden teilweise auf Bändern im Rechenzentrum gespeichert. Lokal steht ein neu installiertes 24-TB-Filesystem zur Verfügung. Neben der Datenarchivierung besteht die Hauptanwendung des Systems in der effizienten Bereitstellung aller Messwerte der Strahldiagnostik für jedes Elektronenpaket in FLASH an einem zentralen 16-Prozessor-Rechner. Hier werden die Daten z. B. zur Energiebestimmung der Elektronen sowie der Photonen, zur Messung oder Regelung der Strahlage oder der Phasen des Elektronenstrahls synchronisiert mit

dem Strahlpaket bereitgestellt. Es wurden Interfaces entwickelt, die das Implementieren dieser komplexen Mess- und Regelungsprogramme in MatLab ermöglichen. Das DAQ-System ist vollständig in das DOOCS Kontrollsystem von FLASH integriert.

Für die Auswertung der Daten der Experimente am Photonenstrahl von FLASH sind die gemessenen Energien für jeden Bunch, das heißt für jeden Lichtblitz, notwendig. Diese Daten, sowie einige Daten der Experimente wie zum Beispiel von hochauflösenden Kameras oder von Analog-Digital-Konvertern, die mit GHz abtasten, werden ebenfalls über das DAQ System auf dem zentralen Bandspeicher von IT archiviert. Im Berichtszeitraum waren das 2 TB.

Die Software zur Datenaufnahme der schnellen ADCs, hier handelt es sich um ein cPCI Crate der Firma Acqiris, sowie die Kamera-Steuerung und Auslese, basierend auf Industrie-PCs unter Debian-Linux, wurden von der Kontrollgruppe neu entwickelt. Von den Kameras sind mittlerweile ca. 20 Stück bei FLASH installiert. Die beiden hochauflösenden Kameratypen werden über spezielle PC-Karten ausgelesen, die anderen Kameras sind über FireWire/IEEE1394 angeschlossen.

Für die Vorbereitung zum XFEL wurden für die Hardware das ATCA System evaluiert. Dieser neue Standard für Elektronikschübe ist von der Telekommunikationsindustrie entwickelt worden. Er zeichnet sich durch ein sehr gut durchdachtes Redundanz- und Fernwartbarkeitskonzept aus sowie durch die große Beteiligung der Industrie an diesem Zukunftsmarkt. Es wurden viele Gespräche mit Herstellern und Vertreibern von ATCA geführt sowie erste Prototypen im Labor installiert. Darüber hinaus wurde an Konzepten für das Timing System und das Maschinen-Protection-System gearbeitet. Für die Motorsteuerung der Frequenz der supraleitenden Kavitäten wurde ein Prototyp fertig gestellt.

In der Softwareentwicklung wurden weitere über JAVA basierte Programme als Benutzerinterface zum Kontrollsystem erstellt. Diese verschiedenen Programme dienen zur Darstellung von Alarmen, als tabellarische Übersicht von Parametern bzw. als Design-Werkzeug für Benutzeroberflächen. Darüber hinaus ist die Funk-

tionalität des weltweit eingesetzten elektronischen Logbuchs erweitert worden. Auch andere Labors, z. B. SLAC, wurden bei dem Betrieb und dem Upgrade unterstützt.

Kryogenik und Supraleitung –MKS–

Kryogenik

Betrieb der HERA-Kälteanlagen

Die HERA-Kälteanlagen versorgten den HERA-Speicherring im Berichtszeitraum mit einer Verfügbarkeit von 98.9%. Dabei gab es keine nennenswerten Ausfälle der Kälteanlagenkomponenten. Die aufgetretenen Ausfallzeiten wurden im Wesentlichen durch Magnet-Quenche und Fehler im SEDAC-Teil des Kontrollsystems verursacht.

Zwei der drei HERA Coldboxen waren im Berichtszeitraum 2006 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 der Experimente H1, ZEUS und HERMES mit Helium bei 4.0 K bzw. 4.4 K und 40 K. Die dritte Coldbox versorgte den FLASH Linac sowie zeitweilig den neuen Kryomodulteststand (CMTB) und die Magnettesthalle (MTH).

Der ehemalige supraleitende ZEUS-Kompensatormagnet, der sich durch hohe Feldstärke und große Apertur auszeichnet, wurde in der HERA Kältehalle als Teststand betrieben.

Für HASYLAB und die Labors wurden in 2006 in der HERA-Kryoanlage insgesamt ca. 353 Kannen Helium zu je 100 Liter verflüssigt und bereitgestellt.

Nach der Installation von Frequenzrichter-Ansteuerungen für alle Joule-Thomson Kompressoren der Kälteanlage konnte der Primärenergieverbrauch bei gleicher Kälteleistung im Vergleich zu den Vorjahren

um mehr als 10% gesenkt werden. Im Dezember 2006 erreichten die 21 Expansionsturbinen der Kälteanlage eine Gesamtlaufzeit von 2 Millionen Betriebsstunden.

Betrieb der HERA-Referenzmagnete

Die Magnetfeldmesssysteme in den Referenzmagneten konnten ohne nennenswerte Störungen über den gesamten Berichtszeitraum betrieben werden.

Kryoversorgung FLASH-Linac und TESLA Test Facility (TTF)

Der FLASH-Linac wurde über das gesamte Betriebsjahr 2006 von der HERA-Kälteanlage betrieben und ist somit seit März 2004 durchgängig kalt. Die weitere Planung für den Betrieb sieht vor, dass das FLASH-Kryosystem bis zum Shut-down im Frühjahr 2007 ohne Unterbrechung in Betrieb bleibt.

In den Kryostaten des TTF-Testfeldes wurden insgesamt 174 Messungen und Tests durchgeführt, davon waren 151 vertikal und 23 horizontal. Das Testfeld wurde von der 900 W Heliumkälteanlage in Halle 3 versorgt.

Im horizontalen Teststand (Chechia) wurden die Kavitäten für die Kryomodule Nr. 6 und Nr. 7 qualifiziert. Bei diesen Qualifizierungsmessungen wurden die Tests der Kavitäten-Tuning-Systeme mit Piezo-Elementen integriert.

In den vertikalen Kryostaten fanden Tests an ein- und neunzelligen Kavitäten statt. Zusätzlich wurden auch Tests an speziellen Kavitäten für Injektoren durchgeführt. Weitere Tests in den vertikalen Kryostaten wurden an neuen Typen von Durchführungen für Strahlmonitore (BPMs), supraleitenden Magnetspulen und Stromzuführungen unternommen.

Betrieb der Cavity Testanlage (CTA)

In Gebäude 47 (PETRA-Halle NO) wurde die Cavity-Test-Anlage (CTA) für Tests von ein- und mehrzelligen supraleitenden Kavitäten an 49 Testtagen betrieben,

dabei erfolgten Kalttests an 46, meist 1-zelligen, Kavitäten. Der wechselnde Betrieb der 300-Watt-CTA-Kälteanlage wurde von der HERA-Kryomannschaft durchgeführt.

Betrieb der Magnetesthalle (MTH)

Zur Suche nach Axion-artigen neuen Teilchen (ALPS-Experiment), die im Frühjahr 2007 geplant ist, wird ein HERA-Dipol in der MTH (Geb. 55) zum Aufbau des benötigten statischen Magnetfeldes verwendet. Zur Vorbereitung dieses Experimentes wurde eine Abkühlung des Dipolmagneten auf dem Teststand durchgeführt und alle Subsysteme in Betrieb genommen.

Kryomodulteststand (CMTB)

Der Kryomodulteststand wurde im Jahr 2007 vollständig aufgebaut und mit seinen Hochfrequenzeinrichtungen und kryogenen Systemen in Betrieb genommen. Für die Abnahme der kryogenen Systeme wurde der Teststand zunächst in einem Kurzschluss zwischen Anschluss- und End-Box betrieben und insgesamt dreimal abgekühlt und aufgewärmt. Im stationären Zustand wurden die statischen Wärmeverlustmessungen am kryogenen Versorgungssystem durchgeführt. Dabei konnten die spezifizierten Eigenschaften nachgewiesen werden.

Im August erfolgte die Installation des Kryomoduls Nr. 6 auf dem Teststand (siehe Abbildung 110 im XFEL-Bericht aus Seite 187). Für den Anschluss der Heliumprozessleitungen wurden erstmals neue Flanschverbindungen verwendet, die später auch bei den Serientests der XFEL-Kryomodule benötigt werden. Nach dem Anschluss des Kryomoduls wurde der Testbetrieb aufgenommen. Damit können jetzt unabhängig vom Betrieb des FLASH-Linacs Kryomodule zeitnah nach ihrer Fertigstellung getestet werden. Zum Testumfang gehören unter anderem die Überprüfung der Hochfrequenzeigenschaften sowie die Messung der statischen und dynamischen Wärmeverluste der Kryomodule. Wesentlich ist auch die Überprüfung der mechanischen Ei-

genschaften bei der Beanspruchung durch thermische Zyklen.

Der Aufbau des Modulteststandes wird gefördert durch European FEL Design Study, Contract No.: 011935.

Kryokontrollen am Kryomodulteststand

Bei der Implementierung der für die Kältekontrollen erforderlichen Instrumentierung, wurden bei der CMTB neue Wege beschritten. Die Einführung intelligenter Sensoren ermöglicht eine bessere Diagnose während des Betriebes und bietet Erleichterungen bei der Inbetriebnahme. Die Einführung intelligenter Sensoren bei der CMTB soll auch Erkenntnisse für den zukünftigen Betrieb im XFEL liefern.

Die intelligenten Feldbus-Sensoren und -Aktoren tauschen ihre Prozessdaten über das PROFIBUS Feldbussystem mit einem Steuerungsrechner aus. Die im Bussystem verwendete Zweidrahttechnik reduziert den Verkabelungsaufwand auf ein Minimum. Um die Stellungsregler vor eventueller Röntgenstrahlung der Kavitäten zu schützen, sind die Stellungsregler und die Drucktransmitter außerhalb der Abschirmung montiert. Ein weiterer wichtiger Vorteil beim Einsatz von intelligenten Feldbusgeräten besteht darin, dass die Prozesswerte direkt am jeweiligen Sensor digitalisiert werden. Dadurch werden Störungen des Messwertes weitgehend minimiert.

Zur Projektierung des Prozessleitsystems EPICS wurde das selbst entwickelte Projektierungs-Werkzeug Epics-Ora eingesetzt. Dieses ermöglicht die Anbindung des Systems an die vorhandenen Datenbanken.

Das zugrunde liegende Konzept machte eine rasche Inbetriebnahme der Instrumentierung möglich, die parallel während der Montage erfolgte. Nach Fertigstellung der Anlage konnte diese ohne Verzögerung in Betrieb genommen und getestet werden. Zur Unterstützung der umfangreichen Messaufgaben an den Beschleuniger-Modulen wurde die Plattenkapazität des Archiv-Servers erheblich erweitert. Durch diese Maßnahme kann die langfristige Archivierung von Messdaten mit einer hohen Auflösung gewährleistet wer-

den. Die Archivierungssoftware und die Software zur Auswertung der Messergebnisse werden kontinuierlich weiterentwickelt.

Supraleitung

Infrastruktur

Elektropolitur

Die Parametereinstellungen der Elektropolituranlage (EP-Anlage) wurden weiter optimiert, so dass auch bei Behandlungsdauern von über vier Stunden ein stabiler Betrieb gefahren werden kann. Es wurden insgesamt 61 Elektropolituren von ein- bis sechs Stunden Dauer durchgeführt. Insgesamt wurden mit der EP-Anlage im Jahre 2006 ca. 130 Betriebsstunden bei einem Strom von 300 Ampere gefahren. Die Betriebsstunden verteilen sich auf EP Hauptbehandlungen mit bis zu 6 Stunden und EP Endbehandlungen mit ca. 2 h Dauer.

Der EP-Betrieb konnte im Berichtszeitraum ohne nennenswerte technische Störungen aus dem Bereich der EP-Anlage durchgeführt werden.

Begrenzungen der Behandlungsdauer und technische Störungen wurden im Wesentlichen durch die Kühlwasserinfrastruktur verursacht. Dabei führten die zeitweilig zu hohe Vorlauftemperatur und der zu niedrige Druck der Stadtwasserversorgung auf dem DESY-Gelände zu Abschaltungen. Die Verwendung von Stadtwasser zur Kühlung ist eine Sicherheitsauflage des TÜV für den Betrieb der EP-Anlage.

Im Rahmen der Wartungsarbeiten an der Polituranlage wurde in 2006 erstmals die Elektrode ausgetauscht, da deutliche Erosionsspuren erkennbar waren.

Eine Analyse der Anlagenparameter der letzten 3 Betriebsjahre ergab, dass in der Anlage ein Alterungsprozess stattfindet. Bei gleichen Politurspannungen und Temperaturen reduzierte sich die Abtragsrate kontinuierlich von 0.4 auf 0.35 $\mu\text{m}/\text{Minute}$. Auch der Austausch der Elektrode veränderte diesen Wert nicht. Um die Ursache der Alterungsprozesse zu ermitteln, werden im nächsten Anlagen-Shut-down alle Strom leitenden

Komponenten auf Verschleiß bzw. Korrosion hin überprüft.

Zur Verbesserung der Qualitätskontrolle der Säure wurde ein Online Sensor eingebaut. In fest vorgegebenen Temperaturbereichen wird das Strom-Spannungsverhältnis automatisch ermittelt. Dieses Verhältnis ist ein Maß für den HF Gehalt der Säure. Mit dem Online Monitor kann sowohl die Qualität der neu in die Anlage eingefüllten Säure, als auch der Verbrauch der reaktiven Substanzen der Politursäure bei der chemischen Reaktion kontrolliert werden.

Reinraum

Nach der Generalüberholung der Filtereinheiten in 2005 zeigte der RR gleichbleibende Luftqualität die sowohl im Bereich der Klasse 10 als auch der Klasse 100 die durch die US Norm ASTM vorgegebene Qualität unterschreitet. In 2006 hat der RR eine Verfügbarkeit von 99% gehabt (ohne Störeinflüsse der sonstigen Infrastruktur). Es wurden 38 Kavitäten für den Test im vertikalen und 12 Kavitäten für den horizontalen Test (Chechia) montiert und behandelt. Zudem sind in 2006 die Modul Strings von Modul 6 und 7 montiert und für den Einbau in die Kalten Massen vorbereitet worden.

