

Bereich Beschleuniger (M)

Inhalt

Übersicht	181
Speicherringanlage HERA	183
Speicherring DORIS III	191
Die Vorbeschleuniger	193
Arbeiten der Gruppen des Bereichs Beschleuniger	197
Voruntersuchungen zum TESLA Linear-Collider Projekt	231
Entwicklung eines Freie-Elektronen Lasers für sehr kurze Wellenlängen	239
Strahlenschutz	241

Übersicht M-Bereich

HERA

Nach verschiedenen Reparatur- und Umbauarbeiten am Jahresbeginn wurden die beiden HERA-Ringe im März wieder in Betrieb genommen. Bei den ersten Tests zum Luminositätsbetrieb stellte sich schon heraus, dass die Bedingungen für einen Betrieb der Drahtkammern von H1 und ZEUS bei vollem Strahlstrom und voller Hochspannung wegen zu hoher Untergrundereignisraten nicht erfüllt waren.

In den folgenden Monaten von Mai bis September wurden erhebliche Anstrengungen gemacht, diese Probleme genau zu verstehen. Es wurden vier verschiedene Quellen von Untergrund identifiziert, und es wurden mehrere Maßnahmen zur ihrer Unterdrückung durchgeführt. In den beiden letzten Monaten des Jahres 2002 wurde ein Luminositätsbetrieb für alle vier Experimente mit moderater Strahlintensität durchgeführt.

Die spezifische Luminosität war in H1 mit Werten um $2 \times 10^{30} \text{cm}^{-2} \text{sec}^{-1} \text{mA}^{-2}$ etwa 10% über den Designwerten. Die absolute Luminosität blieb mit Maximalwerten um $10^{31} \text{cm}^{-2} \text{sec}^{-1}$ wegen der durch den Untergrund begrenzten Strahlströme hinter den Werten des Jahres 2000 zurück. Die Untergrundbedingungen haben sich während des Betriebsjahres stetig verbessert.

Weitere Maßnahmen zur Reduktion des Untergrundes sind für die kommende Wartungsperiode im Jahr 2003 geplant.

DORIS III

DORIS lief insgesamt sehr verlässlich. Es gab nur eine unvorhergesehene Belüftung. Daraus resultiert eine gegenüber dem Vorjahr um 3.5% höhere Betriebseffizienz von 95.8%.

PETRA

Petra lief etwa 45% der Zeit als Positronen-Vorbeschleuniger für HERA, 20% der Zeit wurde die Maschine als Protonen-Vorbeschleuniger betrieben. Der Betrieb war wie in den vorangegangenen Jahren unproblematisch. Bei Versuchen mit hohen Protonen-Intensitäten konnten die bisherigen Spitzenwerte übertroffen werden. Der größte Strom bei Injektion liegt jetzt bei 144 mA und der größte Strom bei Ejektionsenergie (40 GeV) bei 132 mA, wobei der Entwurfswert 125 mA beträgt. Wegen der hohen Beanspruchung der Maschine durch HERA war der Zeitanteil, der in diesem Jahr auf den Betrieb als Synchrotronstrahlungsquelle entfiel, sehr niedrig.

Vorbeschleuniger

Die Vorbeschleuniger für Elektronen und Positronen, LINAC II, PIA und DESY II, sowie DESY III für Protonen liefen auch im Jahr 2002 sehr zuverlässig.

Die vom LINAC II an PIA gelieferte Teilchenzahl wurde den Anforderungen der nachfolgenden Maschinen angepasst und lag mit etwa 2×10^{10} Positronen pro Füllung um etwa einen Faktor zwei unter dem Maximum. Beim LINAC III wurde der Protonenstrom ebenfalls aufgrund der Anforderungen seitens HERA reduziert.

Linear-Collider Studien und Freie-Elektronen Laser

Ein wichtiger Meilenstein für die Genehmigung von TESLA war die positive Stellungnahme, die der Wissenschaftsrat im Juli nach Begutachtung des Techni-

cal Design Report (TDR) abgegeben hatte. Diese Stellungnahme wurde vom Wissenschaftsrat im November in eine Empfehlung an die Bundesregierung umgewandelt. Die Empfehlung war mit zwei Auflagen verbunden. Eine war die Ausarbeitung einer technischen Lösung für den Freie-Elektronen Laser (XFEL) mit einem separaten Linearbeschleuniger, die andere eine genauere Darstellung der möglichen Organisation des Global Accelerator Networks (GAN) für den Linear-Collider.

Es wurde ein umfangreicher Bericht zur technischen Auslegung des separaten Linearbeschleunigers erstellt und ein detaillierter Vorschlag zur Organisation der internationalen Linear Collider Kollaboration ausgearbei-

tet. Beide Berichte wurden im November an das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) übergeben.

Das International Committee for Future Accelerators (ICFA) schloss seine Arbeit zur Evaluierung der vorliegenden Konzepte zum Bau eines e^+e^- Linear-Colliders der nächsten Generation gegen Ende des Berichtszeitraumes 2002 ab und verfasste einen etwa 400-seitigen Bericht. Es wurde unter anderem festgestellt, dass die für einen 500 GeV Linear-Collider erforderliche Beschleuniger-Technologie an der Testanlage TTF demonstriert worden ist und dass auf dieser Grundlage ein Collider Projekt begonnen werden könne.

Speicherringanlage HERA

HERA Betrieb 2002

Die Anstrengungen im Monat Dezember 2001 konzentrierten sich auf die Untersuchung des Synchrotronstrahlungs-Untergrundes der Experimente H1 und ZEUS.

Die ersten beiden Monate des Jahres 2002 wurden für Reparatur- und Umbauarbeiten genutzt. Im Januar 2002 wurde durch Röntgenaufnahmen an den Kryostaten der kalten geraden Stücke SL 160 m im HERA-Protonenring festgestellt, dass die internen Stützen von Strahl- und Prozessrohren beschädigt waren. Zur Reparatur musste der Oktant SL auf Raumtemperatur gebracht werden. Die Reparaturarbeiten erstreckten sich von Mitte Januar bis Anfang März.

Da die Reparaturarbeiten am Protonenring nur tagsüber und an Werktagen durchgeführt wurden, konnte ein Teil der Abend- und Nachtstunden sowie der Wochenenden im Januar und in der ersten Februarwoche für Maschinenstudien am Elektronenring benutzt werden.

Ab 15. Februar wurden im HERA-Elektronenring Verbesserungen am Kollimator-System durchgeführt, um die Experimente ZEUS und H1 besser vor direkter Synchrotronstrahlung zu schützen. Im gleichen Zeitraum wurden Modifikationen am Personenschutzsys-

tem vorgenommen und die jährliche Interlockprüfung durchgeführt.

Ab 11. März 2002 wurden die beiden HERA-Ringe wieder in Betrieb genommen. Anschließend wurde der Luminositätsbetrieb vorbereitet. Jedoch stellte es sich bereits bei den ersten Tests heraus, dass ein Betrieb der Driftkammern von H1 und ZEUS bei vollem Strahlstrom und voller Hochspannung wegen hohen Untergrundes nicht möglich war.

In den folgenden Monaten von Mai bis September wurden Anstrengungen gemacht, diese Probleme genau zu verstehen und gleichzeitig die Vakuumbedingungen des e-Rings hinreichend zu verbessern sowie die operationellen Probleme, die mit einem Hochstrom-Luminositätsbetrieb verbunden sind, zu lösen. Gleichzeitig wurde das allgemeine Verständnis von Magnetaufstellung, Strahloptik und Strahldynamik durch regelmäßige Beschleunigerstudien verbessert.

Im Monat Oktober wurden dezidierte Studien zum Erreichen hoher Luminosität und Positronen-Spinpolarisation durchgeführt. In den beiden letzten Monaten des Jahres 2002 wurde ein Luminositätsbetrieb für alle vier Experimente mit moderater Strahlintensität durchgeführt (Tabelle 5).

21.12.01 – 11.03.02	Betriebspause zur Reparatur des HERA Protonenrings, Verbesserung von Synchrotronstrahlungskollimator-Systemen, Interlockprüfung
11.03.02 – 30.04.02	Vorbereitung des Luminositätsbetriebs
01.05.02 – 24.09.02	Luminositätsbetrieb mit regelmäßigen Untergrundstudien und Maschinenstudien
24.09.02 – 28.10.02	Dezidierte Luminositäts- und Polarisationsstudien
28.10.02 – 19.12.02	Luminositätsbetrieb
19.12.02 – 02.01.03	Betriebspause

Tabelle 5: *Betriebsübersicht 2002.*

Untergrundprobleme der Experimente

Das Verständnis und die Beseitigung der Untergrundprobleme der Experimente H1 und ZEUS standen im Mittelpunkt der Bemühungen des Betriebsjahres 2002. Die Untergrundprobleme bestanden in der Hauptsache in zu hohen Strömen der Driftkammern. Es wurden zahlreiche Studien in enger Zusammenarbeit von Beschleuniger- und Experimentengruppen durchgeführt.

Die Ergebnisse der Studien und Schlussfolgerungen aus den durchgeführten Experimenten wurden auf einem internationalen Workshop im Juli vorgestellt und im Oktober von einem international zusammengesetzten Komitee begutachtet. Es wurden vier verschiedene Quellen von Untergrund identifiziert:

- Direkte Synchrotronstrahlung, die gleichzeitig mit den Teilchenstrahlen in die Wechselwirkungszone gelangt.
- Untergrund durch zurückgestreutes Synchrotronlicht. Diese Strahlung wird an den Absorbern auf der rechten Seite der Wechselwirkungszone gestreut und gelangt so in den Detektor, den sie um bis zu 60 ns gegenüber dem Teilchenstrahl verzögert erreicht.
- Untergrund durch Positronen, die auf der linken Seite der Wechselwirkungszone mit Gasteilchen im Strahlrohr kollidieren, dabei erheblich an Energie verlieren und durch die Fokussier- und Ablenkermagnete in den Detektor gelenkt werden.
- Protonen, die auf der rechten Seite vor dem Wechselwirkungspunkt an Restgasteilchen gestreut werden und unter großen Winkeln in das Experiment gelangen. Die Restgasdichte ist gegeben durch Desorption von Gasmolekülen durch Synchrotronlicht sowie durch thermische Desorption bei Erwärmung der Vakuumkomponenten durch Energieverluste des Strahls und hängt somit stark vom Strahlstrom der Positronen ab.

Im Vorjahr wurde festgestellt, dass die Experimente H1 und ZEUS in erheblichem Maße unter direkter Synchrotronstrahlung leiden. Als Ergebnis der Vorjahrsstu-

dien wurden die folgenden Verbesserungsmaßnahmen vorbereitet und im Februar 2002 installiert:

Es wurde bei den Positionen SL 66 m und NL 66 m jeweils ein feststehender Synchrotronstrahlungskollimator eingebaut. Er schützt die Experimente vor Strahlung aus dem Magneten BI, der jeweils 90 m links vor den Wechselwirkungspunkten eingebaut ist. Außerdem wurden jeweils auf der linken Seite 6 m vor den Wechselwirkungspunkten fahrbare vertikale Kollimatoren installiert.

Eine weitere Maßnahme war die Vergrößerung der Apertur der Synchrotronlichtabsorber 1 und 2 jeweils bei 4 m und 6 m auf der rechten Seite von den Wechselwirkungspunkten, um die Rückstreuung von Synchrotronlicht von diesen Positionen zu vermeiden. Diese Absorber dienen dem Schutz der Vakuumkammer und werden nur im Falle einer Fehlsteuerung des Strahls von Strahlung getroffen. Die Apertur von Absorber 1 wurde von 9 mm auf 16 mm, die des Absorbers 2 von 11 mm auf 16 mm erweitert.

Eine zusätzliche Maßnahme zur Verringerung der Synchrotronstrahlung ist die Benutzung einer neuen Positronen-Strahloptik mit geringerer vertikaler Divergenz in den „low-beta“ Magneten.

Nachdem diese Maßnahmen durchgeführt worden waren, konnte im März und April 2002 nachgewiesen werden, dass nach Feinjustierung der Magnetaufstellung und nach Optimierung des Positronenstrahlors in der Wechselwirkungszone der direkte Synchrotronstrahlungsuntergrund sowie die Rückstreuung von Synchrotronstrahlung von den Absorbern 1 und 2 keinen wesentlichen Beitrag zum Untergrund mehr lieferten.

Die Verringerung des Untergrundes durch Positronen, die am Restgas vor der Wechselwirkungszone gestreut werden, lässt sich nur durch Verbesserung des Vakuums erzielen. Im Betriebsjahr 2002 wurde wegen der Strombegrenzung durch Untergrund nur eine vergleichsweise kleine Stromdosis von 28 Ah erzielt. Bisher ergab sich keine substantielle Verringerung des Untergrundes durch gestreute Positronen.

Zurückgestreute Strahlung vom Synchrotronstrahlungsabsorber bei 11 m SR/NR, der Stelle, an der sich Protonen- und Positronenstrahlrohrsysteme trennen, ist eine starke Quelle von Untergrund für die Experimente.

Ein großer Teil der Betriebszeit wurde darauf verwandt, diesen Anteil zu verstehen sowie Verbesserung durch zusätzliche Abschirmmaßnahmen zu erproben. Die Studien haben ergeben, dass sich die zurückgestreute Synchrotronstrahlung durch Änderung der Synchrotronstrahlungsmasken um etwa einen Faktor 10 reduzieren lässt.

Die zweite starke Quelle von Untergrund sind am Restgas in der Wechselwirkungszone gestreute Protonen. Durch systematische Studien mit kontrollierter Vakuumverschlechterung konnte nachgewiesen werden, dass sich die Quelle der gestreuten Protonen, die in den Detektor gelangen, vom Wechselwirkungspunkt bis etwa 20 m rechts vom Experiment erstreckt. Da das Vakuum in diesem Bereich durch Gasdesorption von Synchrotronlicht sowie durch Temperaturerhöhung durch den Positronenstrahl gegeben ist, ist der daraus resultierende Untergrund proportional zum Produkt von Protonen- und Positronenstrom. Diese Quelle von Untergrund hat sich im Laufe des Betriebsjahres um den Faktor 5 reduziert. Dies ist auf eine Verbesserung des Vakuums durch Reinigung der Oberflächen mit Strahl zurückzuführen. Dieser Prozess wurde jedoch durch dreimaliges Belüften des Vakuumsystems aufgrund von Lecks bzw. deren Behebung verlangsamt. Am Ende des Betriebsjahres ist der durch gestreute Protonen hervorgerufene Untergrund noch um den Faktor 3 zu hoch für einen Betrieb bei den maximalen Strahlströmen. Die erreichbare Luminosität mit eingeschalteten Detektoren beträgt nur etwa 30% des Wertes, der für 2002 angestrebt wurde.

Die Experimente HERMES und HERA-B hatten im Betriebsjahr 2002 keine nennenswerten Untergrundprobleme.

Man kann die Ergebnisse der Bemühungen, den hohen Untergrund der Experimente zu verstehen und geeignete Maßnahmen zur Beseitigung der Probleme auszuarbeiten, folgendermaßen zusammenfassen:

Das Problem der direkten Synchrotronstrahlung wurde durch das verbesserte Kollimatorsystem auf ein operationelles Problem reduziert, das durch verbesserte Kontrollen weitgehend gelöst wurde.

Der Untergrund durch gestreute Positronen lässt sich durch gezielte Vakuumverbesserungen, durch Betrieb der Maschine mit Positronenstrahl sowie durch zusätzliche Vakuumpumpen im Bereich des GA-Magneten auf

der linken Seite des geraden Stücks, etwa 30 m vom Wechselwirkungspunkt entfernt, auf ein erträgliches Maß reduzieren.

Der Untergrund durch zurückgestreute Synchrotronstrahlung ist in großem Detail verstanden, und es wird davon ausgegangen, dass die vorgeschlagenen Verbesserungsmaßnahmen am Kollimatorsystem die Probleme lösen werden.

Der Untergrund durch gestreute Protonen hat sich durch Verbesserungen der Vakuumbedingungen auf der rechten Seite der geraden Stücke mit dem stetigen Betrieb der Maschine wesentlich verbessert. Es sind jedoch noch keine Maßnahmen bekannt, die das Problem mit Sicherheit lösen werden. Der Unterschied zum Betrieb vor dem Umbau der Wechselwirkungszone konnte ebenfalls nicht vollständig aufgeklärt werden.

Beschleunigerentwicklung

Die Zeit, in der kein regulärer Luminositätsbetrieb wegen des hohen Untergrunds der Experimente H1 und ZEUS möglich war, wurde intensiv zur Verbesserung des Beschleunigers benutzt. Die Studien beschäftigten sich insbesondere mit der Strahloptik, der Magnetaufstellung in der Wechselwirkungszone, der Luminosität und der Polarisation.

Programmsystem für Maschinenstudien

Maschinenstudien benötigen viel Maschinenzeit, ihre Effizienz ist deshalb ein wichtiges Anliegen. Dies ist die Motivation für die Entwicklung von Computersystemen, welche Beschleunigerstudien auf effiziente Weise unterstützen. Es wurden zwei verschiedene Wege beschritten.

Das erste System ist gedacht für spezielle Studien. Es basiert auf dem leicht zu programmierenden System MATLAB, welches über Hilfsprogramme mit Strahloptikmodellprogrammen und dem Beschleunigerkontrollsystem verbunden wurde. Damit lassen sich beliebige Mess- und Stellgrößen des Beschleunigers

auslesen bzw. einstellen. Die Messwerte der Strahldiagnose können direkt mit Hilfe der zugehörigen Strahloptikdaten weiterverarbeitet und analysiert werden. Somit lassen sich komplizierte Experimente-Abläufe wie in einem Baukastensystem zusammensetzen. Die Automatisierung von Maschinenstudien und deren Auswertung erlaubt es, mehrere Iterationen eines komplexen Optimierungsprozesses in kurzer Zeit, etwa innerhalb einer Maschinenschicht, durchzuführen. Unter den Applikationen, die mit diesem System geschaffen wurden, sind unter anderem

- Strahlbasierte Magnetaufstellung,
- Strahloptikdiagnose mit der Orbit-Response Methode und Korrektur,
- Dispersionsmessung und Korrektur.

Das zweite System basiert auf dem Standard Softwaresystem der HERA-Kontrollen. Es wird eingesetzt, um die mit dem ersten System erprobten Verfahren für den Routinebetrieb mit Nichtexperten zum Einsatz zu bringen.

Beide Systeme wurden sehr erfolgreich implementiert und zum Einsatz gebracht und haben sehr zum guten Gelingen der Beschleunigerentwicklung beigetragen.

Optimierung der Strahloptiken

Die Strahloptiken von HERA wurden während des gesamten Betriebsjahres stetig verbessert und verfeinert und dem wachsenden Verständnis angepasst:

- Die Optik des Positronenstrahls wurde im Bereich der Wechselwirkungszone auf minimale Strahldivergenz im Magneten GJ optimiert. Damit wurde die Gefahr von zurückgestreuter Synchrotronstrahlung von Detektor-nahen Positionen verringert.
- Die Streufelder, die von den Magneten des Protonenringes in der Wechselwirkungszone ausgehen, wurden in der e-Strahloptik berücksichtigt.
- Der Magnet QR14 des Protonenrings, der an der Grenze seiner thermischen Belastbarkeit betrieben wird, wurde in seiner Stärke reduziert.

- Die Verteilung der Betatronphasenvorschübe im e-Ring wurde optimiert, um eine weitgehende Kompensation des „Strahl-Strahl-Beta-Beats“ zu erzielen.
- Der Einfluss der Energieverschiebung des Positronenstrahls auf die Strahloptik wurde kompensiert.

Die Strahloptiken des Positronen- und des Protonenstrahls wurden für Injektion und Luminositätsbetrieb mit dem „Orbitresponse“ Verfahren analysiert. In einigen Fällen wurden dabei systematische Fehler aufgedeckt und behoben. Die Reststörungen der Optik wurden mit einer empirischen Korrektur unterdrückt. Somit konnte die Abweichung der Strahleinhüllenden von ihren Idealwerten in allen Betriebszuständen auf Werte unter 5% gebracht werden.

Die Werte der Dispersionsfunktion wurden in beiden Maschinen gemessen und analysiert. Als Hauptbeitrag zu den Störungen der Dispersionsfunktion des e-Rings wurden Orbitauslenkungen in den „low-beta“ Magneten identifiziert.

Verbesserung der Magnetaufstellung

Die Aufstellung der Magnete in der Wechselwirkungszone hat einen großen Einfluss auf die Synchrotronstrahlung, die vor den Experimenten generiert wird und damit ein Untergrundpotential darstellt. Ein großer Aufwand wurde getrieben, die Magnetaufstellung bezüglich des idealen Strahlkoordinatensystems mit dem Strahl zu vermessen und die Magnetaufstellung aufgrund dieser Analyse zu korrigieren (Beam-Based Alignment). Die großen Messfehler der strahlgestützten Messungen wurden durch ein spezielles Auswerteverfahren um den Faktor 10 reduziert. Damit konnten Messgenauigkeiten von 200 μm erreicht werden. Da die Magnete in der Wechselwirkungszone optisch nur unter erschwerten Bedingungen erreicht werden können, ist die einzige Methode, das Magnetsystem der Wechselwirkungszone als Ganzes zu vermessen.

Luminositätsstudien

Dem Verständnis und der Optimierung der Luminosität wurde große Beachtung geschenkt. Aufgrund der guten

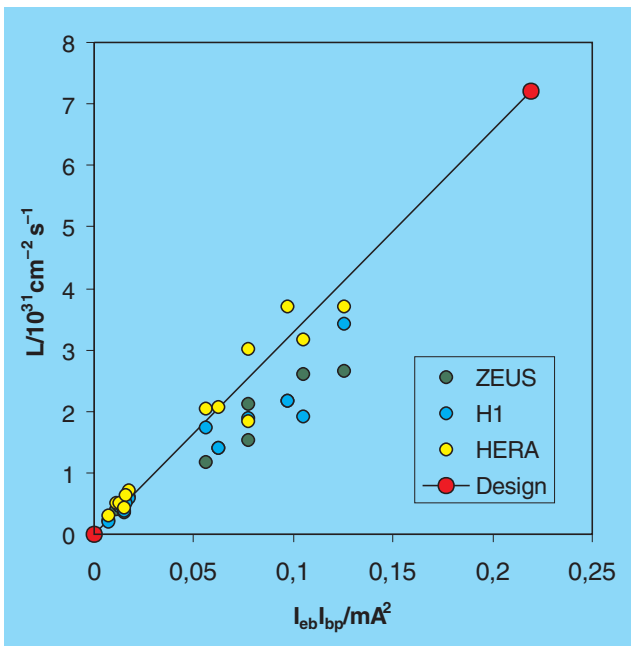


Abbildung 111: *Auf nominale Bunchzahl extrapolierte maximale Luminosität als Funktion des Produktes der Bunchstromintensität.*

Optimierung der Strahloptiken ergaben sich für niedrige Strahlintensitäten sehr gute Werte für die spezifische, das heißt die auf die Strahlintensität normierte Luminosität. Aufgrund der kleineren Protonenstrahlintensität wurden um 25% geringere Emittanzwerte erzielt. Entsprechend erreichte die spezifische Luminosität Werte um $L_{sp} = 2.2 \times 10^{30} \text{cm}^{-2} \text{sec}^{-1} \text{mA}^{-2}$, die etwa 20% über dem Designwert liegen. Bei größeren Protonenemittanzen mit Bunchströmen um $550 \mu\text{A}$ sinkt die spezifische Luminosität auf Werte um $L_{sp} = 1.4 \times 10^{30} \text{cm}^{-2} \text{sec}^{-1} \text{mA}^{-2}$. Dies ist teilweise auf vergrößerte Emittanzwerte und teilweise auf eine Aufweitung des Positronenstrahls zurückzuführen. Extrapoliert man die mit zehn Bunchen erhaltene Luminosität auf volle Bunchzahl, so ergibt sich eine Luminosität von $L = 4 \times 10^{31} \text{cm}^{-2} \text{sec}^{-1}$, die sich bei den derzeit machbaren Strahlströmen realisieren lässt (Abb. 111).

Die Luminositätsmessung der Experimente wurde durch so genannte Luminositätsscans überprüft. Diese Messung gestattet die direkte Messung des effektiven Strahlquerschnitts am Kollisionspunkt. Während die Luminositätsmessungen des H1-Experiments gut mit den Werten übereinstimmen, die aus den gemessenen

effektiven Strahlquerschnitten errechnet wurden, ergab die Luminositätsmessung des Experiments ZEUS einen um 20% kleineren Wert. Als ein gewisses Problem hat sich herausgestellt, dass die Arbeitspunkte im Luminositätsbetrieb durch starke nichtlineare Resonanzen und Synchro-Betatron Resonanzen eingeschränkt werden. Dies steht in unmittelbarem Zusammenhang mit der erforderlichen kleineren Emittanz. Die Einstellung der Arbeitspunkte ist somit viel kritischer als in den Vorjahren. Eine systematische Untersuchung der durch Sextupole getriebenen Betatron-Resonanzen der Ordnung vier im Elektronenring ergab, dass diese mit der neuen Optik etwa vier- bis fünfmal so stark sind wie mit der alten 60 Grad Optik. Dies erklärt die Begrenzungen im Arbeitsdiagramm.

Polarisation

Für die Optimierung der Positronen-Spinpolarisation wurde im Jahr 2002 nur wenig Zeit verwandt. Während einer einwöchigen Studienperiode im Oktober konnte jedoch an die Ergebnisse vom Jahr 2000 angeknüpft werden. Mit nur einem aktiven Rotatorpaar in HERA-Ost und ausgeschalteten Solenoiden von H1 und ZEUS wurde eine Polarisation von über 40% erreicht. Die weitere Erhöhung der Polarisation wurde aus Zeitgründen nicht weiterverfolgt. Es sieht jedoch so aus, als ob sich die Polarisation in dieser Konfiguration weiter steigern ließe.