Alle in die Qualitätskontrollen des Reinraumes integrierten Messsensoren für die RR Luft, das Reinstwasser und den TOC Wasserwert zeigten konstant hohe Qualität der Hardwarekomponenten an. Typische Werte, die in 2006 ermittelt wurden, sind in Tabelle 8 angegeben.

Reinraum Luft

Klasse 10	Klasse 100	Messgröße
< 10 Part.	< 100 Part.	Partikel > 3 µm/qft

Reinstwasser HD Spüle

Partikel	< 10	Partikel > 0.2 µm/Liter
TOC	≤ 2 ppb	Parts per Billion
Bakterien	0–1	Kolonien je Liter

Tabelle 8: Typische Messwerte der Infrastruktur zur Resonatoren Behandlung in 2006.

Störungen der Infrastruktur

Drei Bereiche der Infrastruktur haben den gesamten Präparationsbetrieb im Jahre 2006 gestört. Dazu gehören die Qualität des zur Kühlung verwendeten Stadtwassers, die Verkeimung der Reinstwasseranlage und Probleme mit der bei Arbeiten im Chemiebereich verwendeten Schutzkleidung.

In einem monatlich durchgeführten Turnus werden alle Reinstwasser Entnahmestellen auf Bakterienbefall hin überprüft. Ende August ergab die Kontrolle, dass an der Entnahmestelle HD Spüle ein Bakterienwert von 50 Kolonien je Liter (siehe Abbildung 127) aufgetreten ist. Dieser Wert entspricht 50% der laut DIN (100 Kolonien/Liter) zugelassen Menge für Reinstwasseranlagen. Dieser Befall mit Bakterien kann in Zusammenhang mit der in dieser Zeit zu hohen Wassertemperatur des Versorgungswasser gesehen werden, das mit einer Zulauftemperatur von 20°C anstelle der üblichen 10–13°C aus dem Leitungsnetz übernommen werden musste. Zur Desinfektion der Anlage musste der gesamte Präparationsbetrieb eingestellt werden, da eine Hauptkomponente der Behandlung Reinstwasser

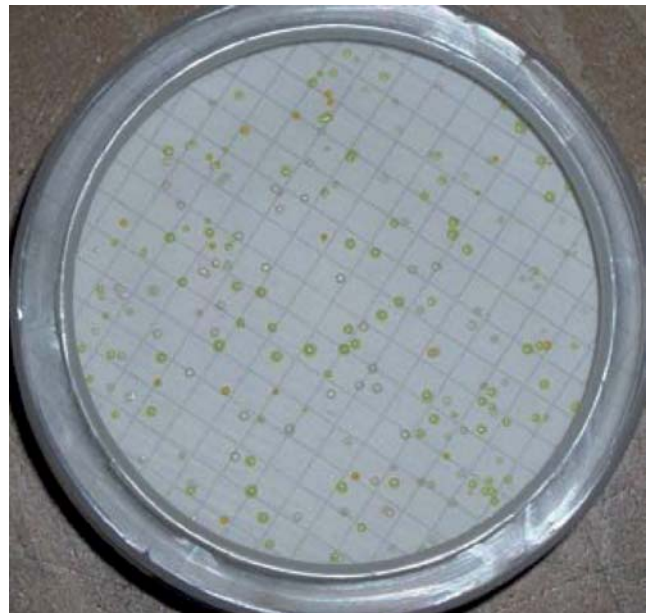


Abbildung 127: Bakterienbefall der Reinstwasseranlage. Probe entnommen am Hochdruckspülzulauf POU Filter.

ist. Eine mit dem befallenen Reinstwasser behandelte Kavität zeigte ein Einsetzen von Feldemission bei einer niedrigen Feldstärke (Abbildung 128).

Hochdruckspüle

Die Hochdruckspüle (HD-Spüle) ist neben der Elektropolitur und der Beizanlage eine der Hauptinfrastruktureinrichtungen für die Resonator Behandlung.

Insgesamt sind 355 Hochdruckspülen von je 2h Dauer mit einem Anlagendruck von 100 bar durchgeführt worden, um Resonatoren für vertikale Tests, das Tankschweißen oder den Chechia Test/Moduleinbau vorzubereiten. 72 Hochdruckspülbehandlungen wurden für die Präparation von 12 Resonatoren für den Chechia Test bzw. den Einbau in die Module 6 und 7 gefahren.

Zur Entlastung der 13 Jahre alten Hochdruckspüle und zur Schaffung eines redundanten Systems befindet sich eine neue Hochdruckspüle im Aufbau. Diese HD-Spüle soll zudem als Prototyp einer industriellen Anlage für die Serienfertigung der XFEL-Kavitäten dienen. Im Gegensatz zur existierenden Anlage wird in dieser Anlage der Wasserdruck mit einer Turbine anstelle einer Kolbenpumpe erhöht, damit sollen Schwingungen der Hochdrucklanze vermieden werden. Die verwendete Hochdruckturbine hat ein Fördervolumen von bis zu 6000 Litern pro Stunde und ist in der Lage, bis zu sechs Hochdruckspülanlagen gleichzeitig zu bedienen. Ein in die neue Hochdruckspülanlage eingebauter unabhängiger Reinstwasserkreislauf ermöglicht es, die bessere Spüleistung von heißem Wasser von 60 bis 70°C bei der Hochdruckreinigung zu nutzen.

Im Rahmen der vorbereitenden Arbeiten für die Kontrolle der neuen HD-Spüle wurden durch die Gruppe MKS4 verschiedene Aufgaben realisiert. Nach Definition der Kommunikation und der Schnittstellen mit einer externen Firma wurde die Steuerung der Reinstwasseranlage in das Kontrollprogramm auf der SPS eingebunden. Der umfangreiche Test der Motorsteuerung für die Hochdruckspüle inklusive der Frequenzumrichter und der Interlockbedingungen in einer Laborumgebung verliefen erfolgreich. Am Aufbau der Hochdruckspüle wurden die Notaus-Einrichtung, die Interlocks und die

Hardware-Endschalter getestet. Eine Visualisierung über Internet ist in Vorbereitung.

Datenbank für die Kavitäten

Inzwischen sind die wichtigsten Daten von 150 9-Zell-Kavitäten, fast 80 Einzellern, über 20 anderen Kavitäten und 75 RF-Kopplern in einer relationalen Oracle-Datenbank gespeichert. Diese Daten stammen im Wesentlichen von der visuellen, mechanischen und elektrischen Eingangskontrolle der Kavitäten bei DESY, von der chemischen Behandlung (BCP und EP) der Kavitäten und den Resultaten ihrer RF-Messungen bei 2 K. Das Testen und Konditionieren der RF-Koppler liefern weitere Daten.

Die Daten der mechanischen und elektrischen Vermessungen der Halbzellen, Hanteln (*Dumb-Bells*), Endgruppen und HOM-Koppler, den Bausteinen der Kavitäten, werden von den Firmen via EDMS an die Datenbank geliefert. Die statistische Analyse der Ergebnisse ist ein wichtiges Element der Qualitätskontrolle.

Somit sind schließlich die wichtigsten Informationen über eine Kavität von der Fertigung bis zu ihrem Einbau in ein Kryomodul in der Datenbank gespeichert. Diese ist dynamisch für alle Benutzer über ein umfangreiches grafisches WEB-Interface zugänglich, das auf Oracle-Produkten basiert, ständig erweitert wird und den Benutzern einen schnellen, unkomplizierten Zugriff auf die gespeicherten Daten ermöglicht.

Kavitäten Behandlungen

Bau von Kryomodulen

Es wurden die Kavitäten-Ketten (*Cavity-Strings*) für zwei Kryomodule im Reinraum präpariert und montiert. Eines der Kryomodule (Produktions-Nr. 6) entspricht in seiner Konstruktion dem letzten Design-Schritt (Typ III) der TESLA Prototypmodule und soll im nächsten Shut-down des FLASH-Linacs als sechstes Beschleunigermodul (Position ACC6) eingebaut werden. Der TESLA Design-Typ III bildet die Grundlage

	Ac 70 ep	Ac 76 ep	Ac 81 ep	Z 87 ep	Z 85 ep	Z 92 ep	Z 83 ep	Z 90 ep
Eacc max	35.25	35.15	36.1	34.45	32.1	31.8	35.2	25
Eacc@ 10^{-4} mGy/min	35.25	35.15	30.16	34.45	32.1	31.8	35.2	25.0
Eacc@ 10^{-2} mGy/min	35.25	35.15	31.29	34.45	32.1	31.8	35.2	25.0

Tabelle 9: Hochfrequenzmessergebnisse der horizontalen Tests (Chechia) der in Modul 6 eingebauten Resonatoren.

	Z99 ep+	C25 BCP	Z96 ep+	C23 BCP	A15 BCP	C27 BCP	Z95 ep	C21 BCP
Eacc max	29	29.5	27.4	30	30.1	33.7	32.6	33.3
Eacc@ 10^{-4} mGy/min	25.3	23.3	20.8	20.34	20.84	25.1	30.1	30.2
Eacc@ 10^{-2} mGy/min	25.3	23.3	26.7	25.5	25.91	30.4	32.6	32.3

Tabelle 10: Hochfrequenzmessergebnisse der horizontalen Tests (Chechia) der in Modul 7 eingebauten Resonatoren (aufgrund der unterschiedlichen Vorgeschichte der verwendeten Kavitäten können keine einfachen Rückschlüsse auf die benutzten Präparationsverfahren gezogen werden).

für die Auslegung der XFEL-Kryomodule. Das zweite Kryomodul (Produktions-Nr. 7) ist vom älteren TESLA Typ II und wird das Modul 3* auf Position ACC3 im FLASH-Linac ersetzen.

In Vorbereitung der Stringmontage von Modul 6 wurden Gäste des FNAL und des KEK in der Montage von Resonatoren zum String trainiert.

Neben der Verwendung im FLASH-Linac und der Vorbereitung des XFEL-Projektes soll mit Modul 6 die Realisierung höchstmöglicher Beschleunigergradienten demonstriert werden.

Im Modul 6 ist ein mittlerer Gradient von 33.1 MV/m zu erwarten (Tabelle 9). Modul 6 befindet sich seit August 2006 im Test in der neuen CMTB Testanlage.

Für Modul 7 wurden 5 Kavitäten aus der 2ten Produktion (C Kavitäten) durch nass chemische Behandlung (BCP) erneut präpariert. Drei Resonatoren des Moduls 7 sind aus der laufenden Kavitäten-Produktion entnommen und mit dem Elektropoliturverfahren (EP) behandelt worden. Für das Modul 7 ist im Mittel ein maximaler Gradient von 30.7 MV/m je Kavität zu erwarten (siehe Tabelle 10).

In den Tabellen 9 und 10 ist jeweils die Energiedosisleistung der bei den Tests gemessenen Bremsstrahlung

angegeben. Bei festem Messaufbau ist diese Dosisleistung ein relatives Maß für die bei einer bestimmten Beschleunigungsfeldstärke auftretende Feldemission. Bis zu einer Energiedosis von 10^{-2} mGy/min kann die Beschleunigungsfeldstärke erfahrungsgemäß im Linac genutzt werden (untere Zeile in den Tabellen).

Kavitäten Behandlungen und Testergebnisse

Zur Vorbereitung für vertikale Hochfrequenztest wurden in 2006 21 Resonatoren der Produktionsreihe 4, fünf Resonatoren der Produktionsreihe 2 und drei großkristalline 9-zellige Resonatoren mit Elektropolitur (EP) bzw. Chemiepolitur (BCP) behandelt. Für eine Serienproduktion muss aus Kostengründen damit gerechnet werden, dass lediglich ein einziger Testdurchlauf (*Power-Rise*) bei den Hochfrequenztests (HF) durchgeführt wird und die hierbei erzielten Ergebnisse die Qualität der Resonatoren bestimmen. Die Hochfrequenzmessungen des Jahres 2006 wurden unter diesem Aspekt ausgewertet, um einen Ausblick auf eine Serienproduktion zu gewinnen. Für die in den Abbildungen 128 und 129 dargestellten HF Messergebnisse wurde hier jeweils nur der erste *Power-Rise* nach der Präparation für den Test herangezogen sowie

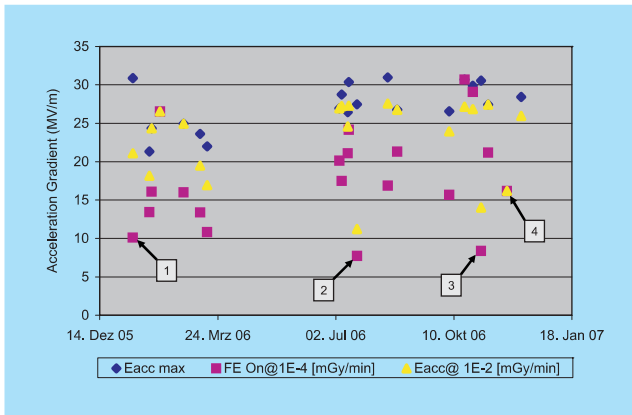


Abbildung 128: Auswertung der HF Testergebnisse der in 2006 präparierten Resonatoren der Produktionsreihe 4 (Z Cavities) unter den Randbedingungen einer Serienproduktion (first Power rise after preparation). Testergebnis: 1) Reinstwasseranlage von Bakterien befallen/UV Brenner ausgefallen, 2) Reinstwasseranlage von Bakterien befallen/ Ursache unbekannt, 3) Ausfall der Hochdruckspüle/ Cavity trocknet unkontrolliert, 4) Resonator durch Quench in einer Schweißnaht limitiert.

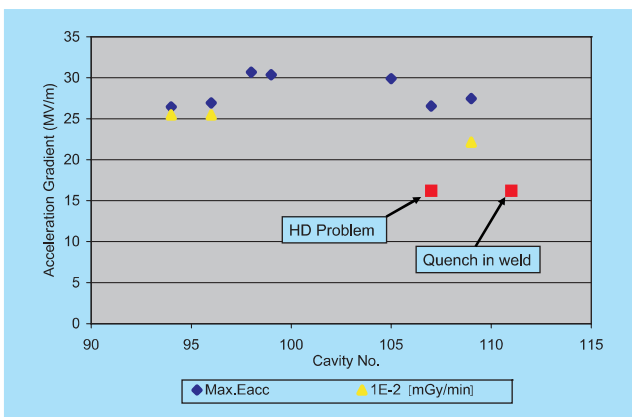


Abbildung 129: Hochfrequenz Messergebnisse der mit Flash BCP behandelten Resonatoren. Auswertung der Ergebnisse unter den Randbedingungen einer Serienproduktion (first Power rise after preparation).

die Akzeptanzgröße für Strahlungsdosisleistung durch Feldemission dargestellt.

Dreizehn der in 2006 präparierten Resonatoren erhielten eine Endbehandlung mittels BCP. Aus der neuen

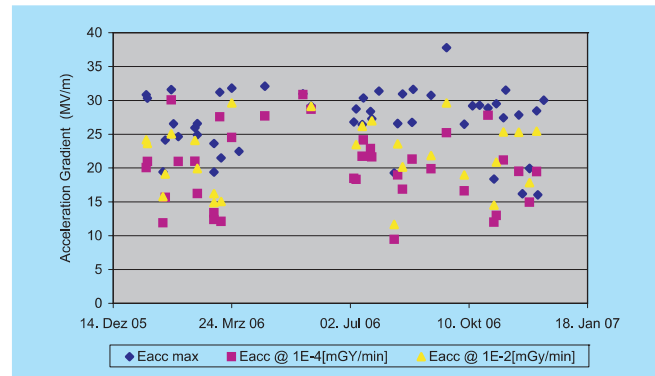


Abbildung 130: Hochfrequenz Messergebnisse aller in 2006 präparierten Resonatoren.

Produktionsreihe 4 wurden acht Kavitäten mit Flash-BCP für vertikale Tests vorbereitet (Abbildung 130). Bei dieser neu eingeführten Behandlungsmethode werden in einer Kurzbehandlung durch Beizen (BCP) ca. 10 µm von vorher elektropolierten Oberflächen abgetragen. Dieses Verfahren ist weniger aufwendig als eine End-EP-Behandlung und möglicherweise weniger anfällig für das Auftreten von Feldemission.

In 2006 sind insgesamt 18 Resonatoren einer BCP Behandlung zur Vorbereitung des 800°C Wasserstoffentgasungsglühens unterzogen worden.

Abbildung 130 zeigt die Zusammenfassung der im Jahre 2006 erzielten Testresultate.

Vorbereitungen für das XFEL-Projekt

Abgesehen von den unmittelbaren Arbeiten für den Betrieb von HERA dienen viele der oben geschilderten Aktivitäten der Gruppe MKS den Vorbereitungen für das Europäische Röntgenlaserprojekt (XFEL-Projekt). Dazu gehören der gesamte Bereich der Behandlung der supraleitenden Kavitäten, der Bau der Kryomodule, der zugehörigen Datenerfassung, der Aufbau und Betrieb des Modulteststandes, die Weiterentwicklung der Kontrollen und letztlich auch der Ausbau und Betrieb des FLASH-Linacs. Darüber hinaus beinhalten die Vorbereitungen die Prototypentwicklung der XFEL-Kryomodule, die kryogenische Versorgung des supraleitenden Linacs mit einer Heliumkälteanlage und dem

zugehörigen Heliumverteilersystem und die Planung einer Testhalle für die Qualifizierung der Kavitäten und Kryomodule aus der Serienproduktion für das XFEL-Projekt.

XFEL-Kryomodule

Ausgehend vom TTF-Kryomoduldesign der dritten Generation (Typ III) wurde das Design für einen XFEL-Prototyp weiterentwickelt .

Mit der Montage von Modul 6 wurden die Vorbereitungen zu einer Serienproduktion der XFEL-Kryomodule begonnen. Der Zusammenbau von Modul 6 erfolgte mit der Einbindung von zwei Industriefirmen (ACCEL und Babcock Noell) die mit der Anfertigung einer Industriestudie beauftragt sind (gefördert durch European FEL Design Study, Contract No.: 011935). Mit dieser Studie sollen die bei DESY entwickelten Arbeitsabläufe für eine Serienmontage von Modulen für das XFEL-Projekt hin überprüft und optimiert werden. Zudem soll in dieser Studie die Frage der Transportfähigkeit der Module und eventuell notwendiger Um- oder Neukonstruktion zur Kostenreduzierung geklärt werden. Der erste Teil dieser Studie wurde von den Firmen vorgelegt. Es ergibt sich, dass die bisher vorgesehene Konstruktion der Kryomodule und die geplanten Arbeitsabläufe ohne wesentliche Änderungen für eine industrielle Serienproduktion von 120 Kryomodulen mit einer Produktionsrate von einem Kryomodul pro Woche übernommen werden können. Die String-Montage im Reinraum kann zeitlich verkürzt werden, wenn auf vorgereinigte Zulieferteile zurückgegriffen werden kann und die Fertigungstoleranzen bei den Kavitäten in der Serienproduktion eingeengt werden können. Der Transport der Kryomodule wird weiter im Detail untersucht, grundsätzlich werden aber auch hier keine größeren Schwierigkeiten erwartet.

An den sogenannten Kryomodul-Schweißdummys wurde mit den Testschweißungen der Orbital-Schweißanlage begonnen. An dem bestehenden System der Schweißanlage mussten diverse Umbauten durchgeführt werden, da geplant ist, bei einem Teil der Prozessleitungen der XFEL-Module die Nennweite gegenüber

den Typ-III-Kryomodulen zu vergrößern. Aus der Industrie wurde eine sprengplattinierte Titan-Edelstahl Platte bezogen, aus der sogenannte *Transition Joints* hergestellt wurden, die in den Kryomodul-Kryomodul Verbindungen eingesetzt werden sollen, um die bisher verwendeten Titan-Edelstahl Flanschverbindungen zu ersetzen. Diese Verbindung ist platzsparender, leichter und auch günstiger als die bisher verwendeten Flanschverbindungen und soll durch das standardisierte Orbital-Schweißverfahren die Montagezeit der Kryomodule in den XFEL-Linac verkürzen. Für 2007 sind ausgiebige Kalttests und Werkstoffuntersuchungen an den Verbindungen geplant, um diese für den Einsatz zu qualifizieren.

In 2006 wurde mit der Fertigung der sogenannten *Support Posts* der Kryomodule begonnen. Die *Support Posts* (siehe Abbildung 131) stellen eine wesentliche Baugruppe in den Kryostaten dar, da an diesen der gesamte Innenteil des Kryomoduls aufgehängt ist. Daher müssen diese eine hohe Festigkeit und Stabilität bei geringer Wärmeleitfähigkeit aufweisen. Bei allen bisherigen Kryostaten wurden die *Support Posts* nur von einem Anbieter beigestellt. Um für das XFEL-Projekt Alternativen zu haben, wurden die Teile von einem anderen Hersteller beschafft. Die Vermessung der Teile und die Herstellung der *Support Posts* ist für Anfang 2007 geplant.

Weiterhin wurde die Fertigung zweier Kryomodul-Kryostate in der Industrie betreut.

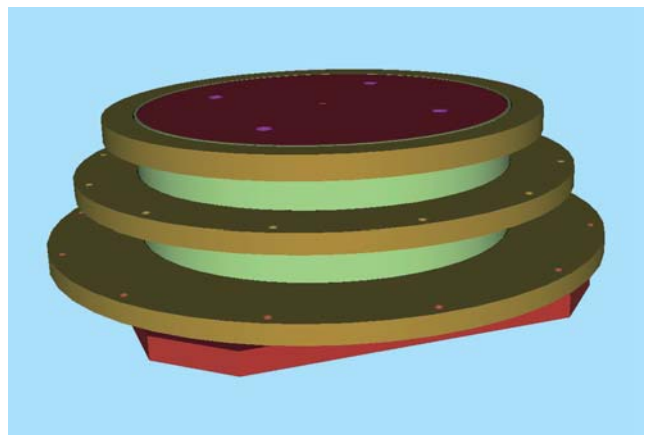


Abbildung 131: Die 3-D Darstellung eines *Support Posts* der Kryomodule.

Magnetentwicklung

Für das XFEL-Projekt werden ca. 120 Magnetpakete benötigt, die in die Kryomodule eingebaut werden. Jedes Paket besteht aus einem *super-ferric* Quadrupol, d. h. supraleitende Spulen auf einem feldformenden Eisenjoch, mit einem Gradienten von 35 T/m bei 50 A. Zusätzlich sind zwei einlagige Dipol-Korrekturspulen mit 0.04 T bei 50 A zur horizontalen und vertikalen Strahlablenkung auf dem Strahlrohr aufgebracht. Der Magnet soll bei 2 K betrieben werden. Die Länge ist auf 30 cm beschränkt.

Das Design dieses Magnetpaketes ist abgeschlossen. Der erste Prototyp ist in Kollaboration mit CIEMAT (Madrid) in Spanien gebaut worden und wird zurzeit bei DESY getestet.

Die zum Magnetpaket gehörenden Stromzuführungen basieren auf einem bei CERN benutzten Design. Ein Prototyp ist in Kollaboration mit CERN fertig gestellt worden und soll Anfang 2007 getestet werden.

Die Magnete und Stromzuführungen müssen vor dem Einbau in die Kryomodule detailliert getestet und vermessen werden. Dazu ist bei DESY ein neuer Messplatz zur magnetischen Vermessung bei Raumtemperatur aufgebaut worden. Mit einer im Rahmen einer Kollaboration mit IHEP in Peking gebauten Messspule kann die Feldqualität gemessen werden. Ein *Stretched Wire* System erlaubt die Bestimmung der Quadrupolachslage und des Feldwinkels mit großer Genauigkeit. Diese Information wird z. B. zur präzisen Montage des Strahlpositionsmonitors am Magneten benötigt.

Die Überprüfung der Magnetfelder im supraleitenden Zustand unter Einbeziehung der Stromzuführungen wird vor dem Einbau ins Beschleunigermodul in einem entsprechend zugeschnittenen Testkryostaten durchgeführt werden. Die Spezifikationen für den Testkryostaten und die benötigte Infrastruktur wurden erarbeitet und der technische Teil der Ausschreibungen vorbereitet. Der Testkryostat wird sowohl für die Entwicklung der Prototypen als auch für die späteren Serientests verwendet. Die Ausschreibung, die Fertigung und der Aufbau erfolgt im Jahr 2007. Die Inbetriebnahme in

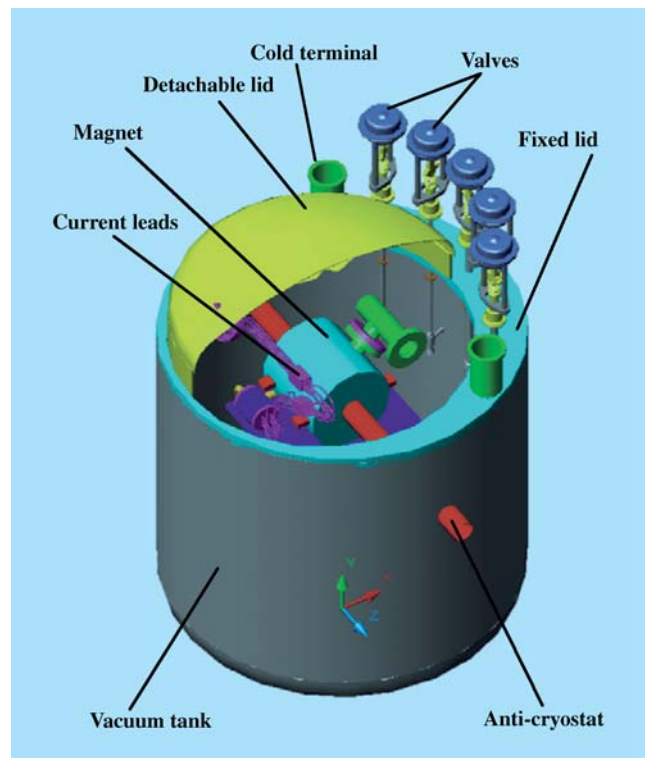


Abbildung 132: Der geplante Magnetkryostat zum Test der XFEL-Magnetpakete.

der MTH (Geb. 55) ist für Herbst 2007 geplant (siehe Abbildung 132).

XFEL-Kryogenik

Im Rahmen einer an die Firma LINDE KRYOTECHNIK AG vergebenen Industriestudie wurden die Möglichkeiten einer Verwendung der HERA Kälteanlagen zur Versorgung des XFEL-Linacs untersucht. Im ersten Teil der Studie wurde ein technisches Konzept zum Umbau von zwei HERA Coldboxen vorgestellt. Zusammen mit einer mit kalten Kompressoren und zusätzlichen Wärmetauschern ausgestatteten 2 K-Box lassen sich nach einem Umbau die geforderten Kältekapazitäten erzielen. In einem zweiten Teil der Studie wurden die zur Aufrechterhaltung der Betriebssicherheit notwendigen Erhaltungs- und Wartungsmaßnahmen an den weiter verwendeten Anlagenteilen systematisch analysiert. Teil der Studie ist auch eine verbindliche

Kostenschätzung für eine mögliche Umrüstung. Im Vergleich zur Errichtung einer neuen XFEL-Kälteanlage wären die Investitionskosten bei einem Umbau der HERA Anlage deutlich geringer; der Energieverbrauch bei gleicher Kälteleistung allerdings ca. 30% höher.

Für die Kühlung der supraleitenden Kavitäten im XFEL-Linac muss eine stabile Befüllung der Kryostate mit flüssigem Helium II gewährleistet werden. In dem kryogenen System des Linacs kommt es über lange Strecken zu einer Wechselwirkung zwischen Strömungen von flüssigem Helium II und der korrespondierenden Dampfphase (sogenannte 2-Phasen Strömung).

Die Eigenschaften dieser Strömung lassen sich im FLASH-Linac nur eingeschränkt untersuchen, daher sind aufwendige Simulationsrechnungen erforderlich, um die Betriebsparameter für den XFEL-Linac bei unterschiedlichen Lastfällen zu überprüfen. Das endgültige Design der XFEL-Kryomodule erfordert u. a. die Festlegung von ausreichenden Leitungsquerschnitten. Entsprechende Simulationsrechnungen wurden weiterentwickelt und teilweise neu programmiert.