Instabilitäten und kollektive Effekte

Regelmäßige Messungen haben ergeben, dass sich die Emittanz des Protonenstrahls durch kohärente, selbstgetriebene, gekoppelte longitudinale Dipolschwingungen der Bunche um bis zu einem Faktor 4 aufweitet, wenn der Strahlstrom Werte von 100 mA erreicht. Eine einfache Maßnahme, diese Schwingungen zu unterdrücken, ist eine Modulation der Hochfrequenzamplitude mit der Umlauffrequenz und damit die Erzeugung einer von Bunch zu Bunch unterschiedlichen Synchrotronfrequenzverteilung. Dies wurde technisch erfolgreich getestet, und es besteht die Hoffnung, mit dieser Maßnahme in Zukunft kürzere Protonenbunche zu erzielen.

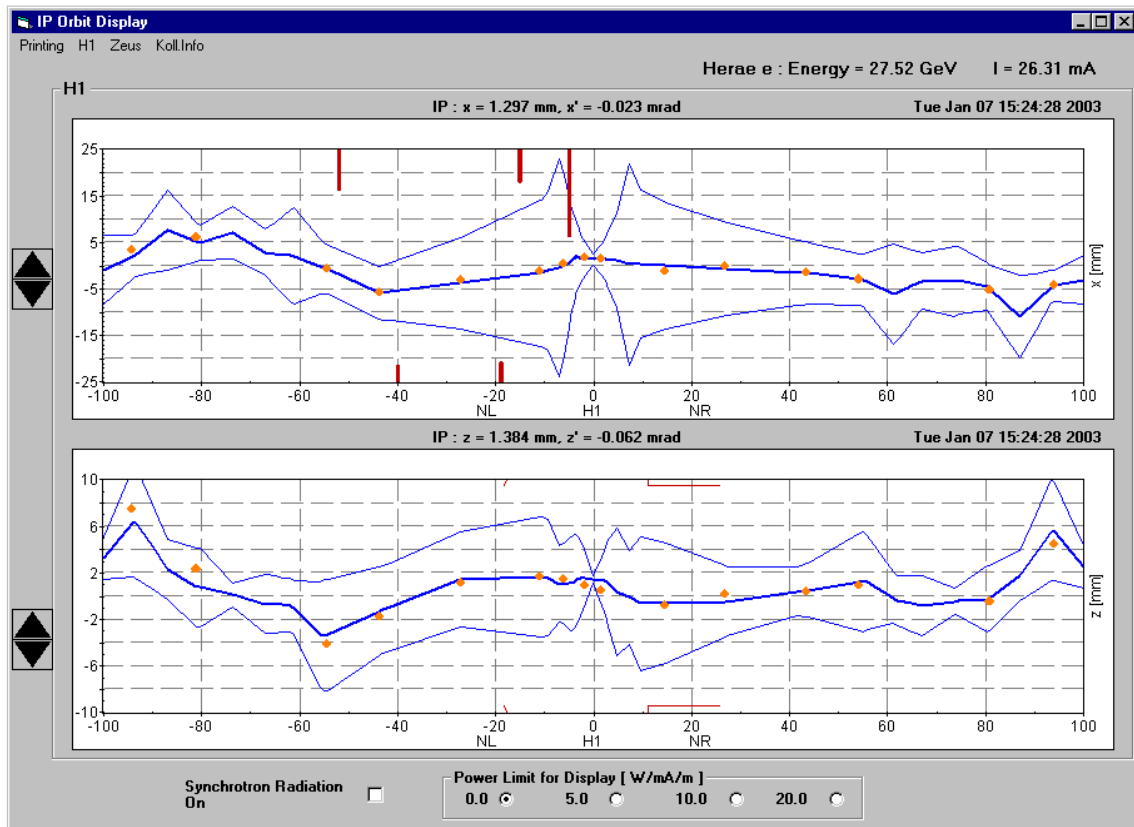


Abbildung 112: Bild vom HERA Orbit und Strahlenvelope bezüglich des absoluten HERA Koordinatensystems.

Der Verlust von bei hoher Energie gespeicherten Protonen durch eine diffusionsartige Drift aus dem Hochfrequenz-Potentialtopf wurde in Zusammenarbeit mit dem Institut für Hochenergiephysik in Protvino (Russland) untersucht. Die Hypothese, dass dieses Verhalten durch Hochfrequenzrauschen hervorgerufen wird, konnte durch eine umfassende Studie, die analytische Rechnungen, Simulationsrechnungen und Messungen an den Hochfrequenzsystemen umfasste, ausgeschlossen werden. Somit bleibt als letzter noch nicht vollständig verstandener Effekt, Coulomb-Streuung von Protonen aneinander innerhalb des Protonenstrahls zu untersuchen. Dies erfolgt im Rahmen einer 2002 begonnenen Doktorarbeit.

Operationelle Verbesserungen

Durch Verbesserung und Optimierung der Bedienungsprogramme ist es gelungen, die Vorbereitung der Injektion beider HERA-Ringe drastisch zu verkürzen. Damit laufen die Operationen Magnetzyklen, Protoneninjektion, Protonen-Beschleunigung und Positroneninjektion jetzt etwa doppelt so schnell wie in den früheren Betriebsjahren ab.

Eine große Herausforderung war die Bewältigung der Probleme von möglichen Strahlenschäden empfindlicher Detektorkomponenten durch die HERA Teilchenstrahlen während Injektion und Beschleunigung.

Durch den Wegfall von Synchrotronstrahlungsabsorbern vor den Experimenten nach dem Umbau sowie durch den Einbau eines empfindlichen Siliziumzählers in Strahlhöhe im ZEUS-Experiment ist es in weitaus größerem Maße als zuvor erforderlich, den Positronenstrahlorbit während Injektion, Beschleunigung und strahl-optischen Manipulationen immer in der optimalen Position zu halten. Zum Anrichten von erheblichen Schäden reichen bereits Strahlintensitäten im Bereich von $100\ \mu\text{A}$ aus. Um Positronenstrahlen größerer Intensität beschleunigen zu können, wurde eine Orbitstabilisierung auf der Basis von Strahlhöhe-Messungen realisiert und mit großem Erfolg zum Einsatz gebracht. Mit diesem System wurden Strahlintensitäten von über $40\ \text{mA}$ ohne nennenswerte Belastung der empfindlichen Detektorsysteme beschleunigt.

Ein Orbit-Rückkopplungssystem wird ebenfalls beim Schließen des ZEUS-Kalorimeters erfolgreich eingesetzt. Das Schließen dieses Kalorimeters induziert starke Magnetfeldänderungen der kalten Magnete GO und GG in den Wechselwirkungszone.

Die Strahlhöhe in den Wechselwirkungszone ist von großer Bedeutung für die Belastung der empfindlichen Detektorkomponenten mit Synchrotronstrahlung, für die Strahllebensdauer und für die Luminosität. Um diesen kritischen Parameter ständig unter Kontrolle zu halten, wurde ein System entwickelt, das unter Benutzung von mehreren unabhängigen Informationsquellen den absoluten Strahlorbit in den Wechselwirkungszone rekonstruiert und kontinuierlich darstellt (Abb. 112).

Technische Probleme

Eine Reihe von technischen Verbesserungsmaßnahmen wurde ergriffen, um die Zuverlässigkeit der HERA Komponenten zu erhöhen:

- das Quenchschutzsystem der kalten Magnete in der Wechselwirkungszone wurde verbessert und damit die Zahl der unnötigen Abschaltungen der Magnete drastisch reduziert,
- die Stromversorgungsgeräte werden im Fehlerfall verzögert abgeschaltet, wenn die Fehlerursache dies

erlaubt, um dem Alarmsystem Zeit zu lassen, den Protonenstrahl zu abortieren,

- die Magnete der beiden HERA Ringe werden regelmäßig automatisch auf Strom-Spannungskonsistenz überprüft, um frühzeitig Magnetdefekte erkennen zu können.

Die technische Zuverlässigkeit von HERA war im Jahr 2002 insgesamt nicht zufriedenstellend. Etwa 51 Tage gingen im Berichtszeitraum durch technische Ausfälle verloren. Die Effizienz des Betriebes war darüber hinaus nicht so gut wie im Betriebsjahr 2000. Dies ist zum Teil durch die ständig wechselnden Betriebsbedingungen bedingt, die es erschweren, verborgene Fehler frühzeitig zu entdecken und zu beseitigen. Ein Teil der Probleme steht in Zusammenhang mit der neuen Wechselwirkungszone. Aus diesem Grund sind Betriebsunterbrechungen aufgrund von Vakuump Problemen im Jahr 2002 ungewöhnlich häufig als Ausfallursache anzusehen. Ein signifikanter Teil der Ausfallzeiten hängt auch mit der Empfindlichkeit der Experimente auf Strahlverluste und Synchrotronstrahlung einerseits und mit der empfindlicheren Strahlstabilität andererseits zusammen. Dies führte insbesondere in der ersten Jahreshälfte zu häufigen Strahlverlusten und Strahldumps. In der zweiten Jahreshälfte, nach Einführung der automatischen Orbitstabilisierung, sind diese Effekte stark zurückgegangen.

Davon abgesehen, zeigt die insgesamt hohe Ausfallrate der HERA Komponenten keine Häufung bei bestimmten Systemen, sondern umfasst alle Komponentengruppen in etwa entsprechend der Anzahl ihrer Komponenten.

Luminositätsbetrieb

Angesichts der Notwendigkeit, die Untergrundprobleme in HERA zu untersuchen und zu verstehen, spielte der Experimentierbetrieb an HERA nur eine untergeordnete Rolle. Nur etwa 14% der Zeit in 2002 konnten von den Experimenten für Experimentierbetrieb genutzt werden. Von der insgesamt zur Verfügung stehenden Zeit von 100 Tagen waren dies mit 50 Tagen immerhin 50%.

Das HERMES-Experiment war bereit zur Datennahme. Die Untergrundbedingungen für HERMES waren im allgemeinen recht gut. Die Experimentierzeit reichte jedoch nicht aus, die angestrebte Datenmenge zu akkumulieren.

Das HERA-B Experiment war seit November bereit zur Datennahme. Die Untergrundbedingungen für HERA-B waren gut, die zur Verfügung stehende Messzeit war jedoch zu gering, gemessen an den Erwartungen.

Der Luminositätsbetrieb für die Experimente H1 und ZEUS wurde mit wechselnden Bedingungen durchgeführt. Ab November wurden 30 mA Protonen mit 20–30 mA Positronen in 180 Bunchen zur Kollision ge-

bracht. Die spezifische Luminosität war in H1 mit Werten um $2 \times 10^{30} \text{cm}^{-2} \text{sec}^{-1} \text{mA}^{-2}$ etwa 10% über den Designwerten. Die absolute Luminosität blieb mit Maximalwerten um $10^{31} \text{cm}^{-2} \text{sec}^{-1}$ wegen der durch den Untergrund begrenzten Strahlströme hinter den Werten des Jahres 2000 zurück.

Die Untergrundbedingungen haben sich während des Betriebsjahres stetig verbessert. Ende Dezember überschritten die auf die Intensität des Jahres 2000 skalierten Driftkammerdunkelströme von H1 die maximal zulässigen Werte noch um den Faktor zwei. Zu Beginn des HERA Betriebes betrug dieser Faktor noch etwa fünf. Die von HERA gelieferte integrierte Luminosität betrug 8pb^{-1} . Nur ein kleiner Teil davon konnte zur Datennahme benutzt werden.

Speicherring DORIS III

DORIS III Betrieb 2002

Während der winterlichen Betriebsunterbrechung war festgestellt worden, dass die Koppler zur Dämpfung höherer Moden in den Resonatoren für einen regulären Betrieb von DORIS nicht erforderlich sind. Aufgrund des hohen Alters der Koppler waren im letzten Jahr wiederholt Vakuumslecks aufgetreten. Die Koppler wurden ausgebaut, und als vorbeugende Maßnahme wurden so genannte Hohlleiter-Mode-Koppler eingesetzt. Der reparierte Vertikalkicker wurde wieder eingebaut. Drei Temperatursensoren sollten während des Betriebes Aufschluss über die Temperaturverteilung geben. Die gemessenen Temperaturen von bis zu 700 °C bei einem Strahlstrom von 150 mA lagen deutlich über den von Rechnungen vorhergesagten Werten. Anfang Februar musste der Kicker wieder ausgebaut werden, weil Vakuumeinbrüche als Folge eines Fehlers im Temperaturmesssystem auftraten.

Die Inbetriebnahme von DORIS als Vorbereitung für den regulären Synchrotron-Strahlungsbetrieb begann am 11. Februar mit der Festlegung der Parameter für die Strahllageregelungen in Zusammenarbeit mit HASYLAB. Der Beginn des offiziellen Nutzerbetriebes für HASYLAB war der 14. Februar. Wie im Jahr zuvor wurde mit HASYLAB der übliche 5:1 Wochenrhythmus vereinbart, das heißt fünf Wochen Synchrotronstrahlungsbetrieb gefolgt von einer Service-Woche.

Bis Ende Mai lief DORIS sehr verlässlich. Dann trat jedoch ein Vakuumsleck in der BW5 Strahlführung auf, so dass der Nordabschnitt der Maschine belüftet werden musste. Dies war die einzige unvorhergesehene Belüftung.

Akzeptanzrechnungen legten die Vermutung nahe, dass durch die Hinzunahme von zwei Sextupolfamilien, die

in der Südgeraden eingebaut sind, die dynamische Akzeptanz vergrößert werden könnte. Anfang August wurden die beiden Sextupolkreise in Betrieb genommen, und zwei störende Resonanzen konnten weitgehend unterdrückt werden. Dadurch vereinfachte sich der Standardbetrieb deutlich, und die Strahllebensdauer stieg signifikant an. Wie Abbildung 113 zeigt, wurden in diesem Jahr Lebensdauern von bis zu 25 Stunden bei einem Strahlstrom von 120 mA in fünf Bunchen erreicht.

Um die hohen Temperaturen der Spulenträgerstruktur im Vertikalkickermagnet deutlich zu reduzieren, ist eine zusätzliche Wasserkühlung installiert und der Kicker am 11. November während einer Service-Woche wieder eingebaut worden. Hierzu war eine weitere Belüftung erforderlich, die Erholung der Strahllebensdauer war jedoch erwartungsgemäß gut, so dass der Betrieb ohne größere Beeinträchtigung der Nutzer in der folgenden Woche fortgesetzt werden konnte. Da beabsichtigt ist, die drei anderen Kickermagnete mit derselben Kühltechnik auszustatten, ist ein längerer Test dieser neuen Konstruktion unbedingt erforderlich, bevor diese in der nächsten Wartungsperiode ebenfalls ersetzt werden.

Bis zum erneuten Einbau des Vertikalkickermagneten wurden im 5-Bunch-Betrieb folgende Strahllebensdauern erzielt: 22 Stunden bei 135 mA, 25 Stunden bei 120 mA und 28 Stunden bei 105 mA.

Wie im Jahr zuvor wurden im 5-Bunch-Betrieb maximal 150 mA gespeichert und während der vier Wochen Strahlzeit mit 2 Bunchen 85 mA. Der von HASYLAB genutzte integrierte Strahlstrom erreichte den Spitzenwert von 620 Ah bis zum Betriebsende am 20. Dezember 2002 (Abb. 113).

Die PC basierte Strahllageregelung arbeitete auch im Berichtsjahr einwandfrei.

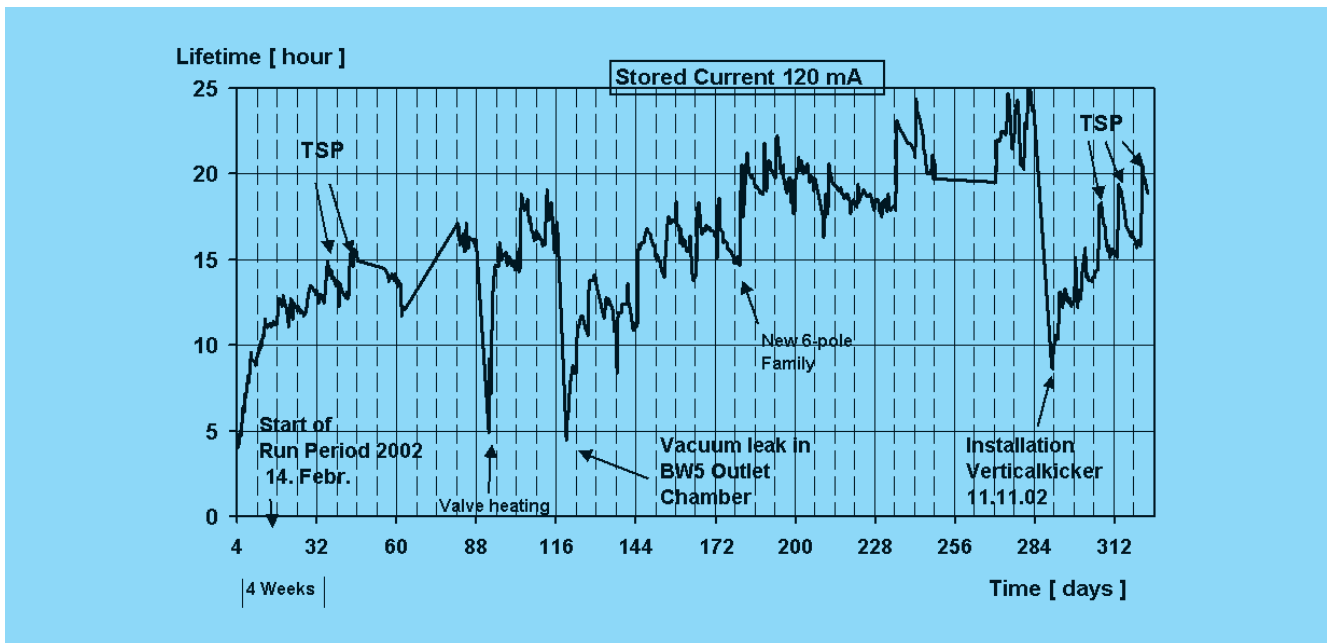


Abbildung 113: Strahllebensdauern, die in der Zeit vom 4.2.–20.12.2003 im 5-Bunch Betrieb erreicht wurden.

Das Betriebsergebnis ergibt sich aus dem Verhältnis von 6008 Stunden geplanter Strahlzeit für HASYLAB und 5757 Stunden, in denen tatsächlich Synchrotronlicht geliefert werden konnte.

Die sich daraus ergebende Betriebseffizienz von 95.8% ist um 3.5% größer als im letzten Jahr, was auf die geringere Zahl von Zwangsbelüftungen zurückzuführen ist.

Die Vorbeschleuniger

LINAC II und PIA

Im Lauf des Jahres 2002 konnten drei weitere Modulatoren während des Beschleunigerbetriebes auf Kondensatorladegerät und SPS-Steuerung umgebaut und wieder in Betrieb genommen werden, ohne dass die nachfolgenden Beschleuniger dadurch gestört wurden. Der Umbau diente der Modernisierung und gleichzeitig der Erhöhung der Betriebssicherheit.

Zusätzlich wurden bei zwei Modulatoren neue Main-Thyratrons eines größeren Typs eingebaut, die neben einer Kostenersparnis durch wesentlich verlängerte Lebensdauer auch geringere Ausfallzeiten versprechen. Der Umbau von vier alten Beschleunigerabschnitten und den drei letzten Modulatoren ist für die nächste große Betriebsunterbrechung bei HERA geplant.

LINAC III

Im Berichtszeitraum ist die Magnetron-Quelle durch mechanische und betriebstechnische Änderungen in ihrer Strahlqualität, aber auch hinsichtlich des Cäsiumverbrauches verbessert worden. An der Hochfrequenzquelle wurde der Strahlengang für die vom eigentlichen H^- -Strahl zu separierenden Elektronen deutlich verbessert. Die Elektronen werden mit einem ersten Permanent-Dipol abgetrennt, der Strahlengang für die H^- -Ionen wird durch einen zweiten Dipol sofort korrigiert. Die Position des aus dem Plasma austretenden Strahls lässt sich durch eine justierbare Plasma-Elektrode exakt einstellen. Hierdurch werden mechanisch aufwändige Justiereinrichtungen, die das Plasma-Gefäß und seine Isolatoren bewegen, eingespart und der Strahlengang wird verbessert. Beide Quellen standen im Jahr 2002 mit sehr hoher Zuverlässigkeit nahezu ohne Ausfälle zur Verfügung.

DESY II

DESY II lieferte das ganze Jahr mit gewohnt hoher Zuverlässigkeit Positronen für die Teststrahlbenutzer, DORIS, PETRA und HERA. Nach Einführung einer Massageprozedur der Magnete des Transportweges zwischen PIA und DESY II, welche Hysteresis-Effekte beseitigt, ist die Reproduzierbarkeit dieses Injektionskanals verbessert worden. Die Teilchenverluste sind dadurch weiter verringert worden. Die Injektionseffizienz liegt jetzt regelmäßig im Durchschnitt bei 85–90%. Um die bei hohen Strömen erzeugten Nebenbunche zu vermeiden, ist für HASYLAB-Betrieb bei PETRA auf Basis niedrigerer Bunchströme und verdoppelter PIA- und DESY II-Ejektionsrate ein neuer Betriebsmodus entwickelt worden.

DESY III

Als Beschleuniger für PETRA und HERA lieferte DESY III Protonen mit sehr hoher Zuverlässigkeit. Zu Jahresbeginn wurde die Ansteuerung für das HF-System modifiziert, um die Inbetriebnahme nach einem Stromausfall zu vereinfachen und eine flexiblere Bedienung anzubieten. Im Berichtsjahr ist nach einigen Studien der mittlere Endstrom auf 215–220 mA gesteigert worden, Spitzenströme um 230 mA wurden erreicht.

PETRA II

Im Betriebsjahr 2002 lief PETRA für eine ausgesprochen lange Zeit, nämlich 330 Tage. Nach dem Wiederanlauf im Januar wurde die Maschine im Wesentli-

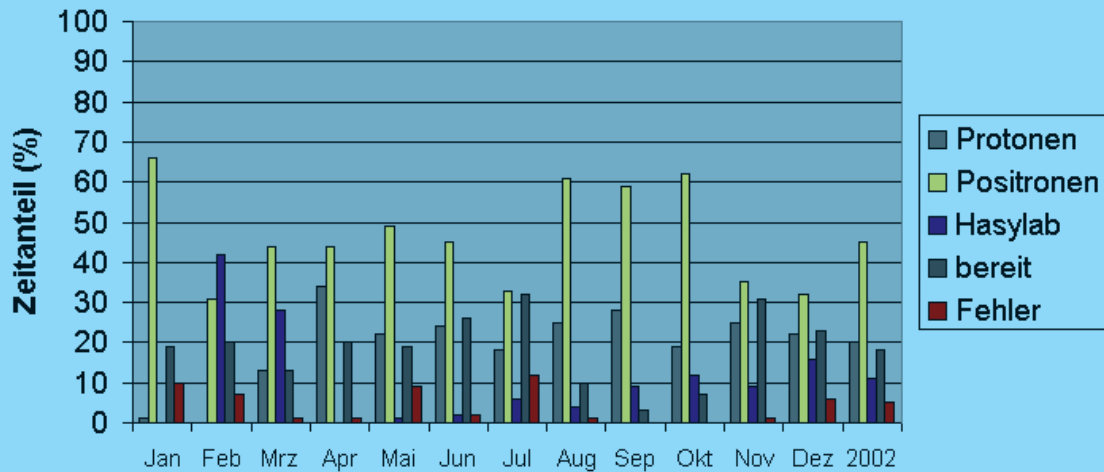


Abbildung 114: Aufteilung der PETRA-Betriebszeit 2002 auf die einzelnen Betriebsmodi: Vorbeschleunigerbetrieb: Positronen und Protonen; Synchrotronstrahlungsbetrieb: Hasylab; Maschine im Wartezustand: bereit.

chen als Vorbeschleuniger für HERA genutzt. Größere Veränderungen wurden an der Maschine nicht vorgenommen. Die Verteilung der Zeit auf die einzelnen Betriebsmodi entnimmt man Abbildung 114. Der Betrieb im einzelnen sah wie folgt aus:

Betrieb als Vorbeschleuniger

Elektronen/Positronen

Die Maschine lief etwa 45% als Positronen-Vorbeschleuniger für HERA. Der Betrieb war wie in den vorangegangenen Jahren unproblematisch. Zu Testzwecken wurde eine neue Optik ausprobiert, die eine kleinere Emittanz als die jetzige Optik aufweist: 28 nmrad statt 64 nmrad bei 12 GeV. Diese kleinere Emittanz hätte offensichtlich Vorteile für die Injektion in HERA. Es stellte sich aber heraus, dass der Gewinn für die Injektion in HERA klein ist im Vergleich zu den Schwierigkeiten, die man in PETRA mit dieser Optik hat, so dass der Routinebetrieb für HERA mit der ursprünglichen Optik weitergeführt wurde.

Protonen

20% der Zeit wurde die Maschine als Protonen-Vorbeschleuniger für HERA benutzt. Für Testzwecke benötigte HERA im Wesentlichen nur geringe Protonen-Intensitäten, was den Betrieb für PETRA erleichterte. Daraus resultiert dann auch der praktisch reibungslose Betrieb über das Jahr. Bei Versuchen mit hohen Intensitäten konnten die bisherigen Spitzenwerte übertroffen werden. Der größte Strom bei Injektion liegt jetzt bei 144 mA und der größte Strom bei Ejektionsenergie (40 GeV) bei 132 mA, wobei der Entwurfswert 125 mA beträgt.

Betrieb als Synchrotronstrahlungsquelle

Der Zeitanteil, der in diesem Jahr auf den Betrieb als Synchrotronstrahlungsquelle entfiel, war sehr niedrig. Die Ursache dafür lag in der hohen Beanspruchung der Maschine durch HERA.