Die Planungen für die Serientests der XFEL-Kavitäten und Kryomodule aus der Serienproduktion (AMTF) wurden soweit fortgeführt und detailliert, dass 2007 die Baugenehmigung für die Testhalle beantragt und die Bauausschreibungen durchgeführt werden können.

Die Anforderungen der Kryogenik an die Spezifikation der XFEL-Bauten, wurde mit den entsprechenden DESY Gruppen und beauftragten Bauplanungsbüros abgestimmt.

XFEL-Kryokontrollen

Ausfallsichere Kontrollrechner

Um einen sicheren durchgehenden Betrieb der Kälteanlagen des XFEL gewährleisten zu können, müssen besondere Vorkehrungen für die Kontrollrechner getroffen werden. Im Gegensatz zu anderen Kontrollaufgaben können in diesem Fall die Kontrollrechner über Monate oder sogar Jahre, nicht neu gestartet (gebootet) werden. Diese Anforderungen können nur erreicht werden,

wenn die Rechner doppelt (redundant) ausgelegt werden.

Da das für den Betrieb der Kälteanlagen vorgesehene EPICS Kontrollsystem diese Eigenschaften bisher nicht aufweist, wurden die hierfür erforderlichen Softwareentwicklungen von DESY initiiert. Die Entwicklungen umfassen die Überwachung von redundanten Kontrollrechnern, sowie den permanenten Datenaustausch und Datenabgleich zwischen den Rechnern.

Die Software zur Überwachung aller Kontrollfunktionen wurde so implementiert, dass sie sowohl für EPICS Kontrollrechner, als auch für andere redundante Rechnerstrukturen eingesetzt werden kann. Da der Datenaustausch für jedes Kontrollsystem spezifisch ist, wurde dieser Teil eng an die Bedarfe des EPICS System angepasst. Beide Pakete wurden erfolgreich getestet. Der Betrieb der Software in einem produktiven System wird nach intensiven Tests voraussichtlich 2007 erfolgen.

CSS (Control System Studio)

Um die Bedienung der Kälteanlagen zu vereinheitlichen und dadurch zu erleichtern, wurde mit der Entwicklung einer neuen Bedienumgebung begonnen. Die technische Basis für das neue Control System Studio bildet Eclipse. Eclipse ist eine in Java geschriebene Komponente basierte Entwicklungsumgebung. In Zusammenarbeit mit der Universität Hamburg und einer externen Firma wurde das Kernsystem fertig gestellt. Damit ist die Grundlage für die Entwicklung und Einbindung neuer Bedienprogramme geschaffen worden.

Um die Weiterentwicklung des CSS im internationalen Rahmen zu unterstützen, wird die Software bei DESY in einem Code-Repository gepflegt, welches jedem Entwickler mit einem DESY Computer-Account zugänglich ist.

Die entwickelte Software ist im Rahmen der DESY Lizenzregeln frei über den CSS Web-Server (<http://css.desy.de>) zugänglich. Die einzelnen Applikationen werden sowohl von internen, als auch von externen Entwicklern auf der CSS-Update-Site <http://eclipse.desy.de/update> bereitgestellt.

Kollaboration mit IHEP Peking

Die Gruppe MKS ist in den Bereichen Kryogenik, Kontrollen und Magnetmesstechnik an einer Kollaboration mit dem IHEP Peking beteiligt. Für den Aufbau und die Inbetriebnahme der kryogenischen Versorgung und der zugehörigen Kontrollen für das BEPC-II-Projekt wird das IHEP vor Ort intensiv unterstützt und beraten.

Im Rahmen der Kollaboration wurde ein weiteres Magnetfeldmesssystem nach China geschickt. Es ermöglicht Magnetfeldmessungen im Bereich der Wechselwirkungszone bei BEPC II. Dazu kann ein bei DESY kalibrierter 3D-Hall-Sensor im Strahlrohr des Magneten bewegt werden. Dabei werden die Magnetfelddaten aufgezeichnet. Das System wurde vor Ort aufgebaut und in Betrieb genommen.

Die Zusammenarbeit zwischen der Maschinen-Kontrollgruppe des IHEP in Peking und der MKS Kryokontrollgruppe wurde während zweier Besuche beim IHEP intensiviert. So konnten die Kontrollsysteme der Kälteversorgung des IHEP erfolgreich in Betrieb genommen werden und bei einem zweiten Besuch die supraleitenden Magnete kalt gefahren werden. Die Unterstützung der chinesischen Kollegen wird durch die gemeinsame Nutzung der EPICS (*Experimental Physics and Industrial Control System*) Kontroll-Software in beiden Instituten erleichtert.

Energieversorgung –MKK–

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

Die wesentlichen Aktivitäten werden im Folgenden dargestellt.

HERA

Magnetstrom

Es wurden weitere Sextupolmagnete in die bestehenden Stromkreise aufgenommen.

Im Rahmen der vorbeugenden Wartung wurden an jedem Wartungstag die Netzgeräte inspiziert. Dabei stellten sich einige Schütze als fehleranfällig heraus. Sämtliche Schütze dieses Typs wurden ersetzt. Betriebsunsichere Dämpfungswiderstände in den Glättungsfiltern der Thyristornetzgeräte wurden getauscht.

Senderstrom

Das erste 80-kV-LTT-Crowbar (*light triggered thyristor*) für den Klystronschutz ist seit Februar 2006 am Sender WR im Einsatz. Es handelt sich um eine quecksilberfreie Lösung. Sie wurde von MKK und EUPEC gemeinsam entwickelt. In den 10 Monaten Dauerbetrieb gab es keinerlei technische Probleme oder Einschränkungen des Senderbetriebes.

Wasserkühlung

Während der Sommermonate treten regelmäßig Schwierigkeiten mit dem Kühlwasser auf. Die im Vorjahr begonnenen Maßnahmen zur Verbesserung der Rückkühlung wurden fortgeführt. Die berechnete Schallemission der Kühltürme am Betriebsgelände wurde durch eine Messung in der Nacht erhärtet. Da keine Vergrößerung der Ansaugöffnungen in der Schallschutzwand mehr möglich war, wurden die Zwischenräume zwischen den Kühltürmen mit Planen geschlossen. Dadurch wird ein Kurzschluss zwischen der Zuluft und Fortluft der Kühltürme hinter der Schallschutzwand verhindert. Die Kühlwassertemperaturen ließen sich um 1 bis 2°C reduzieren. Die beiden Kaltwassererzeuger (KW-Erzeuger) in den HERA-Hallen wurden im Sommer und Herbst parallel betrieben, um

die Leistungsfähigkeit zu vergrößern. Zusätzlich wurde bei HERMES ein temporärer KW-Erzeuger für die Kühlung des Trailers aufgestellt. Durch diese Maßnahmen wurde der Beschleunigerbetrieb auch bei den extremen Sommertemperaturen möglich.

Für die Konservierung von HERA nach der Abschaltung wurden die Planungen fortgeführt. Es soll die Wasserkühlung mit reduzierter Wassermenge fortgesetzt werden, um die Magnete und den Tunnel warm zu halten. Die Schaltung der Wasserkreisläufe soll so geändert werden, dass die Abwärme der Heliumverflüssigung in den Tunnel geleitet wird. Später kann die Abwärme der KW-Erzeuger in HERA West bei Bedarf hinzugefügt werden.

Durch die gespeicherte Wärme im Erdreich um den Tunnel, wird eine Tunnellufttrocknung erst ab 2008 erforderlich sein. Die Tunnellufttemperaturen und die -feuchte soll gemessen und archiviert werden.

Die HERA-Hallen müssen weiter belüftet und beheizt werden. Eine Kühlung der Raumluft wird noch notwendig sein.

PETRA und DORIS

Die Maschinen liefen zuverlässig. Es wurden nur Wartungsarbeiten durchgeführt und Störungen behoben.

DESY II und LINAC II

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

Die Aufstellung der Netzgeräte im LINAC II für den späteren PETRA III Betrieb wurde geplant.

Im Rahmen des PETRA III Projektes muss auch die Stromversorgung für DESY II erneuert werden. Hierfür wurden umfangreiche Simulationen des elektrischen Verhaltens der resonanten Magnetstromkreise gemacht,

damit das elektrische Verhalten sowie die benötigte Regelung genau verstanden sind. Die Netzgeräte wurden spezifiziert und europaweit ausgeschrieben. Weiterhin wurden die benötigten Resonanzdrosseln für die Quadrupolkreise ausgeschrieben.

Die resonanten Quadrupolstromkreise benötigen eine Frequenzregelung. Hierfür wurde die Elektronik entwickelt und gefertigt. Die Tests sind für 2007 geplant.

FLASH

In die Choppernetzgeräte wurde ein Vorfilter eingesetzt, um den Spannungsrippel im Zwischenkreis zu reduzieren und die Stromstabilität zu erhöhen.

Bereits 2005 wurde festgestellt, dass einige Magnete ein zu hohes Restmagnetfeld haben, wenn sie einmal mit Strom beaufschlagt wurden. Es wurde eine Schaltung entwickelt, die die Magnete aktiv entregt. Diese Schaltung wurde getestet und in die Maschine eingebaut.

In der Modultesthalle wurde ein neuer Modulator installiert. Hierfür wurde das Ladenetzgerät in Betrieb genommen. Zusätzlich wurden zwei weitere Ladenetzgeräte für die Klystronmodulatoren (12 kV, 300 kW) beschafft.

Die Untersuchungen an den Puls Kabeln wurden fortgeführt. Um die Störungen durch die Puls Kabel beim XFEL abschätzen zu können, wurde ein System vom Modulator durch den FLASH-Tunnel über den DORIS- und DESY-Wall bis zum Modulator-Teststand in der Halle 2 verlegt. Die Tests sollen März 2007 beginnen.

PETRA III

Die Detail- und Ausführungsplanungen waren ein Schwerpunkt der Aufgaben von MKK1 bis MKK3. Es wurde eine Reihe von öffentlichen Ausschreibungen bearbeitet. Die wichtigsten Großkomponenten konnten beauftragt werden.

Wasserkühlung

Die Planungsarbeiten für die Erneuerung der Wasserkühl-, Kaltwasser- und Druckluftanlagen für PETRA III und DESY II wurden fortgeführt. Zwei externe Konstrukteure halfen bei der Erstellung der Konstruktions- und Ausschreibungsunterlagen. Es wurden die Ausschreibungen für die hybriden Rückkühler, Kaltwassererzeuger, VE-Wasseraufbereitung, Druckhaltung und Armaturen durchgeführt und beauftragt.

In der Halle 2 wurde eine Magnetgruppe aufgestellt, um die Wärmeabgabe der Magnete an das Kühlwasser und die Luft zu bestimmen. Die Aufteilung ist je nach Magnettyp sehr unterschiedlich. Die Faustformel über die Abgabe der Wärme von 90% ans Kühlwasser und 10% an die Tunnelluft gilt etwa für die Dipole.

Die hybriden Rückkühler erhalten eine gasbefeuerte Notbeheizung, damit sie bei starkem Frost und Ausfall der Kühlwasserpumpen nicht einfrieren können. Das Kühlwasser in den Rückkühlern soll ohne Glykol (Frostschutz) betrieben werden, um eine Grundwassergefährdung bei Leckagen zu vermeiden.

Netzgeräte

Die Standorte und die Aufstellung der Netzgeräte in den Hallen wurden geplant.

Es wurden bereits die Diodengeräte, DC-Gleichstromwandler sowie 800-A-Umschalter für Netzgeräte ausgeschrieben und die Aufträge vergeben. Die Prototypen für die 400-A- und 200-A-Umschalter und Erdungen wurden gefertigt. Der größte Teil der benötigten Kabel ist beschafft.

Das Magnetinterlocksystem wird mit speicherprogrammierbaren Steuerungen ausgelegt. Hierfür wurde das Konzept erarbeitet und bereits einige Steuerungen bestellt.

Die digitale Regelungselektronik ist im Layout. Ein Prototyp für ein 200-A-Netzgerät wird aufgebaut. Die entsprechende Auswahl der Komponenten ist erfolgt.

Senderstromversorgung

Die Arbeiten konzentrierten sich auch in 2006 auf das PETRA-III-Projekt.

Die Hauptkomponenten für zwei neue Senderstromversorgungsanlagen, bestehend aus den Transformatoren, Hochspannungsgleichrichtern, Stromrichtern und Steuerungsteil, sind im Rahmen von diversen Ausschreibungsverfahren spezifiziert und zur Fertigung beauftragt worden.

Die Planungen für die Erweiterung der Hallen SL und SR für die neuen Senderstromversorgungen wurden vervollständigt. Die Bauabteilung stellte den erforderlichen Bauantrag.

Der Prototyp der Steuerschränke für die neuen Anlagen wurde aufgebaut. Die wesentlichen Funktionen wurden erfolgreich getestet. Die zentrale Steuerungsfunktionalität wird durch eine SPS sichergestellt. Die lokale Bedienung erfolgt sowohl durch konventionelle Bedienelemente als auch durch ein grafisches Touchpanel. Die Kopplung zwischen der SPS und dem Touchpanel erfolgt auf Feldebene (Profibus-DP).

Die schnellen Überwachungsfunktionen im Hochspannungsraum werden mit einer programmierbaren Elektronik (FPGA) realisiert. Eine zusätzliche dezentrale Steuerung für sicherheitsgerichtete Funktionen im Hochspannungsraum ist als Prototyp aufgebaut und getestet worden.

Alle elektronischen Funktionseinheiten innerhalb des Steuerschranks für Bedienung, Meldung, Kommunikation und Diagnose werden über eine ausfallsichere 24 V Versorgung innerhalb des Steuerschranks betrieben. Bei Ausfall der Netzversorgung soll damit eine weitreichende Diagnose der Ausfallsache durch das zentrale Kontrollsystem ermöglicht werden.

Die Prototyp-Steuerung ist mit einer kommerziellen digitalen Thyristorelektronik ergänzt worden. Erste Funktionstests zur Kommunikation zwischen SPS und Thyristorelektronik auf Feldebene (Profibus-DP) wurden durchgeführt.