Ein System zur Messung von Nebenbunchen wurde erfolgreich in Betrieb genommen. Das Hochfrequenzsystem der Maschine bedingt, dass nur endlich viele

auf dem Umfang gleichmäßig verteilte Positionen mit Teilchen besetzt werden können. In der Regel füllt man nicht alle diese Positionen, sondern nur ganz bestimmte. Einige Experimente, die von HASYLAB-Seite durchgeführt werden, verlangen, dass im Idealfall nur bestimmte Positionen besetzt sind und keine weiteren. Um nachweisen zu können, dass man diesem Idealfall sehr nahe gekommen ist, ist eine aufwändige Messapparatur notwendig, die so genannte Nebenbunchmessung. Diese Messung erlaubt jetzt zum einen, Maschinenparameter von DESY II und PETRA so einzustellen, dass man dem obigen Idealzustand nahe kommt, und zum anderen, auch rasch festzustellen, ob eine Füllung brauchbar ist oder nicht, was in der Vergangenheit deutlich schwieriger und zeitaufwändiger war.

Zukünftige Nutzung von PETRA als dedizierte Synchrotronstrahlungsquelle

Wie im letzten Jahresbericht beschrieben, ist eine Studie erstellt worden, wie PETRA in Zukunft als Synchrotronstrahlungsquelle genutzt werden kann. Die Untersuchungen zu diesem Thema wurden im Jahr 2002 vertieft und konkretisiert. Insbesondere wurde festgelegt, eine genauere und umfangreichere Studie anzufertigen. Zu diesem Zweck wurden auch Gelder vom BMBF bewilligt, die unter anderem dazu dienen, neue Mitarbeiter einzustellen, um die umfangreichen Arbeiten für diese Studie ausführen zu können.

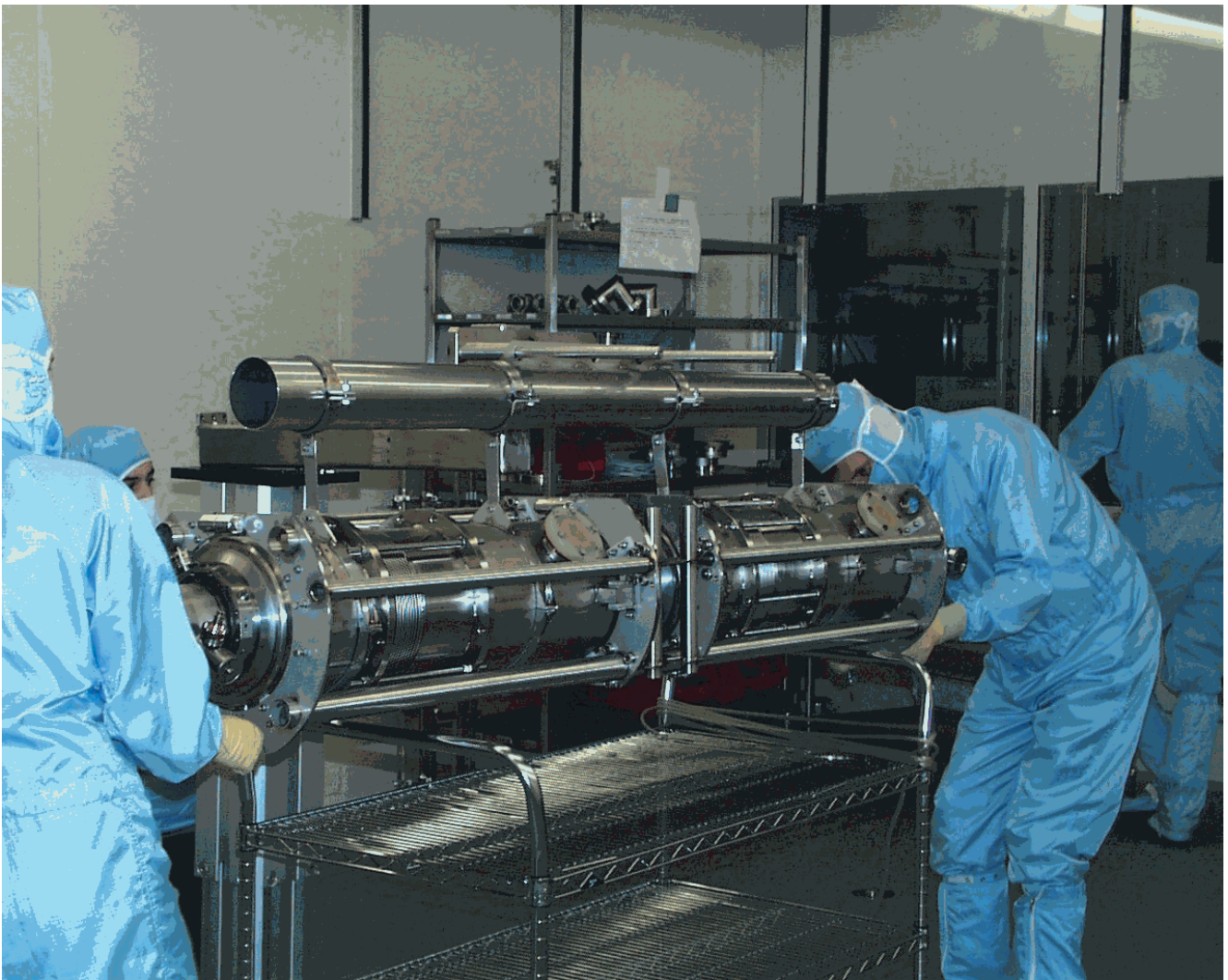


Abbildung 115: Demontage des Handling-Rahmens zur horizontalen Montage der Superstruktur.

Arbeiten der Gruppen des Bereichs Beschleuniger

Beschleunigerphysik und Beschleunigerkoordination

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

Spinpolarisation

e^+ Polarisation bei HERA II

Nach den Arbeiten zur Erhöhung der Luminosität ergab sich erst im Oktober die Möglichkeit, die beiden Polarimeter wieder in Betrieb zu nehmen und Polarisationsstudien mit dem Positronenstrahl durchzuführen. Dazu wurde nur das Rotatorpaar im Osten eingeschaltet, die Solenoide der Experimente und die gedrehten Quadrupole waren ausgeschaltet.

Nach Korrektur verschiedener Parameter wurde eine transversale Polarisation von mindestens 37% bei der Energie 27.638 GeV erreicht. In der folgenden Schicht wurden mit neu injiziertem Strahl bei gleichem nominalen Maschinenzustand lediglich 26% erreicht.

Wichtige Punkte, die im nächsten Jahr untersucht werden müssten, sind die Reproduzierbarkeit der Maschine und der Effekt der neuen Rotatoren und der Solenoidfelder der Experimentemagnete.

Nachdem sich herausgestellt hat, dass das Spin-Orbit Tracking-Programm SITROS untauglich ist, die Effekte der Strahl-Strahl Depolarisation in HERA II zu simulieren, wurde mit der Entwicklung neuer Software,

basierend auf dem Programm SPRINT, welches für polarisierte Protonen benutzt wird, begonnen.

Erste Berechnungen lassen vermuten, dass im TESLA Dämpfungsring keine signifikante Depolarisation zu erwarten sein wird.

Numerische Berechnung der Maxwell'schen Gleichungen

Bei DESY wird an zahlreichen Problemen der numerischen Berechnung elektromagnetischer Felder gearbeitet. Dabei kommen die Programme OPERA-2D, TOSCA (Magnetostatik), MAFIA (Elektro- und Magnetostatik, Temperaturberechnungen, zeitharmonische und transiente Felder, resonante Felder und selbstkonsistente Teilchen-Feld-Wechselwirkung), Microwave Studio (zeitharmonische und resonante Felder), HFSS (zeitharmonische Felder), TRAFIC⁴ (selbstkonsistente Berechnung von Bunchen auf gekrümmten Bahnen, kohärente Synchrotronstrahlung), ASTRA (Teilchentracking mit Raumladungseffekten im niederenergetischen Bereich), ELEGANT (hochenergetisches Teilchentracking), GENESIS (FEL Berechnung) und V (Ensemble Tracking) zum Einsatz.

Neu- und Weiterentwicklung von Programmen

An der Technischen Universität Darmstadt wird das Programm V laufend erweitert, so dass eine detailliertere Berücksichtigung von TTF-Komponenten möglich ist und mehrere Ensembles gleichzeitig berechnet werden können. Das simultane Tracken vieler Ensembles erlaubt die Beschreibung nichtlinearer Deformationen im Phasenraum. Hierfür wurde ein neues Feldberechnungsmodell – Multi-Centered Gaussian Expansion – entwickelt, um die Wechselwirkung über Raumladungsfelder effizient zu berücksichtigen. Für die Be-

rechnung longitudinaler und transversaler transienter Wakefelder von ultrakurzen Bunchen in sehr langen rotationssymmetrischen Strukturen wurden neuartige semi-implizite Verfahren eingesetzt.

Eine parallelisierte Version von TRAFIC⁴ kommt bei DESY auf einem LINUX PC Cluster zum Einsatz. Die große Rechenleistung, die somit zur Verfügung steht, gestattet eine wesentlich bessere Beschreibung der Wechselwirkungsvorgänge (beispielsweise durch kohärente Synchrotronstrahlung) in Bunchkompressoren und die Identifizierung wichtiger physikalischer Effekte. Der an der Universität Rostock entwickelte 3D-Multigrid-Poisson Solver wurde an das Tracking Programm GPT (General Particle Tracer) angepasst. Da der Aufwand für die Feldberechnung nahezu unabhängig von der Anzahl der verfolgten Teilchen ist, eignet sich diese Methode besonders für Probleme mit sehr vielen Teilchen, zum Beispiel bei stark deformierten Phasenraumverteilungen.

Zahlreiche Berechnungen wurden für die existierenden und geplanten Beschleuniger durchgeführt, wie zum Beispiel Koppler (TESLA, TTF, PITZ), Wakefield-Berechnungen und Resonatoren (TESLA, TTF2, HERA, H1, ZEUS) und Magnete (HERMES, TTF2). An der TU Rostock werden mit der dort entwickelten CSC (Coupled Scattering Parameters) Methode Moden in der TESLA Superstruktur untersucht. Der Einfluss von Geometriestörungen in TESLA-Resonatoren, die Leistungsabsorption in TESLA-Modulen und die Strahldynamik in PITZ werden an der TU Darmstadt untersucht.

Arbeiten der technischen Gruppen

Injektion/Ejektion – MIN –

Die Gruppe MIN-Injektion ist für den Betrieb und die Weiterentwicklung der Injektionsbeschleuniger LINAC II, LINAC III und PIA verantwortlich, ferner für die Strahltransportwege zu den Vorbeschleunigern DESY II und DESY III, für alle Injektions- und Ejektionselemente in allen Beschleunigern und Speicherringen, und für die so genannten „Beam-Dumps“ in allen Speicherringen und Synchrotrons. Hinzugekommen sind Aufgaben in Zusammenhang mit dem Be-

trieb des TESLA Test Facility Linac. Der Schwerpunkt liegt hier im Bereich des Injektionssystems und in der Koordination des TTF Linac Betriebes.

Elektronen/Positronen LINAC II und PIA

Die am LINAC II ursprünglich verwendeten Modulatoren sind über 30 Jahre alt, so dass zunehmend mit Ausfällen und längeren Reparaturzeiten zu rechnen war. Aus diesem Grund wurde 1997 ein Modulator versuchsweise umgerüstet. Nach Erfahrungen im Langzeitbetrieb konnte ein sukzessiver Umbau aller Modulatoren begonnen werden, der aus betriebstechnischen Gründen über insgesamt drei Jahre verteilt erfolgt.

Im Lauf des Jahres 2002 konnten drei weitere Modulatoren während des Beschleunigerbetriebes auf Kondensatorladegerät und SPS-Steuerung umgebaut und wieder in Betrieb genommen werden, ohne dass die nachfolgenden Beschleuniger dadurch gestört wurden. Zusätzlich wurden bei zwei Modulatoren neue Main-Thyratrons eines größeren Typs eingebaut, die neben einer Kostenersparnis durch wesentlich verlängerte Lebensdauer auch geringere Ausfallzeiten versprechen. Da nach der kompletten Umstellung auf neue Modulatoren auch der so genannte Start-Up Einschub wegfallen wird, musste ein neuer Einschub für die Modulator-Trigger gebaut werden. Mit ihm wird es jetzt erstmals möglich, über SEDAC die Triggerverschiebung der Modulatoren für den Elektronen- oder Positronenbetrieb einzustellen bzw., falls gewünscht, den Modulator-Trigger zu sperren. Der Umbau der letzten drei Modulatoren ist für die kommende Wartungsperiode im Frühjahr 2003 geplant.

In der letzten Wartungsperiode wurden drei weitere Beschleunigerabschnitte erneuert. Mit diesen neu eingebauten Abschnitten sind nun sukzessive acht von zwölf ersetzt worden. Die verbleibenden vier Abschnitte sind im aktuellen Berichtszeitraum gefertigt und auf die Sollfrequenz von 2998 MHz eingestellt worden. Das Konditionieren wird bis zum Einbau im Frühjahr 2003 abgeschlossen sein. Der Einbau dieser Beschleunigerabschnitte beinhaltet auch den Austausch des Konverterbereiches.

Seit Ende 2001 liefert ein 400 W-Transistorverstärker die 3 GHz Ansteuerleistung für den LINAC II und er-

setzt damit im Normalbetrieb das Treiber-Klystron. Aus diesem Grund musste auch die schnelle Umschaltung zwischen den Modulatoren 9 und 10 (Versorgung des Treiber-Klystrons) erweitert werden. Bei einem Ausfall des Verstärkers kann ohne wesentliche Ausfallzeit auf eines der beiden Klystrons als Treiber-Klystron umgeschaltet werden.

Zur Überwachung von Überschlügen im 3 GHz-Hohlleitersystem und zum Schutz der Klystrons vor zu hoher reflektierter Leistung wurde Ende 2001 die Pulsdauerüberwachung in Betrieb genommen. Sie vergleicht alle 3 GHz-Hüllkurven mit dem Ausgangssignal des 400 W-Transistorverstärkers bzw. des Treiber-Klystrons. Der Modulator-Trigger wird für vier Sekunden unterbrochen und es erfolgt ein Eintrag im Fehlerprotokoll, wenn ein Klystronpuls vorzeitig beendet wird, das heißt ein Überschlag auftrat.

Die Einführung eines Transientenrecorders ermöglicht die gleichzeitige Betrachtung aller 3 GHz-Vor- und Rücklaufsignale mit einer zeitlichen Auflösung von 40 ns. Pulse, deren Integral von einem gespeicherten Referenzwert abweicht, und Pulse, bei denen durch die Pulsdauerüberwachung eine Triggerunterbrechung erfolgt ist, werden gemeinsam mit den unmittelbar vorangegangenen Pulsen für die spätere Analyse abgespeichert.

Die Kontrollmöglichkeiten der Linacs von jedem Büro-PC aus wurden erheblich verbessert. Alle Hochfrequenz- und Strahlparameter können in ihrer Historie betrachtet werden. Durch die grafische Darstellung von Korrelationen wird das Erkennen von Fehlerursachen erleichtert.

Im November 2002 wurde von der Gruppe MSK der neue Trigger-Generator am LINAC II in Betrieb genommen. Besonders jitter-empfindliche Komponenten, wie zum Beispiel Ante- und Post-Linac-Chopper sowie das SLED-System, erhalten wesentlich stabilere Trigger. Dies verbessert die Stabilität von Strahlstrom und -energie erheblich.

Nach dem Einbau des neuen zweistufigen 10.4 MHz-Tetroden-Verstärkers bei PIA im letzten Jahr konnte in diesem Jahr der alte, ebenfalls zweistufige Verstärker umgebaut werden. Gemeinsam mit einem Reserve-Resonator ist nun ein komplettes zweites System vorhanden, das allerdings erst in der kommenden

Wartungsperiode in Betrieb gehen und einem Leistungstest unterworfen werden kann.

Da es für das 125 MHz-System bei PIA keinen Reserve-Resonator gab und der vorhandene in der Vergangenheit wegen einer hartnäckigen Multipactor-Entladung Probleme bereitet hat, wurde in diesem Jahr ein neuer Resonator inklusive eines neuen, frequenzmäßig angepassten PIN-Schalters gebaut. Dieses System soll ebenfalls in der kommenden Wartungsperiode eingebaut und in Betrieb genommen werden.

Für PIA und den Transportweg wurde mit Hilfe von MDE eine Massageprozedur in Betrieb genommen, die für eine deutlich verbesserte Reproduzierbarkeit nach Netzausfällen sorgt.

LINAC III

Schon Ende 2001 konnte am LINAC III der wechselweise Betrieb von zwei verschiedenen H^- -Quellen demonstriert werden. Die Magnetron-Quelle kann nun bei anstehenden Wartungen durch die Cäsium-freie Hochfrequenzquelle ersetzt werden. Letztere wurde zusammen mit dem LINAC III in ihren Betriebsparametern so optimiert, dass schließlich ein mehrwöchiger Betrieb möglich wurde. Der in den LINAC III injizierte Strom betrug 9.4 mA; zusammen mit einer Pulslänge von 45 μ s ergab sich ein hochbeschleunigter und stabiler Strom von 210 mA in DESY III. Die Umschaltung zwischen beiden Quellen ist rechnergesteuert möglich. Beide Quellen sind ständig in Betrieb und weisen dabei die längsten bisher erreichten Betriebsperioden auf.

Im Berichtszeitraum ist die Magnetron-Quelle durch mechanische und betriebstechnische Änderungen in ihrer Strahlqualität, aber auch hinsichtlich des Cäsium-Verbrauches verbessert worden. An der Hochfrequenzquelle wurde der Strahlengang für die vom eigentlichen H^- -Strahl zu separierenden Elektronen deutlich verbessert. Die Elektronen werden mit einem ersten Permanent-Dipol abgetrennt, der Strahlengang für die H^- -Ionen wird durch einen zweiten Dipol sofort korrigiert. Die Position des aus dem Plasma austretenden Strahls lässt sich durch eine justierbare Plasma-Elektrode exakt einstellen. Hierdurch werden mechanisch aufwändige Justiereinrichtungen, die das Plasmagefäß und seine Isolatoren bewegen, eingespart, und der Strahlengang wird verbessert.

Kicker

In zunehmendem Maße werden Röhren durch Halbleiterpulsler ersetzt. So wurden Ende 2001 vier Ignitron-Pulsler der HERA Positronen-Injektion durch Halbleiterschalter ersetzt. Diese ermöglichten einen wesentlich stabileren Betrieb mit stark reduziertem Jitter. Im Berichtszeitraum liefen die so modifizierten Pulsler sehr zuverlässig.

Die im Berichtszeitraum erstmalig genutzte Dump-Kicker-Anlage des HERA Elektronen-Strahlfängers stand für den Betrieb ohne Ausfälle zur Verfügung.

In der letzten Wartungsperiode wurde in den Speicherring DORIS ein vertikaler Anregungskicker mit einer Leiterbefestigung eingebaut, die temperaturbedingte Längenänderungen zulässt. Integrierte Temperaturfühler sollten Aufschluss geben über die während des Betriebs erreichte Temperatur. Diese war mit etwa 600°C jedoch so hoch, dass die als Glasmesswiderstände ausgeführten Fühler geschmolzen sind und als Folge davon der Kicker erneut modifiziert werden musste. Im November konnte schließlich ein vertikaler Anregungskicker mit einer zusätzlichen Wasserkühlung der Trägerleiste des Innenleiters eingebaut werden. Er läuft seit dem Einbau ohne Probleme. Die Fertigung von nahezu baugleichen Injektionskickern ist abgeschlossen worden. Nach abschließenden Tests im Labor sind diese für die kommende Wartungsperiode einbaubereit.

Für den Ausbau der TESLA Test Facility wurden vier weitere Feedback-Kicker aufgebaut. Im Rahmen von Studien für den TESLA Linear-Collider wird an verschiedenen Konzepten für so genannte Dämpfungsring-Kicker gearbeitet. Ein außerhalb des Vakuums liegender C Joch Kickermagnet konnte bei TTF getestet werden. An einem Halbleiterschalter wurden Einschaltzeiten sowie Amplituden- und Zeitstabilität eines möglichen Pulsers für den TESLA Dämpfungsring-Kicker untersucht.

Hochfrequenztechnik – MHF –

Die Gruppe MHF ist verantwortlich für den Betrieb und die Entwicklung aller Hochfrequenzanlagen in

den Kreisbeschleunigern bei DESY. Die Arbeiten teilen sich drei Untergruppen. Die erste, MHF-e, ist zuständig für die sehr umfangreichen, normalleitenden 500 MHz Beschleunigungsanlagen und 1000 MHz Rückkopplungssysteme für Elektronen oder Positronen in DESY II, DORIS III, PETRA II und HERA, und die zweite, MHF-sl, für das supraleitende 500 MHz System im HERA-Elektronenring und für die supraleitenden 1.3 GHz Resonatoren der TTF. Die Hochfrequenzsysteme für die Protonen-Beschleunigung in DESY III, PETRA II und HERA sowie die 1.3 GHz Klystrons der TTF werden von der dritten Untergruppe, MHF-p, betreut.

Normalleitende Beschleunigungsstrecken für Elektronen/Positronen – MHF-e –

Die Gruppe MHF-e betreibt die 500/1000 MHz-HF-Systeme aller Elektronen-Ringbeschleuniger. Diese HF-Systeme bestehen aus 16 Senderanlagen mit insgesamt 28 Dauerstrich-Klystrons. Davon sind 22 800 kW-Klystrons, zwei 600 kW-Klystrons, zwei 300 kW-Klystrons und zwei 250 kW-Klystrons. Die DC-Anschlussleistung der 16 Senderanlagen beträgt 34 MW. Die HF-Leistung wird über ungefähr 3.5 km Hohlleiter auf etwa 120 normalleitende und 16 supraleitende Resonatoren verteilt.

Im Jahr 2002 gab es bei HERA noch keinen routinemäßigen Luminositätsbetrieb. Um eine einigermaßen aussagekräftige, das heißt mit den Vorjahren vergleichbare HF-Betriebsstatistik zu erhalten, wurden nur 16 Betriebswochen (Juli bis Oktober 2002) ausgewertet. In diesem Zeitraum wurden 74 Störungen der HERA-HF-Systeme registriert. Das entspricht 4.6 Anlagenstörungen pro Woche, bzw. einer störungsfreien Laufzeit von 14 Tagen pro HF-System. Die geringe Ausfallrate spiegelt den moderaten HERA-Strahlbetrieb wider. Zum Vergleich: in der Betriebszeit 1999–2000 waren es 10.6 Tage pro HF-System. Die Verteilung der HF-Störungen des Jahres 2002 ist bezüglich der Resonator-, Absorber- und Hohlleiterstörungen ähnlich wie 2000. Die Sender- und HV-Störungen sind dagegen stark zurückgegangen. Störungen aufgrund externer Einflüsse haben sich dagegen fast vervierfacht. Der Rückgang der Sender- und HV-Störungen lässt sich durch die im Mittel geringen abgeforderten HF-Leistungen erklären. Die Ursache für den relativ starken Anstieg

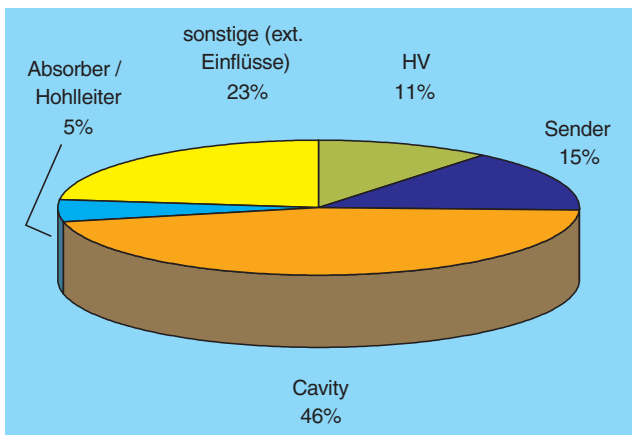


Abbildung 116: Auswertung von Störungen der HF-Systeme.

externer Störungsursachen ist im diskontinuierlichen Maschinen-Betrieb zu suchen. Abbildung 116 zeigt die Auswertung von Störungen der HF-Systeme, aufgeteilt in fünf Kategorien:

- HV: Sender-Gleichrichteranlage, Klystronschutz,
- Sender: Senderanlage inklusive Klystrons, Zirkulator, Modulator, Luft- und Wasserkühlung,
- Cavity: Resonatoren inklusive Vakuum-Überwachung, Kühlung und Abstimmung,
- Absorber/Hohlleiter: Hohlleitersystem mit Absorbieren,
- Sonstiges: Fehlbedienung, Senderphaseneinstellung, SLC-Kryogenik, Netzwischer usw.

Ende Oktober kam es zu einem Vakuum-Zusammenbruch im Bereich der Resonator-Strecke HERA-WL. Die Senderanlage lief zu diesem Zeitpunkt seit etwa acht Stunden mit einer Leistung von 410–430 kW. Das Vakuum-Leck wurde an einem Resonator-Abstimmstempel von Resonator Nr. 2 lokalisiert. Nach Ausbau des Stempels zeigte sich, dass er offenbar aufgrund von Überhitzung ausgebeult und auf der Oberfläche mehrere Millimeter tief aufgerissen war (Abb. 117).