Stromversorgung

Die neuen 10-kV-Trafostationen wurden ausgeschrieben und bestellt. Es wird ein neuer 10-kV-Versorgungsring längs des PETRA-Tunnels aufgebaut, der von der HST B gespeist wird. Damit erfolgt die Stromversorgung von PETRA, d. h. Tunnel, Hallen, neue Experimentierhalle, Netzgeräte und Pumpenhäuser, komplett durch die HST B. Lediglich die Senderstromversorgung in PETRA Süd erfolgt weiterhin durch die HST A. Damit wird die gegenseitige Beeinflussung der Vorbeschleuniger und PETRA über das Stromnetz minimiert.

Das Notstromaggregat 1 bei Gebäude 16 muss umgesetzt werden, weil der Platz für das neue DESY-Pumpenhaus gebraucht wird. Es wird am DESY-Wall bei Halle 1 neu aufgestellt. Dabei soll die Notstromverkabelung erneuert werden. Die PETRA-III-Experimentierhalle soll kein Notstromaggregat erhalten, sondern eine redundante NS-Versorgung vom LINAC II.

Die neuen Pumpenhäuser PETRA Süd und NO sowie DESY II erhalten eine redundante Einspeisung von der HST A bzw. HST B für die Umwälzpumpen, damit das Kühlwasser auch bei Frost bei Ausfall einer Hauptstation weiter umgewälzt wird. Nur die Notbeheizung für die Kühlerflächen soll mit Notstrom versorgt werden.

Die Planungen für die Erneuerung der HST A im Jahr 2008 wurden begonnen. Während der Umbauzeit 2008 muss eine mobile 10-kV-Ersatzschaltanlage bei Gebäude 16 aufgestellt werden.

Klimaanlagen

Die Planung für die Klimaanlagen für die neue Experimentierhalle und die Labors wurde an ein Ingenieurbüro vergeben. Zusammen mit der Bauabteilung wurden die Ausschreibungsunterlagen erstellt. Die Klimaanlagen sollen von einem Generalunternehmer, der für die gesamte Experimentierhalle zuständig ist, geliefert und in Betrieb genommen werden.

Die Klimaanlagen für den Beschleunigertunnel in der Experimentierhalle wurden geplant. Die Lüftungsanlagen mit Lufttrocknung in den alten Tunnelabschnitten wurden ausgeschrieben und beauftragt. Es muss noch

geklärt werden, ob die großen Tunnellüfter für die Ent Rauchung weiter ausreichend sind.

Die Lüftungsanlagen in den Hallen SL und SR, im neuen DESY-Pumpenhaus und dem Pumpenhaus NO wurden geplant.

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 musste. Dies erforderte eine enge Zusammenarbeit mit der IG und der Projektleitung.

Das Tunnellayout wurde überarbeitet und praktisch eingefroren. Die Größe der Bodenplatten und die Zugänglichkeit unterhalb der Bodenplatten wurden festgelegt. Der Installationsablauf der Pritschen, Kabel und Rohrleitungen im Linac-Tunnel wurde vorgestellt. Das Tunnellayout der Undulatortunnel steht noch nicht fest, weil das Klimatisierungskonzept noch nicht feststeht.

Wasserkühlung

Die Entwurfsplanung wurde fortgeführt. Als Planungstool wird Solid Edge eingesetzt.

Netzgeräte

Die digitalen Regelungen, die für die PETRA-III-Netzgeräte entwickelt wurden, sollen auch beim XFEL eingesetzt werden.

Pulskabel

Die Pulskabel für den XFEL wurden weiter untersucht. Die Pulse mit einer Länge von 1.54 ns und einer Leistung von bis zu 17 MW werden in Modulatoren erzeugt und mit Hilfe der Pulskabel übertragen. Es wurde eine Diplomarbeit in Zusammenarbeit mit der TU Harburg durchgeführt, in der das physikalische

Verhalten der Ströme innerhalb des Kabels untersucht wurde. Untersuchungen und Simulationen zu einem 120-kV-Modulator wurden vorgenommen.

Es wurde ein weiteres Kabel von 1.5 km Länge durch den FLASH-Tunnel bis zum Modulator-Teststand in der Halle 2 verlegt. Dadurch wird ein Betrieb mit einem entfernt aufgestelltem Klystron simuliert, wie er später im XFEL Tunnel realisiert wird.

Stromversorgung

Die Entwurfsplanung wurde fortgesetzt und den Änderungswünschen angepasst. Mit der EON-Hanse fand ein Informationsaustausch über die spätere Nutzung der Baustromversorgung als redundante Versorgung für das Schenefelder Gelände statt.

Klima- und Lüftungsanlagen

Für die Klimatisierung der Undulatorstrecken in den Fächertunneln wurden zwei externe Gutachten erstellt und bewertet. Der technische Aufwand für die Einhaltung der geringen Temperaturdifferenzen ist erheblich. Die Kosten wurden abgeschätzt. Es soll eine Lösung näher im Mockuptunnel untersucht werden.

Für die Entrauchungsanlagen wurde von der IG ein Gutachten beauftragt. Danach müssen einige Anlagen modifiziert werden. Die Entrauchungsanlagen für die Experimentierhalle können deutlich kleiner ausgelegt werden.

Es wurde damit begonnen, die Lüftungsanlagen vom Injektorbauwerk mit dem CAD-Programm Solid Edge in 3D zu entwerfen. Dabei zeigt sich, dass dieses Programm ungeeignet ist. Der einzige Vorteil ist, dass innerhalb von MKK eine Kollisionsprüfung mit den Wasserkühlanlagen einfach möglich ist. Es wird ein Programm benötigt, das mit dem CAD-Programm ADT von ZBAU und der IG kompatibel ist. Das Programm ADT soll zukünftig ein Lüftungs- und Klimamodul namens RoCAD enthalten. Dieses Modul soll in Abstimmung mit der Gruppe IPP bei MKK getestet werden.

Die Lüftungs-, Klima- und Wärmeversorgungsanlagen sollen im Auftrag vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung BMVBS durch das Gebäudemanagement Schleswig-Holstein GMSH begutachtet werden. Dafür sind umfangreiche Planungsunterlagen erforderlich, für deren Erstellung ein effektives Planungswerkzeug notwendig ist. Erst wenn die GMSH die Planungsunterlagen begutachtet hat, darf mit den Ausschreibungen begonnen werden.

Die Wärmeversorgung des Schenefelder Geländes mit Fernwärme wurde mit der EON-Hanse und Vattenfall diskutiert. Bisher ist ein zentrales Heizwerk mit Gasbeheizung geplant. Die Erarbeitung eines Konzeptes ist dringend erforderlich.

Infrastruktur

Umbau der Kantine

Beim Umbau der Kantine war MKK stark involviert. So wurde die gesamte Lüftungstechnik erneuert und verbessert. Die Stromversorgung wurde umgebaut und den neuen Bedürfnissen angepasst.

Allgemeine Stromversorgung

Die Erneuerung der Stromversorgung von Gebäude 1 wurde ausgeschrieben und beauftragt. Die Erneuerung der Stromversorgung im Rechenzentrum wurde abgeschlossen. Die neue USV-Anlage läuft störungsfrei.

Die Elektroinstallationen bei der Aufstockung von Gebäude 22a und bei dem Anbau von Gebäude 14 wurden ausgeführt. In den Gebäuden 24 (LINAC II) und 32 (Gästehaus) wurden Sicherheitsbeleuchtungsanlagen installiert. Des Weiteren wurden die neuen Gebäude 70 (Modultesthalle) und 70a (Trafostation) mit Transformator, mehreren Verteilungen und Elektroinstallation ausgerüstet. Die Reemtsma-Hallen wurden an das Stromnetz von DESY angeschlossen. Dafür mussten Kabel neu verlegt und neue Verteilungen installiert werden.

Die Hauptaufgabe der E-Werkstatt ist die Störungsbeseitigung an den Steuerungen der Wasserkühl-, Klima- und Lüftungsanlagen. Außerdem fertigte sie Schaltschränke und Unterverteilungen für zahlreiche Heizungsunterstationen, die Reemtsma-Hallen, die Lüftungsanlagen der Kantine und diverse kleinere Projekte.

Turnusmäßig wurden Wartungsarbeiten an den Trafos, Notstromaggregaten, Batterie- und USV-Anlagen durchgeführt.

Automation

Die Steuerung der 10-kV-Oberschwingungsfilteranlage der HST C wurde so verändert, dass der Blindleistungsbedarf von HERA minimiert wird. Die digitalen Regler für die 10-kV-Stufenschalter von der HST A und B wurden an das Kontrollsystem angeschlossen. Weiter wurden die Trafostation für den Modulteststand und die Niederspannung-NS-Verteilung des Rechenzentrums in das Kontrollsystem aufgenommen.

Die Temperatur- und Feuchtemessung der HV-Räume wurde mit der HERA-Halle Ost abgeschlossen. Für die wasserrechtliche Erlaubnis zur Förderung von Grundwasser wurde die Messung der Abschlammwassermengen der Kühltürme installiert.

Der automatische Parallelbetrieb der Kaltwassererzeuger bei HERA wurde in Betrieb genommen.

Für die Entwicklung eines Transientenrekorders für die Senderstromversorgung bei PETRA III wurde die Technologie von MHF-e gewählt, d.h. Hardware ELWIS und Labview als Benutzeroberfläche. Die Betriebsdaten werden über eine Anbindung an EPICS für das MKK-Kontrollsystem übertragen.

Neubau von Klima- und Lüftungsanlagen

Die RLT-Anlagen werden bei MKK3 geplant und ausgeschrieben. Mit der E-Werkstatt von MKK1 werden die Mess-, Steuer- und Regeltechnik (MSR) abgestimmt. Kleine und zeitkritische MSR-Schränke werden in der E-Werkstatt gefertigt. Um die Einbindung in

das MKK-Kontrollsystem kümmert sich das Automationslabor von MKK1. MKK3 übernimmt die Bauüberwachung und macht abschließend die Endabnahme mit den beteiligten Gewerken. Wegen der großen Anzahl von fast 500 RLT-Anlagen bei DESY bringt diese Zusammenarbeit eine erhebliche Kosten- und Personaleinsparung.

Auch 2006 wurde eine große Anzahl von raumlufttechnischen (RLT) Anlagen neu gebaut oder erneuert. Hier die Auflistung der Projekte in 2006:

- Klimatisierung Aufstockung Gebäude 22a
- Rückbau diverser RLT- Anlagen, Schwerpunkt in Gebäude 3
- Klimatisierung Injektorelektronik am FLASH – Gebäude 28
- ca. 20 neue Umluftkühlgeräte für Laser, EDV, Prozesswärme und Büros
- Erneuerung Abluftanlagen für diverse Sozialräume
- Installation von Be- und Entlüftungsanlagen für Raucherräume
- Erneuerung aller Klimageräte der Küche der Kantine
- Klimatisierung für die Erweiterung Rechenzentrum II
- Ausschreibungsverfahren für die Klimatisierung Präzisionsraum Gebäude 36
- Regelungstechnik und Temperaturanalysen ± 0.1 K im Laserraum 1, Gebäude 28 mit Anlagenoptimierung
- Funktionale Ausschreibung Aufstockung Geb. 49
- Ausschreibung Klimatisierung SER in Geb. 20
- Entwurf Klimatisierung Laserraum Gebäude 28g über Fremdplaner
- Ausschreibungsverfahren für Tunnellufttrocknung für den alten 7/8-PETRA-Tunnel abgewickelt

- Mitarbeit an Machbarkeitsstudien für die Tunnelklimatisierung der XFEL-SASE-Undulatoren
- Planungen der technischen Gebäudeausrüstung für den XFEL-Mock-up-Tunnel

Wärmeversorgung/Heizung

Die gleiche Arbeitsorganisation wie bei den RLT-Anlagen wird bei den Wärmeversorgungsanlagen genutzt. Hier arbeitet MKK3 eng mit der Bauabteilung ZBAU zusammen. MKK und ZBAU führen halbjährlich ein Koordinierungsgespräch über mittel- und langfristige Planungen über Gebäudeneubauten bzw. -umbauten.

Es wurden folgende Projekte bearbeitet:

- Erneuerung der letzten Unterstation USt 54
- Wärmeversorgung Aufstockung Gebäude 22a aufgebaut
- Vorbereitung des Wärmeversorgungsanschlusses für die PETRA III Experimentierhalle
- Einbau/Erneuerung von hydraulischer Regelmaturen in diversen Gebäuden
- Ausschreibungsverfahren und Vergabe der Wärmeversorgung der Reemtsma-Hallen

Klimakaltwasser

Für die Erweiterung des Rechenzentrums RZ II müssen die Kaltwassererzeuger um 400 kW erweitert werden. Die Soleanlage in Gebäude 3 wurde von MKK3 übernommen und umgebaut.

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 Kabeln verlegt und verwaltet werden. Es wurde eine Nomenklatur für die Nummerierung der Kabel eingeführt. Die Verwaltung der Nummern geschieht mit einer Oracle-Datenbank.

Maschinen Planung –MPL–

Beschleunigeraufstellungen

Für die folgenden Maschinen wurden Berechnungen, Konstruktionen und Fertigungsunterlagen erstellt.

PETRA III

Die Einbaustudie im Jahr 2005 ergab baugleiche Übernahme des Girderantriebs mit Micromovern und zugehörigen Girderunterbauten von DIAMOND für PETRA III. Es wurde ein auf diese Komponenten abgestimmter neuer Testträger entwickelt, gebaut und getestet.

Es erfolgte die Ausarbeitung der vier pro DBA-Zelle benötigten Magnetträger (Girder). Für die Magnetträger DTLU, DTRU, QTLU, QTRU wurden Schweiß- und mechanische Fertigungsunterlagen erstellt, die Ende des Jahres in die Ausschreibung gingen. Ebenso gingen die umgearbeiteten Fertigungsunterlagen der Girderunterbauten, incl. der Micromovereinheiten im November 2006 in die Ausschreibung.

Für zahlreiche weitere Komponenten der gesamten Maschine, überwiegend Korrekturmagnete, wurden Konstruktionen und Fertigungsunterlagen erstellt.

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

FLASH

Werkstoffuntersuchungen und Resonatoren – Fertigung. Die Fertigung von Resonatoren bei den Firmen ZANON und ACCEL wurde betreut. Von den 30 Resonatoren, die sich in der Fertigung befinden, sind die ersten Lieferungen für Februar 2007 geplant.