Eine werkstofftechnische Untersuchung des Kupfers im Bereich der Risse zeigte, dass hier die Temperatur bis auf 1000°C gestiegen war. Die vermutete Ursache des Temperaturanstiegs sind Luftblasen, die im Stempelkopf hängen geblieben waren. Um sicherzustellen, dass zukünftig im Stempelkopf vorhandene

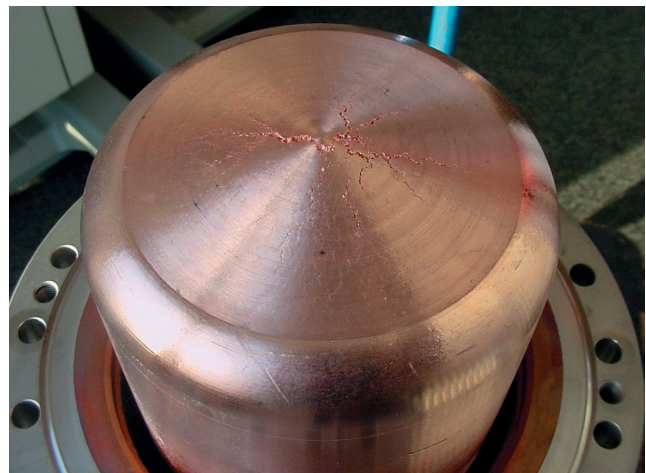


Abbildung 117: Ausgebauter Stempel mit Rissen in der Oberfläche.

Luftblasen herausgespült werden, wurde der Durchfluss von 54 l/Stunde auf 360–680 l/Stunde gesteigert – über 360 l/Stunde sind erforderlich, um bei ungünstigster Einbaulage eventuell vorhandene Luft herausspülen zu können. Zusätzlich wurden außen an den Stempel-Mänteln Temperaturfühler angebracht und in das Interlock mit aufgenommen.

Supraleitende Beschleunigungsstrecken

– MHF-sl –

Neben den normalleitenden Beschleunigungsstrecken aus Kupfer werden auch supraleitende Resonatoren im HERA-Elektronenring betrieben. Hierbei handelt es sich um 16 Resonatoren (500 MHz), die aus jeweils vier Zellen bestehen. Sie sind aus dem Metall Niob gefertigt, welches bei 9.2 K supraleitend wird. Die Betriebstemperatur des supraleitenden Resonators ist 4.2 K, die Temperatur flüssigen Heliums bei normalem atmosphärischem Druck. Eine detaillierte Beschreibung der supraleitenden Beschleunigungsstrecke ist in den früheren Jahresberichten gegeben worden.

Seit der Inbetriebnahme von HERA 1991 hat sich die Betriebszeit der supraleitenden Resonatoren auf über 60 000 Stunden aufsummiert. In dieser Zeit hat sich die Betriebszuverlässigkeit dieser Technologie erwiesen.

Das Hochspannungssystem zur Unterdrückung des Multipacting an den coaxialen Kopplern hat im Be-

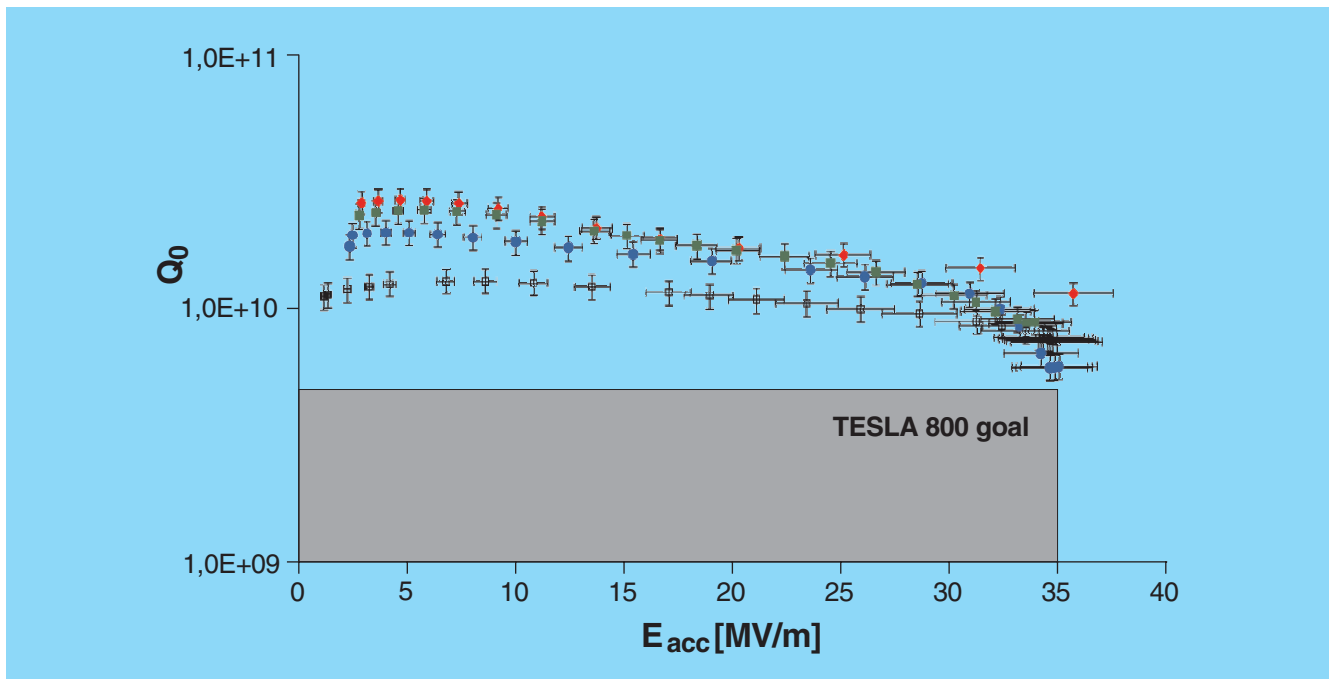


Abbildung 118: Messresultate von 9-zelligen Resonatoren nach Elektropolitur und Heizen bei 120°C . Für einen Betrieb von TESLA bei 800 GeV werden Resonatoren mit einer Beschleunigungsfeldstärke von 35 MV/m bei einer Güte von 5×10^9 benötigt.

richtszeitraum 2002 fehlerfrei gearbeitet (Mechanismus und Verbesserungen wurden in den Jahresberichten 1999 bis 2001 beschrieben), so dass ein sicherer Betrieb möglich war. Am Ende der Betriebszeit 2002 zeigt sich eine erhöhte Gasbelegung auf den kalten Oberflächen der supraleitenden Resonatoren. Dies führte zur Begrenzung des Positronenstrahlstromes durch Gasausbrüche. Verursacht wurde diese besondere Akkumulation von Gas durch die außergewöhnlich lange kalte Betriebszeit von fast zwei Jahren – bisher wurde nach spätestens einem Jahr aufgewärmt – und durch ein sehr kleines Leck zwischen dem Helium-Tank und dem Strahlvakuum an einem der supraleitenden Resonatoren. Nach dem Aufwärmen kann das desorbierte Gas abgepumpt werden. Bisher war das Leck bei Zimmertemperatur nicht nachweisbar, so dass von einer Reparatur abgesehen wurde.

Die Hauptaufgabe der Gruppe MHF-sl war die Entwicklung von supraleitenden Resonatoren für TESLA. Die Schwerpunkte waren:

- Elektropolitur (EP) als verbesserte Oberflächenbehandlung für supraleitende Resonatoren:

Wie im Jahresbericht 1999 (S. 222) beschrieben, wurde gemeinsam mit CERN, KEK und CE Saclay an einzelligen Resonatoren nachgewiesen, dass durch eine Elektropolitur Beschleunigungsgradienten über 40 MV/m erreicht werden können. In Zusammenarbeit mit KEK (Japan) wurde dieses Verfahren der Oberflächenbehandlung auf 9-zellige Resonatoren übertragen. Insgesamt hat KEK zehn Resonatoren elektropoliert. Die ermutigenden Messergebnisse sind in Abbildung 118 dargestellt. Mit Gradienten über 35 MV/m ist bei dem geplanten TESLA Beschleuniger eine Energie von 800 GeV möglich. Inzwischen wurde bei DESY der Aufbau einer eigenen Apparatur zur Elektropolitur von 9-zelligen Resonatoren in Angriff genommen. Hierdurch kann die Präparation, Reinraummontage und Messung der Resonatoren ohne lange Transportwege erfolgen.

- Infrastruktur zum Test von ein- bis dreizelligen Resonatoren:

Nachdem bereits seit 2001 die Präparations- und Testinfrastruktur in der PETRA-Halle NO routi-

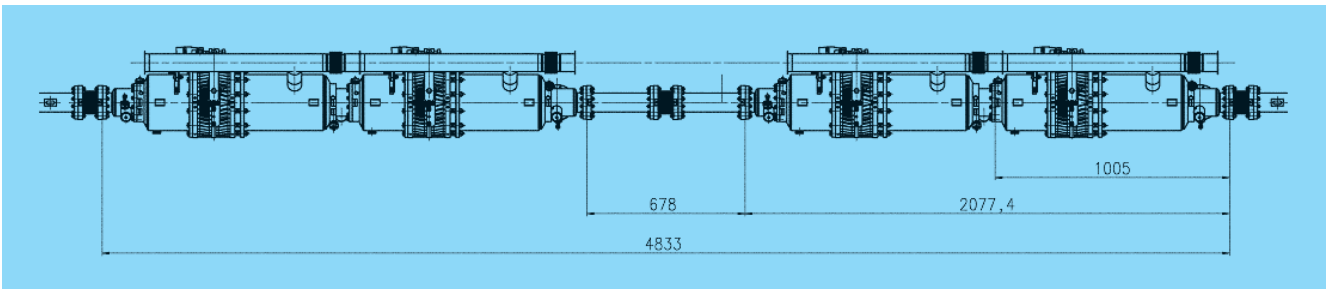


Abbildung 119: Zwei Superstrukturen, bestehend aus 7-zelligen Resonatoren.

nemäßig für die Reinigung von einzelligen Resonatoren unter Reinraumbedingungen benutzt wird, konnte Anfang 2002 auch der regelmäßige Kalttestbetrieb aufgenommen werden. Somit können – mit Ausnahme der nass- oder elektrochemischen Oberflächenabtragung – die gesamte Präparation und der Hochfrequenztest von ein- bis dreizelligen Resonatoren unabhängig von der stark belasteten TTF-Infrastruktur erfolgen. Der zusätzliche personelle Aufwand konnte durch Kollaborationspartner der Universität Peking abgedeckt werden. Die Resonatormessungen dienten unter anderem dazu, den Einfluss der Lagerung unter sauberer Luft sowie Reinststickstoff auf die erreichbare Feldstärke der Resonatoren über mehrere Monate zu untersuchen. Während saubere Luft keine Beeinträchtigung der Hochfrequenzeigenschaften bei Feldstärken über 35 MV/m und Hochfeld-Güten von über 5×10^9 hervorruft, dauern die Messreihen mit Reinststickstoff noch an. Im Herbst 2002 konnten in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer Institut IPA, Suttgart, erstmals drei einzellige Resonatoren mit Kohlendioxid-Trockeneisschnee gereinigt und anschließend mit vielversprechenden Ergebnissen getestet werden. Im Unterschied zur bewährten Spülung mit Hochdruck-Reinstwasser handelt es sich hierbei um ein trockenes Reinigungsverfahren. Die hervorragende Reinigungswirkung des Kohlendioxidschnees basiert auf der Kombination von mechanischen, thermischen und chemischen Effekten.

- Herstellung und Test von Einkopplern für supraleitende Resonatoren:

Im Rahmen der TESLA-Kollaboration wurde in LAL Orsay (Frankreich) eine Infrastruktur zum Test und zur Weiterentwicklung von Hochleistungsein-

kopplern aufgebaut. Sie besteht aus einem Reinraum, einer Reinstwasseranlage, einem Ausheizofen sowie Modulator, Klystron und Kopplerteststand. Erste „proof of principle“-Koppler für Pulsleistungen bis zu 2 MW wurden gebaut. Deren Tests stehen in Kürze an. Während bisher alle Einkoppler für die TESLA Test Facility direkt bei DESY oder doch unter enger Führung durch die DESY Arbeitsvorbereitung hergestellt wurden, ist 2002 die Produktion von 40 weiteren Kopplern direkt der Industrie übertragen worden. Der dafür notwendige Technologietransfer ist Teil der engen Kollaboration zwischen LAL und DESY.

- Strahltest der Superstrukturen in der TESLA Test Facility:

Im Januar 1999 wurde ein alternatives Layout für den TESLA Beschleuniger vorgeschlagen. Es basiert auf Superstrukturen, die aus einem Paar schwach gekoppelter 9-zelliger Strukturen bestehen. Dieses Design ist dem vorgeschlagenen Standardlayout für TESLA sehr ähnlich. Sein Hauptvorteil liegt in der bedeutenden Vereinfachung des Hochfrequenz-Verteilungssystems und der daraus folgenden Kostenreduzierung. Das neue Layout erfordert gegenüber dem Standardlayout nur halb so viele Einkoppler für den TESLA Beschleuniger. Nach dreijähriger Vorbereitung wurden im Mai 2002 zwei Prototypen der Superstruktur, die aus zwei supraleitenden 7-zelligen Resonatoren (Abb. 119) bestehen, für den Kälte- und Strahltest in die TESLA Test Facility eingebaut.