XFEL-Aufgaben

im Rahmen des WP4, SC Cavity

- Entwicklung der Resonatoren aus großkristallinen Niob Scheiben
- Entwicklung einer Prozedur für die Serienfertigung von ca. 1000 supraleitenden Resonatoren
- Qualifizierung von neuen potenziellen Niob Lieferanten

Das R&D-Programm für Resonatoren aus großkristallinen Niob Scheiben prüft das Potenzial von diesem Material für die XFEL Fertigung. Sowohl die Materialeigenschaften als auch die Fertigungs- und Präparationsaspekte werden im Vergleich zum polykristallinen Niob untersucht. Vier einzellige Resonatoren sind gebaut worden. Das beste Ergebnis mit dem Beschleunigungsgradienten von 41 MV/m mit $Q_0 = 1.4 \cdot 10^{10}$ ($T_B = 2$ K) ist nach Elektropolitur (EP) eines Resonators erreicht worden. Das Resultat ist vergleichbar mit den besten Ergebnissen von Resonatoren aus polykristallinem Material. Die drei weltweit ersten 9-zelligen großkristallinen Resonatoren sind unter einem DESY-Kontrakt bei der Fa. ACCEL produziert worden. Schon im ersten Test nach der relativ einfachen Präparation (ca. 150 μ m BCP und 800°C Glühen) erfüllten alle drei Resonatoren die XFEL Spezifikation. Im Vergleich mit ähnlich behandelten konventionellen TTF-Resonatoren zeigen die großkristallinen Resonatoren

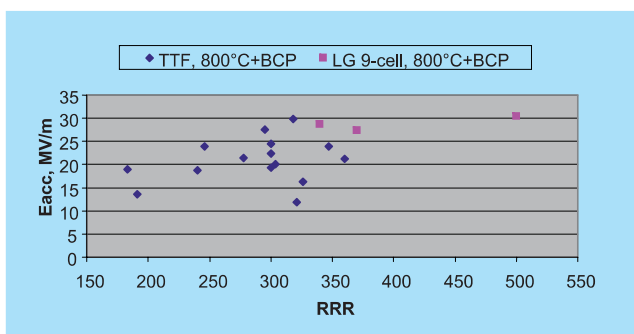


Abbildung 133: Beschleunigungsgradient von drei Resonatoren aus großkristallinen Niob Scheiben (Large Grain) im Vergleich mit ähnlich behandelten polykristallinen TTF-Resonatoren.

deutlich bessere Eigenschaften (Abbildung 133). Eine mögliche Ursache dafür könnte eine wesentlich höhere Wärmeleitfähigkeit im Temperaturbereich um 2 K der großkristallinen Niob Scheiben (*Phononenpeak*) sein.

CARE/JRA1- Aufgaben

Entwicklung einer Scannvorrichtung 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 Scannvorrichtung für die Nb-Bleche für XFEL entwickelt und gebaut. Die Messungen an 20 industriell gefertigten Nb-Blechen der Fa. Plansee haben die Funktionsfähigkeit der Apparatur bestätigt.

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 wird im Rahmen des CARE Programms entwickelt. Drei dreizellige Einheiten sind durch Hydroforming erfolgreich gebaut worden und werden jetzt bei der Fa. ZANON zu einem Resonator komplettiert.

Im Labor für Materialuntersuchungen wurden außerdem im Jahre 2006 folgende Probleme bearbeitet:

- Zerstörungsfreie RRR-Messungen an Resonatoren
- Analyse der Verteilung von Verunreinigungen in Niob- und NbTi-Schweißverbindungen erzeugt in der Elektronenstrahlschweißanlage von DESY
- Wärmeleitfähigkeitsmessungen bei tiefen Temperaturen an einkristallinem- und großkristallinem Niob (XFEL)
- Qualifizierung von nahtlosen Niob-Rohren für Hydroforming (CARE/JRA1)
- Materialdiagnose

Internationaler Linear Collider ILC

Entwicklung der Resonatorenfertigung aus einkristallinem Material

Es gibt theoretische und experimentelle Hinweise, dass die Korngrenzen die Leistungsfähigkeit der Resonatoren grundsätzlich reduzieren. Bei Abwesenheit von Korngrenzen konnte eine spiegelglatte Oberfläche durch einfache chemische Behandlung erzielt werden. Die Herstellung eines Resonators als Einkristall (ohne Korngrenzen) könnte ein viel versprechender Schritt zu besserer Leistungsfähigkeit und einfacherer Behandlung werden.

Bei MPL wurde eine Methode entwickelt, die ein- und mehrzellige Einkristall-Resonatoren in der XFEL-Größe bauen lässt.

Die Methode basiert auf folgenden Untersuchungsergebnissen. Die Niobeinkristalle werden bei definierten Umformungen und Wärmebehandlungen nicht zerstört. Sie können in der Schweißverbindung bei korrekter Berücksichtigung der Orientierungen zu einem Einkristall zusammenwachsen.

Die vorgeschlagene Fertigungsmethode ist realisiert worden. Ein einzelliger Resonator der TESLA-Form ist aus Einkristallscheiben der Fa. HERAEUS bei der RWTH Aachen gewalzt und bei der Fa. ACCEL durch Tiefziehen und Elektronenstrahlschweißen gebaut worden. Die Präparation und die HF-Tests wurden bei Jefferson Lab. gemacht. Wie in der Abbildung 134 zu

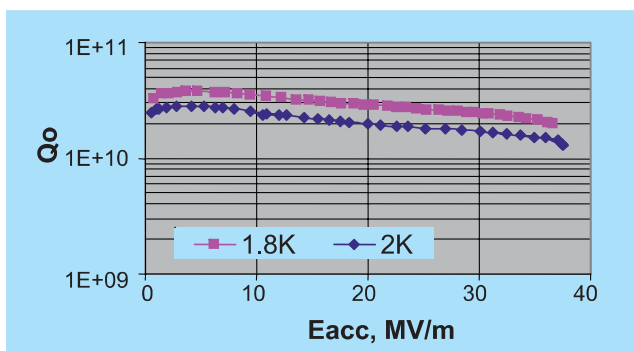


Abbildung 134: $Q(E_{acc})$ – Kurve des Einkristall-Resonators IAC8 bei der Temperatur 1.8 K und 2 K.

sehen ist, wurde nach nur ca. 110 μm BCP und nach 6 Stunden *in situ* Backen bei 120°C ein Beschleunigungsgradient von 37.5 MV/m mit der Güte $> 10^{10}$ erreicht. Dieses Ergebnis bestätigt das hohe Potenzial 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 Auslegung, Berechnung, Konstruktion und Beschaffung neuer Magnettypen für PETRA III gehören ebenso zum Umfang der Arbeiten wie die Anwendung neuer weichmagnetischer Werkstoffe für Magnete mit besonders hohen Anforderungen beim XFEL. Der Umbau des PETRA-Beschleunigers zu einer modernen Synchrotronstrahlungsquelle erfordert bei MEA eine intensive logistische Planung sowie vorbereitende Arbeiten für den termingerechten Projektablauf.

Beschleuniger

HERA

In kurzen Betriebsunterbrechungen wurden verschiedene defekte Magnetspulen ausgebaut und die Magnete teilweise neu justiert. Im Februar und im Juli sind an den Quadrupolmagneten QC 12-OR und QC 191-OL jeweils eine Spule getauscht worden. Die Vakuumkammern mussten hierbei nicht entfernt werden. Während des Mini-Shutdowns im Juni hat man den kompletten Sextupol 264-SR ausgetauscht. Wegen undichter bzw. deformierter Vakuumkammern sind die Quadrupole QL 67-SR und GI 7-NR geöffnet worden. Auf Grund von

Brandstellen an der oberen Spule im GI Magnet wurde eine Ersatzspule eingesetzt.

Der Beschleunigerring HERA wurde im Juni vom Betrieb mit Elektronen auf Positronen umgestellt. Im Zuge dieser Arbeiten war es erforderlich, die Quadrupole auf den Magnetbrücken NL, NR, SL, SR auf neue Sollpositionen zu justieren. Die Lage des H1-Experiments wurde bei dieser Gelegenheit korrigiert.

PETRA III

Zur Vorbereitung der im kommenden Jahr anlaufenden Messungen für die in Serie gebauten neuen Magnete diente eine umfassende Renovierung des Magnetmessplatzes bzgl. seiner Infrastruktur, der Messmaschinen und auch der verwendeten Computerprogramme, die in LabVIEW neu geschrieben worden sind. Im Berichtszeitraum wurden am Magnetmessplatz wieder zahlreiche spezielle Einzeluntersuchungen durchgeführt. Ziel war u.a. die Optimierung von Details an Prototypen für die Serienfertigung von Magneten für PETRA III, die Überprüfung der Qualität von zur Reserve gestellten oder zur Aufarbeitung vorgesehenen gebrauchten Exemplaren.

Die ersten Serienmagnete für das neu aufzubauenende Achtel von PETRA III sind geliefert worden. Die gelieferten Dipolmagnete erfüllen die geforderten technischen Spezifikationen. Die magnetische Vermessung der im Design verbesserten Quadrupolmagnete zeigt, dass sowohl der Sextupol- und Oktupolanteil über den gesamten Erregungsbereich der Magnete hinreichend konstant bleibt. Die mechanische Steifigkeit der Magnete genügt nun den Anforderungen. Die geforderte Feldqualität von $5 \cdot 10^{-4}$ wurde messtechnisch verifiziert. Die 14 gedrehten Quadrupolmagnete PQG (*Skew Quads*) für die alten Achtel in PETRA werden vom Budker-Institut gefertigt und voraussichtlich im Februar 2007 bei DESY angeliefert.

Die Eisenjoche der gegenwärtig in PETRA verwendeten Sextupolmagnete haben Korrosionsschäden, die an den Magnetpolen individuelle Jochlängen verursachen. Die daraus resultierende Streuung der Feldfehler und die Variation des integralen Feldes erlauben keinen

Einsatz dieser Magnete für den zukünftigen PETRA III Betrieb. Die Herstellung von neuen Eisenjochen wurde an das Efremov-Institut vergeben. Wegen des stark verzögerten Liefertermins des Eisens werden die ersten der 170 Sextupoljoche zu Beginn des nächsten Jahres erwartet.

Zur Orbitkorrektur des Elektronenstrahls sind 4 verschiedene Korrektoren mit Eisenjochen und drei Typen ohne Eisenjoche vorgesehen. Zu allen Magnettypen gibt es vollständige Konstruktionszeichnungen. Im CAD-Anlagenmodell wurden Bauraumuntersuchungen und Kollisionsprüfungen durchgeführt. Im Neuen Achtel werden 3 Gleichstrom-Magnettypen PKV, PKH und PDB zum Einsatz kommen. Zusätzlich werden für die alten Achtel vom HERA-Typ CV/CH weitere 20 Korrektoren beschafft. Die Spezifikation für die öffentliche Ausschreibung dieser Magnete wurde erstellt. Für die schnellen Orbitkorrekturen werden die Korrekturmagnete PKVS, PKHS und PKVSA eingesetzt. Die Prototypen sind bei DESY angeliefert worden. Nach eingehenden magnetischen Vermessungen dieser eisenjochfreien Korrektoren und der Impedanzanpassung der Netzteile in der Gruppe MSK kann die Serienfertigung der Magnete mit Beginn des nächsten Jahres starten.

Für die Grundüberholung der alten PETRA Magnete sind weitere Spulen geliefert worden. Von den 110 bestellten Dipolspulensätzen sind bereits 79 geliefert, davon 66 in 2006. Von den 185 QA-Spulensätzen sind 102 Einheiten bei DESY im Lager. Die Fertigung und Lieferung der 50 Quadrupolspulensätze QA1 und der 130 Sextupolspulensätze (35 in Alu- und 95 in Kupferausführung) sind abgeschlossen.

Das Girdersystem für das neue Achtel von PETRA III wurde bei MEA dieses Jahr umfassend untersucht. Im Jahre 2005 wurden auf dem ersten Girder-Prototypen Untersuchungen zur Aufstellgenauigkeit der Magnete erfolgreich abgeschlossen. Der Girder hatte jedoch nicht die erforderliche mechanische Stabilität. Mit Finite-Elemente Rechnungen ist die mechanische Steifigkeit des Girder-Konzeptes untersucht und optimiert worden. Zwei weitere konstruktiv unterschiedliche Prototypen sind bei verschiedenen Herstellern gebaut worden. Beide Girdertypen wurden mit Magneten bestückt

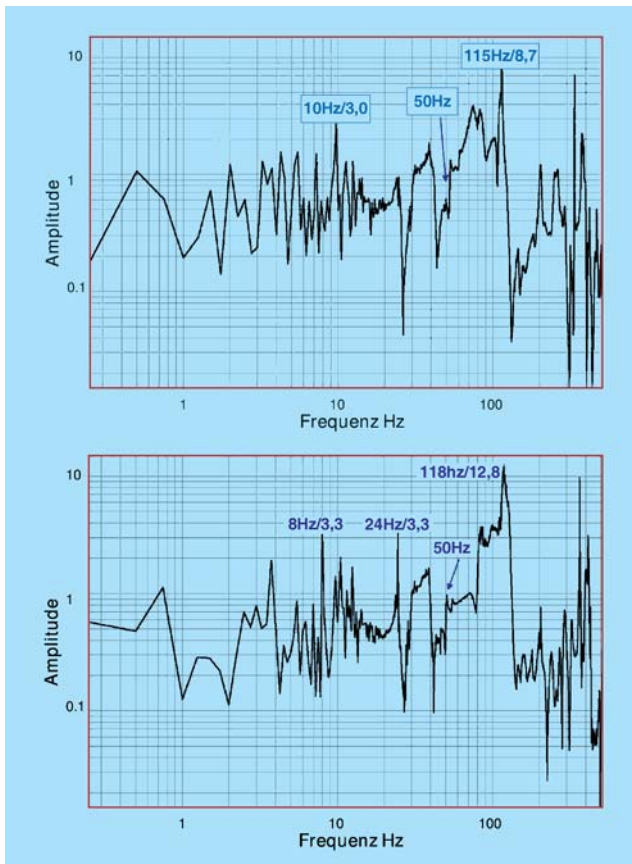


Abbildung 135: *Transferfunktion zwischen Girder-Auflager und Magnet. Oben: Efremov-Prototyp, unten: DESY-Prototyp.*

sowie mit dem Lasertracker justiert und vermessen. Die Steifigkeit der neuen Girder-Prototypen war deutlich verbessert worden. Aussagen mit einer Genauigkeit deutlich kleiner als $50\ \mu\text{m}$ konnten jedoch aufgrund der schwankenden Umgebungstemperatur nicht getroffen werden. Um temperaturunabhängige Präzisionsmessungen durchführen zu können, wurde ein klimatisierter Vermessungsraum in Halle 1 aufgebaut. Dieser Raum war im Oktober 2006 betriebsbereit an MEA übergeben worden. In diesem Raum wurden die Einstellgenauigkeit und die Reproduzierbarkeit der mechanischen Magnetaufstellung im $50\ \mu\text{m}$ Fenster geprüft. Bei den zahlreichen Untersuchungen zum statischen und dynamischen Verhalten der Girdersysteme mit/ohne Magnete wurden Schwingungsanalysen durchgeführt. Mit speziellen Beschleunigungs-Sensoren und dem einge-

brachten breitbandigen Schwingungsspektrum wurden Transferfunktionen gemessen. Die Abbildung 135 zeigt die Transferfunktionen zwischen den Girder-Lagern und den Magneten bei dem Efremov-Prototyp sowie dem DESY-Prototyp des Tragegestells. Beide Prototypen zeigen im Frequenzbereich bis 100 Hz nur schwach ausgeprägte Moden, der Bereich um 50 Hz ist frei von Moden und mit einer Magnitude von ~ 1 neutral. Im Bereich ab 80 Hz verschlechtern sich die Eigenschaften, man erkennt eine signifikante Mode bei 115 Hz (Efremov-Prototyp, Magnitude 9) bzw. 118 Hz (DESY-Prototyp, Magnitude 13). Beiden Träger sind von ihren dynamischen Eigenschaften nahezu gleich. Da nach dem allgemeinen Beurteilungskriterium keine Moden im unteren Bereich bis in die Umgebung von 50 Hz auftreten sollen, scheinen beide Träger für die Aufgabe gleich gut geeignet. Mit den gewonnenen Erkenntnissen werden die für PETRA III benötigten 38 Girder mit Unterbauten zur Fertigung in Auftrag gegeben.

DORIS

Die im Jahr 2005 ausgetauschten Kammern bei den Wiggler BW1 bis BW6 und die benachbarten Maschinenkomponenten sind in diesem Jahr zusammen mit den Magneten auf ihre korrekte Position überprüft und teilweise neu justiert worden.

Wegen der hohen Sicherheitsanforderungen des Strahlenschutzes für die Synchrotronstrahlungsnutzer von DORIS wurden umfangreiche Arbeiten an den Personeninterlockanlagen der Experimentierplätze und der Hallenwarnanlage durchgeführt. Für das Gebietsinterlock HASYLAB 1-5 wurden Not-Aus Kästen sowie Komponenten für die Tür- und Gebietsüberwachung entwickelt, konstruiert und gefertigt. Das Interlock hat jetzt zwei unabhängige Sicherheitskreise. Das Hauptgebiet wurde mit den neuen Komponenten ausgestattet und die Funktionalität geprüft. Die Nebengebiete werden in Absprache mit den verschiedenen Nutzern modernisiert. Bei der Hallenwarnanlage HASYLAB 1-6 wird es zunehmend schwieriger, die alte SPS Steuerung an die wachsenden Anforderungen der Nutzer anzupassen. Aus diesem Grund hat MEA3 mit der Planung einer neuen SPS-Warnanlage begonnen.

DESY II Teststrahlen

Im Berichtszeitraum wurden an den Teststrahlen 12 Experimentiergruppen, davon acht auswärtige Gruppen betreut. Der Anteil der auswärtigen Gruppen ist damit weiterhin sehr hoch. Verteilt auf die drei Beamlines sind insgesamt 57 Wochen Strahlzeit (davon 35 für auswärtige Gruppen) vergeben worden. Die Unterstützung der Gruppen umfasst die Einweisung in die Benutzung einschließlich der Sicherheits- und Strahlenschutzunterweisung, die Vergabe von IP-Adressen, die Vermittlung von kleineren Werkstattarbeiten, die Koordination der Gasversorgung und der Sicherheitsabnahmen. Im Rahmen des EUDET-Projektes wurde ein supraleitender Solenoid-Magnet (PCMAG) im Experimentiergebiet 24/1 eingebaut. Der PCMAG besitzt eine sehr dünne Spule. Somit kann man den Teststrahl ohne nennenswerte Verschlechterung der Strahlqualität quer zur Spule durch das Testobjekt führen. Dafür musste die räumliche Situation im Teststrahlgebiet verändert werden. Um das im Magneten verdampfende Helium zurück zu gewinnen, hat MEA6 eine Heliumrückgasleitung in das Gebiet gelegt.

FLASH

Im letzten Jahr wurde auf dem Magnetmessplatz in Halle 2 bei den Quadrupolmagneten TQG eine ungleichmäßige Ausbildung von remanenten Feldern nach Erregung mit hohen Strömen gemessen, die eine störende Dipolkomponente erzeugt. Um den hohen Anforderungen an die Feldqualität der Quadrupole in Zukunft gerecht zu werden, hat MEA am Beispiel des TQGs die Konstruktion verbessert, neue Herstellungsverfahren getestet und hochwertige Weicheisenmaterialien, wie PERMENORM, VACOFER, ARMCO und Relais-Eisen für den Bau weiterer TQG Magnete gekauft. Ein erster Magnet aus PERMENORM ist gebaut, ein Zweiter aus VACOFER befindet sich in der Fertigung (Abbildung 136). Die Studien mit neuen Weicheisenmaterialien sind auf den Bau eines TCA Korrektors erweitert worden.

Die Undulatoren benötigen für den optimalen SASE-Betrieb eine konstante Umgebungstemperatur. Mit

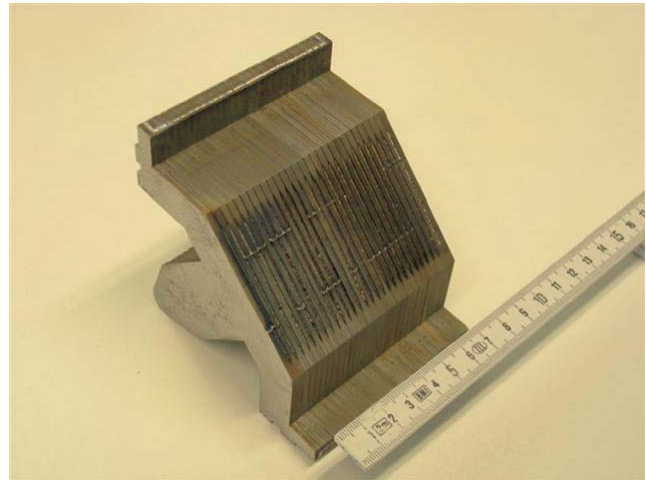


Abbildung 136: TQG-Quadrupolquadrant aus VACOFER. Bearbeitung mit Wasserstrahlschneidetechnik und Elektronenstrahlschweißung der Lamellen.

einem neuen Glasfasersensorsystem im Bereich der FLASH Undulatoren werden im Trägersystem und der Raumluft Temperaturen gemessen. Dieses System minimiert den Installationsaufwand bei ausgedehnten Objekten und erreicht nach Herstellerangaben eine Messgenauigkeit von 0.1°C . Die Erfahrungen mit dieser neuen Messmethode im Bereich der Beschleuniger soll zukünftig auch für den XFEL genutzt werden. Das Messsystem wurde spezifiziert und am Ende des Jahres vom Hersteller geliefert. Die Installation bei FLASH findet im nächsten Wartungsblock statt.

Für die Gruppe MPY wurde ein Strahllagemonitor, bestehend aus einer gelöteten Vakuumkammer mit 2 Antennen und den entsprechenden Vakuumdurchführungen, konstruiert und die Fertigung organisiert. Der Monitor war im Oktober eingebaut und betriebsbereit übergeben worden.

In Zusammenarbeit mit dem Hahn-Meitner Institut Berlin wird der Aufbau einer HALO-Messung im FLASH Undulator geplant und aufgebaut. Als Grundlage der Messung dienen die Wirescanner und die glasfaserbasierte Strahlverlustmessung. Durch die Erweiterung der vorhandenen Messtechnik lässt sich in Abhängigkeit zur Drahtposition des Wirescanners der Strahlverlust mit den Glasfasersensoren messen. Eine automatisierte Messung der Strahlverluste in Bezug auf

die jeweilige Drahtposition erlaubt die Bestimmung des transversalen Strahlprofils. Bei besonders hoher Empfindlichkeit der Messsensoren kann das Strahlprofil in den Randbereichen (HALO) präzise gemessen werden. Zur bestehenden Infrastruktur werden weitere Messtechnik-Komponenten und Softwareprogramme integriert.

In der Experimentierhalle wurden für unterschiedliche Experimentatoren Beamlinekomponenten aufgebaut, justiert oder umgebaut. Es wurden auch einige Spiegel vermessen, an denen Wartungsarbeiten durchzuführen waren. Anschließend wurden die erneuerten Komponenten wieder an den vorher erfassten Positionen montiert. Für den Einbau neuer Spiegelkammern wurde das Referenzpunktnetz verdichtet.

XFEL

Im Zuge der voranschreitenden Planungsarbeiten für den XFEL wurden die Referenz-Koordinatensysteme festgelegt. Diese dienen als Grundlage für alle Gewerke. Der Beschleuniger soll nicht auf einer Äquipotentialfläche mit gleichen Höhen gebaut werden sondern geometrisch gerade in der Art, dass die Experimentehalle horizontal ausgeführt ist. Am Übergangspunkt liegt der Beschleuniger tangential an einer Äquipotentialfläche der Experimentehalle an. Für die Erstellung der Komponentenliste in einem für den Aufbau und die Justierung des Beschleunigers tauglichen Koordinatensystem wurde ein Programm erstellt, das aus der originären Komponentenliste die entsprechenden Daten generiert. Die geplanten XFEL-Komponenten sowie alle Geländeerweiterungen und Neubauten wurden in einem für alle Gewerke gültigen grafischen Informationssystem erfasst und dargestellt. Die Darstellung der XFEL-Planung ist im DESY-Intranet veröffentlicht.

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 jedoch bereits eine Auflösung der Geradheits-Messung von ca. 3 μm erreicht.

Im Rahmen der Arbeitspaketes Tunnelinstallation wurde die technische Spezifikation für die Bestellung eines ersten Spezialtransportfahrzeuges fertig gestellt. Für Modulaufhängungen im Tunnel wurden zwei Varianten, die Zugstangenversion und die Stehholzenversion in einem provisorischen Aufbau getestet und der Gruppe MPY für Schwingungsmessungen sowie der MEA Vermessungsgruppe für Handhabungstests zur Verfügung gestellt. In Absprache mit anderen Gruppen wurde die Auslegung des Testtunnels festgelegt und die Bauausschreibung begleitet. Zudem konnte die Erstellung von detaillierten Installationsplänen unterstützt werden.

In diesem Jahr wurden für den XFEL-Dump-Bereich weitere Magnet-Designstudien an das Efremov-Institut in Auftrag gegeben. Um entlang der Strahlführung mehr Raum für Diagnostik zu schaffen, wurde die Machbarkeit für einen *Combined-Function*-Magnet im Bereich des Dumps untersucht. Darüber hinaus wird in diesem Bereich ein Septum-Magnet benötigt. Mehrere Konstruktionen hat das Efremov-Institut ausgearbeitet und den Maschinenphysikern zur Verfügung gestellt. Damit der Strahl mit seinem sehr kleinen Durchmesser am Ende großflächig auf einem Absorber verschmiert werden kann, wurde eine Studie für einen *Sweeper* Magneten durchgeführt.

Die Modulteststand-Halle für den XFEL wird von MEA 1 im Rahmen der Hallenausrüstung projektiert. In Zusammenarbeit mit dem hauptsächlichen Hallennutzer MKS werden in regelmäßigen Treffen konzeptionelle Fragestellungen bearbeitet. Die technische Auslegung der Halle, wie z. B. die Lkw-Anlieferung der Module, der Transport der Module in die Teststände (Schienensystem), die Bewegung der Module mit einem Schiebefahrzeug, der Zugang zu den Testständen und die Abschirmung des vertikalen Kryostaten werden in einem 3D Anlagenmodell aufgebaut. Aus wirtschaftlichen und logistischen Gesichtspunkten wird die Ausnutzung der Hallenfläche weiter optimiert.

Experimente

HERMES

Nach dem Einbau des Recoil-Detektors wurde das HERMES-Experiment im Januar in die Strahlposition gefahren und für den Messbetrieb vorbereitet. Eine defekte Targetzelle führte im Mai zu einem 5-tägigen Shutdown für den Ausbau der Komponente. Das Design der Targetzelle wurde modifiziert. Dazu hat MEA 1 eine Kühlung des Kollimators C3 und eine Abstützung des Wakefieldsuppressors konstruiert und gebaut. Eine neue modifizierte Targetzelle wurde in einem weiteren Wartungsblock Ende Juni in das HERMES-Experiment eingebaut. Sämtliche Komponenten des Experiments HERMES hat MEA 2 nach den Umbauarbeiten und dem Positionieren der Plattform in Strahlposition erneut justiert und die Luminositätsmonitore in ihrer 3D-Position relativ zum Strahl bestimmt.

ZEUS

Beim ZEUS Experiment hat die Abbauplanung begonnen. Der Abbau und Transport des Urankalorimeters und der anderen Detektorkomponenten (SRTD, F-, B- und R-Presampler) wird vorbereitet. Speziell für den Urantransport gibt es wegen des Gesamtgewichts von über 600 to und des weiten Transportweges zum Endlager nach Utah (USA) und den damit verbundenen hohen Kosten einen großen Optimierungsbedarf. Die Anschlagsmittel für den Abbau wurden vorbereitend gesichtet und werden einer Prüfung durch eine externe Firma unterzogen.

OPERA

Für den im Gran Sasso Labor installierten Neutrino-Detektor des OPERA-Experiments justiert MEA2 die Schablonen zur Halterung der Driftröhren für alle einzelnen Röhrenpakete. Nach den Feinjustagen dieser Lochblenden werden die Aluminium-Driftröhren eingeschoben und verklebt. Das fertige Driftröhrenpaket wird aus dem Montagestand genommen und neue Lochblenden eingesetzt, die dann vor der Montage

erneut zu justieren sind. Gegenwärtig sind ca. 150 von insgesamt 200 Driftröhrenpaketen justiert. Zusätzlich zu den Justierungen der Lochblenden beschäftigen sich zahlreiche Untersuchungen mit dem mechanischen Verhalten der Driftröhrenpakete bei unterschiedlicher Lagerung.

Gaseservice

Die Gruppe MEA 6 begleitete in diesem Jahr schwerpunktmäßig von der gastechnischen Seite her Projekte bei den Vakuumgruppen MVA und MVP sowie dem HERA-Experiment H1.

Für das neu zu bauende PETRA-III-Vakuumsystem sind bereits im letzten Jahr für die Schweißungen der Aluminiumkammern bei den Gruppen MVA und ZM31 verschiedene Formiergase zur Verbesserung der Schweißqualität gemischt bzw. bei den Gasefirmen bestellt worden. Als Ergebnis der Versuche wird jetzt für das Schweißen ein Argon/Helium Formiergas im Verhältnis 70/30 verwendet. Dieses Mischgas hat MEA6 in der Versuchsphase und am Anfang der Serienproduktion der Vakuumkammer hergestellt. Bedingt durch die großen Abnahmemengen wird das Mischgas nun beschafft. Für dieses Formiergas ist im Gebäude 14 (MVA) eine zentrale Gasversorgung, bestehend aus einer Flaschenbündelwechselstation mit Entnahmestationen an den verschiedenen Schweißplätzen, projektiert und gebaut worden. Die bereits bestehenden Formiergassysteme für H_2/N_2 und Ar/H_2 für das Plasmaschweißen wurden verändert und erweitert.

Zur Belüftung der PETRA III Vakuumkammern wird neben reinem Stickstoff neuerdings auch partikelfreie Synthetische Luft verwendet. Hierfür ist ebenfalls im Gebäude 14 eine Bündelwechselstation projektiert, gebaut sowie das Rohrleitersystem zu den verschiedenen Pumpständen und Entnahmestationen installiert worden. Für die gleiche Anwendung ist ebenfalls ein kleineres System bestehend aus einer Flaschenstation mit Zuleitungen zu den Pumpständen für MVP (Geb. 55) gefertigt und installiert worden.

Die Gasegruppe unterstützt in diesem Jahr den Umbau des 2005 von der H1-Gruppe übernommenen HERA-B

Gassystems. Es wurden 6 Äthanolbehälter gefertigt und auf Druckfestigkeit und Dichtigkeit hin überprüft. Bei der Bestimmung der Gasleckraten für das gesamte System inklusive der Nachweiskammern und bei der Erstellung der Gefährdungsbeurteilung und des Explosionsschutzdokuments war MEA 6 zusammen mit D5 beratend tätig.

Neben den wiederkehrenden Gasanalysen bei dem Experiment ZEUS hat MEA 6 für unterschiedliche Gruppen Anfragen bearbeitet. Bei der zukünftigen PETRA-III-Maschine und den Experimenten zeichnet sich ein erhöhter Bedarf an flüssigem Stickstoff ab. Für die Projektleitung wurden die Kosten für unterschiedliche Stickstofftankgrößen und deren Platzbedarf evaluiert. Für ein Experiment mit einem supraleitenden Magneten an einem der Teststrahlen in Halle II ist die bestehende Heliumrückleitung modifiziert worden. Wegen des Mehrbedarfs an mobilen Flüssig-Stickstoffbehältern wurden 8 weitere Transportbehälter angeschafft.

GIS/FMS Topographische- und Bauvermessung

Im Zuge der Planungen der beiden Projekte PETRA III und XFEL wurden bereits in diesem Jahr zahlreiche Vermessungen durchgeführt, um Planungsunterlagen in

Form von Karten zu erstellen. Hierzu wurden topographische Vermessungen der geplanten neuen Betriebsgelände und deren Umgebung durchgeführt. Auf dieser Grundlage sind Detailkarten erstellt worden, die die erforderliche "grundstücksscharfe" Genauigkeit von wenigen Zentimetern aufweisen. Diese Genauigkeit ist bei den im Planungsgebiet verfügbaren amtlichen Karten nicht gegeben. Für einige später auszubauende Betriebsgelände wurde ebenfalls ein Höhenplan erstellt, um die Erdmassenberechnung für Umbauten zu ermöglichen.

Ein zweiter Bereich ist die Übertragung der geplanten Situation in die Örtlichkeit. Für Baugrunduntersuchungen mussten zahlreiche Geländepunkte zur Baugrundaufschlussbohrung, die sich an der Lage der geplanten Bauwerke bzw. der Trasse orientieren, in der Örtlichkeit abgesteckt und dem Bohrunternehmen angewiesen werden. Nach Durchführung der Bohrung werden die tatsächlichen Bohrstellen in Lage und Höhe bestimmt und in der Karte eingezeichnet.

Für das Flächenkataster der verfügbaren Lagerflächen wurden die ehemaligen Reemstma-Hallen in der Örtlichkeit aufgemessen, diese Geländeerweiterung in die Kartenunterlagen des DESY übernommen und die freien Innenflächen der Hallen bestimmt.

Der bei PR erhältliche DESY-Übersichtsplan wurde durch eine Umgebungskarte mit den Eingängen zum Betriebsgelände erweitert.

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, Kontrollen radioaktiver Stoffe und Strahlenschutzunterweisungen der Mitarbeiter durchzuführen. Weiterhin werden bei DESY Personen- und Ortsdosen gemessen sowie Luft- und Wassermessungen durchgeführt, durch die die Wirksamkeit der oben beschriebenen Maßnahmen überwacht wird. Die so gewonnenen Messwerte dürfen die in den vorher genannten Verordnungen 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

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

das entsprechende Bindeglied zwischen dem Strahlenschutzverantwortlichen, den Strahlenschutzbeauftragten und der Aufsichtsbehörde. Es gibt bei DESY 47 Strahlenschutzbeauftragte, welche sich in 30 Arbeitsbereichen die Verantwortung für Personengruppen und räumliche Bereiche so aufteilen, dass alle diese Gruppen und Bereiche eindeutig 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 BF_3 -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 270 Stellen mit integrierten passiven Festkörperdosimetern und an 84 Positionen mit aktiven Geräten überwacht. Alle Messwerte werden für das jeweils zurückliegende Jahr in einem internen Bericht veröffentlicht. Gegenüber den Werten von 2005 haben sich die gemessenen Ortsdosen im Berichtszeitraum in fast allen Fällen 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 im Jahre 2006 schließen lässt.

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 Villingen (Schweiz) übernommen wurde. Festkörperdosimeter wie auch Kernspur-Detektoren werden bei DESY im 2-Monatsrhythmus getauscht.

Ende 2006 wurden regelmäßig ungefähr 1460 Personen überwacht. Dazu kamen pro Überwachungsperiode noch ca. 100 Gäste, die nur kurzzeitig bei DESY arbeiteten. Insgesamt wurden im Mittel alle 2 Monate jeweils 1567 Dosimeter für Photonen und für Neutronen verteilt und deren Auswertergebnisse in einer Datenbank den gesetzlichen Vorschriften entsprechend archiviert. Im Zeitraum November 2005 bis Oktober 2006 wurden auf 33 Dosimetern (von insgesamt 18803 Dosimetern) Dosen registriert, die über den Nachweisschwellen von 0.1 mSv (Photonendosimeter) bzw. 0.5 mSv (Neutronendosimeter) lagen. Die höchste Personenjahresdosis betrug 1.4 mSv, die zweithöchste 0.6 mSv. Damit liegen alle gemessenen Dosiswerte bei DESY deutlich unter den maximal zugelassenen Dosiswerten für beruflich strahlenexponierte Personen von 6 mSv (Kategorie B) bzw. 20 mSv (Kategorie A) pro Arbeitsjahr.

Allgemeine Projekte

Um beim Betrieb der neuen geplanten Beschleunigeranlagen bei DESY wie auch weltweit (PETRA III, XFEL, ILC) geeignete aktive Dosisleistungsmesssysteme zu haben, wurden zur Messung der Photonendosisleistung und der Neutronendosisleistung einige Systeme bei DESY getestet bzw. sollen in naher Zukunft getestet werden. Zur Messung der Photonendosisleistung wurde das DIS-System der Firma RADOS als aktives Dosimeter und eine speziell aufbereitete Ionisationskammer der Firma BERTHOLD, welche für gepulste Strahlung geeignet ist, getestet. Zur Messung der Neutronendosisleistung wurden Blasendosimeter der Firma Framework Scientific und ein Aktivierungsdetektor, der in einer Zusammenarbeit zwischen DESY und der Firma BERTHOLD entwickelt wurde, getestet.

Bei dem DIS-Dosimeter der Firma RADOS werden die durch Ionisation erzeugten Elektronen auf dem

floating gate eines MOSFET-Transistors gespeichert und können ohne Löschen ausgelesen werden, d. h. die Ladung (Dosis) wird in einem EEPROM als analoge Information gespeichert. Dieses System wird eigentlich zur passiven Personendosimetrie verwendet und hat in ersten Tests gezeigt, dass dies auch als aktives Dosimeter in gepulsten Feldern erfolgreich eingesetzt werden kann.

Gleiches gilt für eine spezielle Ionisationskammer der Firma BERTHOLD, welche durch zwei unterschiedliche Strom-Frequenz-Wandler einen Dosisleistungsbe- reich von 2,2 nSv/h bis 22 Sv/h abdeckt. Dieses Gerät konnte im Berichtszeitraum noch nicht bei DESY ge- testet werden.

Bei den Blasen dosimetern der Firma Framework Scien- tific macht man sich ähnlich einer Blaskammer die starke Ionisationsdichte von Neutronen in einer über- hitzten metastabilen Flüssigkeit zu Nutze. Hier ist die Anzahl der entstandenen Blasen proportional zur Neu- tronendosis, wobei auf Grund der geringeren Ionisa- tionsdichten das Dosimeter unempfindlich gegenüber Elektronen und Photonen ist. Die Auswertung der akti- ven Variante dieses Dosimetertyps geschieht auf akus- tischem Wege durch den Nachweis der bei der Entste- hung der Blasen typischen oszillierenden Druckwellen. Erste Tests mit diesem System haben gute Resultate bei der Messung der Neutronendosisleistung ergeben.

Das von A. Leuschner (DESY) entwickelte Kohlen- stoffaktivierungsdosimeter besteht aus einem Plastik- Szintillator und nutzt die durch Neutronen mit mehr als 13 MeV Energie ausgelöste Aktivierungsreaktion $^{12}\text{C}(n,p)^{12}\text{B}$ aus. Der Zerfall des ^{12}B mit einer Halb- wertszeit von 20 ms ergibt nach einem 1 ms langen XFEL-Puls ein deutliches exponentielles Signal. Auch thermische Neutronen treten im Zeitspektrum mit Halb- wertszeiten von weniger als 2 ms auf und lassen sich so vom ^{12}B -Spektrum trennen. Mittlerweile wurde hierzu ein zweites Patent beim Deutschen Patent- und Mar- kenamt angemeldet. In einer Zusammenarbeit mit der Firma BERTHOLD werden die erfolversprechenden Messergebnisse der Prototypen in ein Serienprodukt einfließen, welches im Frühjahr 2007 bei DESY getes- tet werden wird.

Arbeiten für FLASH

Weiterhin ist die Strahlenschutzgruppe aktiv an der Weiterentwicklung von FLASH beteiligt, mit der Kon- trolle und der Anpassung der Abschirmmaßnahmen, der Überwachung und Prüfung des Interlocksystems und der Bereitstellung einer abgeänderten und den neuen Gegebenheiten angepassten Strahlenüberwa- chungsanlage. Auffällig im Berichtszeitraum waren die teils hohen Aktivierungen im Bereich des Eintritts des Strahls in den Strahlabsorber. Es hat sich herausgestellt, dass diese Situation durch optimierte Maschinensteuer- ung verbessert werden kann, so dass sich die Lage nun als akzeptabel darstellt.

Im Dezember 2005 haben wir die Errichtungs- und Be- triebsgenehmigung für den Modul-Test-Stand (Cryo- Module-Test-Bench, Gebäude 70) in Form einer Ände- rung der Betriebsgenehmigung für FLASH erhalten. Die Erstprüfung der Interlockeinrichtungen in Beglei- tung eines Sachverständigen des TÜV Nord hat im Oktober 2006 stattgefunden und anschließend konnte der Modul-Test-Stand erfolgreich den Betrieb aufneh- men.

Arbeiten für PETRA III

Für das Projekt PETRA III konnten im Jahre 2006 die detaillierten Abschirmungsmaßnahmen für die Optik- und Experimentierhütten in Zusammenarbeit mit einem japanischen Kollegen von SPRING8 durch- geführt werden. Diese gingen in den Sicherheitsbe- richt für das Projekt PETRA III ein. Der Sicherheits- bericht ist das zentrale Dokument für die Genehmi- gung einer solchen Anlage und dient der Aufsichts- behörde als so genanntes Pflichtenheft zur Überprüfung der Vollständigkeit und Richtigkeit aller relevanten Sicherheitsmaßnahmen. Der Sicherheitsbericht für PETRA III konnte Ende 2006 fertig gestellt werden und soll Anfang 2007 der Aufsichtsbehörde vorge- legt werden. Die entsprechende Erweiterung der Be- triebsgenehmigung wird für das Frühjahr 2007 er- wartet.

Arbeiten für den XFEL

Nachdem das Planfeststellungsverfahren (PFV) des Projektes XFEL im Oktober 2005 durch den Erörterungstermin aus Sicht des Strahlenschutzes abgeschlossen werden konnte, wurde im Jahre 2006 an der Kon-

kreterisierung der Bauplanung mitgearbeitet. Hier wurden eine Vielzahl verschiedener Fragestellungen mit den planenden Ingenieuren diskutiert und Lösungen erarbeitet, die auf der einen Seite die Strahlensicherheit der Anlage gewährleisten und gleichzeitig auf der anderen Seite den Betriebsablauf optimal gestalten und die Kosten möglichst minimal halten.