Der Test wurde bis zum 18. November 2002 durchgeführt. Seine Ergebnisse sind ermutigend und können folgendermaßen zusammengefasst werden:

- Die Beschleunigung des TTF Strahles wurde erfolgreich durchgeführt. Der stabile Energiegewinn

für alle Strahlbündel in dem HF-Puls wurde mit einer Genauigkeit von 3×10^{-4} gemessen.

- Die Unterdrückung parasitärer Moden, die durch die Beschleunigung des Strahles angeregt werden, war erfolgreich und erfüllt die TESLA Spezifikation mit einer großen Sicherheitsspanne.

Es ist beabsichtigt, in naher Zukunft 9-zellige Superstrukturen zu bauen und zu testen. Im September 2002 wurde das Kupfermodell fertig gestellt, dessen Hochfrequenzeigenschaften zur Zeit getestet werden, um die Leistung der zukünftigen Niob-Prototypen zu optimieren.

Anlagen zur Beschleunigung von Protonen – MHF-p –

Die Gruppe MHF-p ist verantwortlich für die Hochfrequenzsysteme zur Protonenbeschleunigung in den Ringbeschleunigern DESY III, PETRA und HERA, für die Entwicklungsarbeiten der HF-Systeme für den vorgeschlagenen Linear-Collider TESLA und für die HF-Systeme der TESLA Test Facility (TTF).

Während der HERA-Wartungsperiode im Jahr 2001 waren einige Änderungen der Protonen-Hochfrequenzsysteme bei HERA, PETRA und DESY III vorgenommen worden, die einen zuverlässigeren und bedienungsfreundlicheren Betrieb gewährleisten sollten.

Nach dem erfolgreichen Anlauf von HERA im Jahr 2001 bestand die Hauptaufgabe im Jahr 2002 in einem Feinabgleich der Systeme, um wieder hohe Strahlintensitäten beschleunigen zu können. Nach dem Abgleich war es möglich, Strahlströme zu beschleunigen, die vergleichbar sind mit denen vor Beginn der Wartungsperiode. Aufgrund anderer Prioritäten beim HERA-Betrieb wurden hohe Intensitäten allerdings nur selten benötigt.

Daneben wurden verschiedene Wartungsarbeiten bei den Protonen-Hochfrequenzsystemen durchgeführt. Bei DESY III wurden einige Elektronikeinschübe zur HF-Regelung überarbeitet sowie eine Röhre der Senderendstufe getauscht. Bei PETRA wurden neue Transientenrekorder installiert. Diese erwiesen sich sofort als hilfreich, um einen Fehler in einem der 52 MHz-Systeme zu diagnostizieren und zu beheben, der eine fehlerhafte Bunchrotation zur Folge hatte und bei sehr

hohen Strahlströmen die Ejektion nach HERA erschwerte. Bei HERA musste als größte Maßnahme die komplette Endstufe eines 208 MHz-Systems inklusive Endstufenröhre getauscht werden.

Für HERA und PETRA wurden die Arbeiten zur Bereitstellung von jeweils einem 52 MHz-Ersatzresonator inklusive Senderendstufe fortgesetzt. Die Resonatoren wurden Ende des Jahres 2002 vom Hersteller geliefert und müssen nun mit verschiedenen Einbauten, wie zum Beispiel Tuner-, Koppel- oder HOM-Loops, versehen werden. Ein Großteil der Arbeiten für die zugehörigen Senderendstufen konnte abgeschlossen werden.

Das andere Hauptarbeitsgebiet umfasst die Hochfrequenzsysteme für TESLA bzw. für TTF. Dazu gehören Hochspannungspulsgeneratoren, so genannte Modulatoren, Klystrons, Hohlleiterverteilungen und die Hochfrequenzregelung.

In der ersten Jahreshälfte 2002 wurde TTF mit zwei Kryomodulen mit 16 Resonatoren für FEL- und Hochgradiententests betrieben. Zur Hochfrequenzversorgung wurden ein 5 MW Klystron und Modulator verwendet sowie ein weiteres 5 MW Klystron und Modulator für die RF-Kanone. Die Feldstabilität in den Resonatoren erfüllte dabei die Anforderungen, was auch mit Hilfe des Strahls verifiziert wurde. Eine Exceptionhandling-Prozedur erlaubte einen stabilen Betrieb. Während des Umbaus bei TTF, bei dem ein neues Kryomodul mit acht Resonatoren und ein weiteres mit zwei Superstrukturen (2×7 Zellen) an Stelle der beiden vorhandenen Kryomodule installiert wurde, mussten die Hohlleiterverteilungen und Hochfrequenzregelungen angepasst werden. Zudem wurden ein weiteres 5 MW Klystron und Modulator zur Versorgung des Superstrukturmoduls bereitgestellt, die bisher für Tests einzelner Resonatoren genutzt wurden. Während der Tests der neuen Module wurde ein Modul über mehrere Wochen bei hohen Gradienten betrieben und das Verhalten der Superstrukturen, insbesondere auch deren Regelungsverhalten, untersucht. Das RF-Feedback funktionierte sowohl mit Bandpassfiltern zur Unterdrückung von unerwünschten Passbandmoden als auch ohne diese Filter.

Nachdem in den letzten beiden Jahren die neu entwickelten Multibeam-Klystrons erfolgreich getestet worden waren, musste im letzten Jahr eines der Klystrons an den Hersteller zurückgeschickt werden, da sich

nach längerem Betrieb Probleme bei der Hochspannungsfestigkeit ergaben. Zur Analyse wurden umfangreiche Messungen an mehreren Multibeam-Klystrons bei DESY durchgeführt. Später konnten die Ergebnisse auch vom Hersteller verifiziert werden. Die Ergebnisse geben wichtige Hinweise auf die Ursachen der aufgetretenen Probleme und die Möglichkeit ihrer Beseitigung.

Der Aufbau von zwei Hochspannungsmodulatoren, die für den Betrieb von TTF in der Phase 2 benötigt werden, wurde weitergeführt. Mit einem der beiden Modulatoren war es möglich, ein Multibeam-Klystron bei maximalen Betriebsparametern zu betreiben.

An den älteren Modulatoren war die Repetitionsrate auf 5 Hz statt der gewünschten 10 Hz begrenzt. Um die neuen Systeme für TTF verwenden zu können, müssen die auf Basis von FPGAs (Field Programmable Gate Array) neu entwickelten RF-Interlock- und Kontrollsysteme noch installiert werden. Diese Systeme sind auch die Grundlage für die für TESLA geplanten RF-Interlock- und Kontrollsysteme. Diese Arbeiten werden in Zusammenarbeit mit DESY-Zeuthen durchgeführt.

Zusätzlich wurde begonnen, den Einsatz von FPGAs für die digitale RF-Regelung von TESLA zu untersuchen, da sich eine höhere Zuverlässigkeit und Kostenersparnis ergeben könnte. Hier gibt es eine Zusammenarbeit mit dem Institute for Electronic Systems in Warschau, Polen.

Des Weiteren wurde ein neues DSP-Board entwickelt, um die bisher eingesetzte Technologie durch leistungsfähigere und kompaktere, zuverlässigere Elektronik zu ersetzen. Ein speziell entwickeltes Gigalink Interface verbindet die existierenden ADC-Boards mit dem DSP. Ein einziger C67 DSP kann 36 Resonatoren regeln und wird bereits für TTF eingesetzt. Die Arbeiten an Referenzoszillator und Phasenreferenzverteilung wurden fortgesetzt. Der TTF FEL-Betrieb hat gezeigt, dass eine Stabilität von 0.1 Grad (bei 1300 MHz) erforderlich ist. Der Referenzoszillator muss zusätzlich die Frequenzen von 2.856 GHz für einen S-Band Resonator und 13.5 MHz für den Laser der RF-Kanone zur Verfügung stellen. Nach derzeitiger Planung wird die Verteilung aus einer Kombination von koaxialer- und Faseroptik-Technologie bestehen. Für das Electro-Optical-Sampling-Experiment

konnte der Titan-Saphir-Laser auf 100 fs (rms) synchronisiert werden. Der Piezo-Tuner zur Integration mit dem Saclay-Frequenzuner wurde entwickelt. Ein Konzept zur aktiven Unterdrückung von Mikrophonie wurde entwickelt und in Kollaboration mit dem INFN Legnaro (Italien) an einem supraleitenden Viertelwellenresonator erfolgreich erprobt.

Verschiedene Untersuchungen und Entwicklungsarbeiten von 1.3 GHz Hohlleiterkomponenten wurden durchgeführt. Hier sind besonders ein neu entwickeltes RF-Fenster und ein Hochleistungsisolator zu erwähnen, die für 5 MW RF Leistung (1.5 ms Pulsdauer, 10 Hz Repetitionsrate) auch bei voller Leistungsreflexion geeignet sind. Während der Isolator von einem russischen Hersteller stammt und bei DESY getestet und abgeglichen wurde, wurde das Fenster bei DESY entwickelt.

Software und Technik zur Kontrolle von Beschleunigern –MST–

Die Gruppe MST betreibt die Kontrollsysteme der Beschleuniger LINAC II/III, DESY II/III, DORIS, PETRA und HERA sowie der dazugehörigen Strahltransportwege. Hierzu entwickelt und betreut sie Software und betreibt ein umfangreiches Netzwerk mit über 500 angeschlossenen Rechnern. Darüber hinaus unterhält sie ein Entwicklungs- und Servicelabor für prozessorgesteuerte Kontrollen und ist verantwortlich für die Technik und den Betrieb der Personenschutzeinrichtungen im Rahmen des Beschleunigerstrahlenschutzes.

Rechnergestützte Beschleunigerkontrollen

HERA: Aufgrund der unerwartet schwierigen und langwierigen Wiederinbetriebnahme des HERA-Beschleunigers lag der Schwerpunkt der Arbeiten für Softwareentwicklung und Betrieb naturgemäß bei HERA. Die automatischen Prozeduren des so genannten Sequenzers wurden verbessert und erweitert, die Möglichkeit, Fehleinstellungen zu erkennen, ausgebaut sowie die Auswirkungen vielfältiger Störeinflüsse auf die Strahloptik systematisch erfasst und in die Bedienungsprozeduren eingearbeitet. Es wurden zusätzliche

Korrekturmöglichkeiten, zum Beispiel zur Untergrundunterdrückung in den Wechselwirkungszonen, implementiert sowie zusammen mit der Gruppe MDI die Qualität und Nutzbarkeit der e-Orbitmessung durch eine optimierte Signaldämpfung und eine Erhöhung der Ausleserate verbessert.

Als unverzichtbar erwies sich die Einführung einer speziellen, automatischen Korrekturroutine, die störende Einflüsse auf den Positronenstrahl während der Beschleunigung und während des Schließens des ZEUS-Kalorimeters kompensiert.

Darüber hinaus wurden die Möglichkeiten erweitert, Informationen aus dem Kontrollsystem zu extrahieren, um diese unter anderem mit wissenschaftlichen Spezialprogrammen zu analysieren oder Messserien beispielsweise zur Ermittlung einer so genannten Orbit-Response-Matrix zu steuern.

Viele Kontrollprogramme, wie zum Beispiel zur Datenarchivierung, zur Messung und Darstellung der gespeicherten Strahlströme oder zur Festlegung der Betriebszustände, wurden gepflegt und kontinuierlich verbessert. Die Fähigkeit zur automatischen Fehlererkennung und Fehleraufzeichnung wurde ausgebaut. Die seit langer Zeit vorbereitete Umstellung der PETRA-HERA Transfersteuerung für Protonen sowie der HERA e/p-Synchronisation auf moderne Rechnersysteme konnte zusammen mit der Gruppe MSK erfolgreich durchgeführt werden.

Die nahtlose Integration von technischen Subsystemen mit eigenen Kontroll- und Steuersystemen in das HERA-Kontrollsystem wurde fortgesetzt. So sind jetzt die Informationen über das Kryosystem, die Wasserkühlung oder die Klimatisierung, das Protonen-Vakuumsystem oder die supraleitenden Beschleunigungsstrecken bei HERA direkt eingebunden.

Das beim Betrieb des TTF-Beschleunigers benutzte elektronische Logbuch wurde in Zusammenarbeit mit der Gruppe MVP für den HERA-Betrieb adaptiert und erfolgreich eingeführt.

Vorbeschleuniger und DORIS: Basierend auf den Erfahrungen der Umstellung des PETRA-Kontrollsystems auf Windows NT im vergangenen Jahr, bei der einerseits bewährte Elemente beibehalten wurden, aber auch zusätzlich neue Techniken zum Einsatz kamen, wurde die Umstellung der Kontrollsysteme und der

Kontrollprogramme der Injektoren, der Synchrotrons und des DORIS-Speicherrings fortgesetzt. In diesem Zusammenhang wurde, auch in Zusammenarbeit mit der Gruppe MSK, veraltete Spezialelektronik sowie deren Ansteuerung erneuert, um auf diese Weise die Betriebsbereitschaft der betroffenen Beschleuniger für weitere Jahre zu sichern. Dem gleichen Zweck diene auch die im Berichtsjahr fortgeführte Portierung der DESY III Magnet- und Hochfrequenzsteuerung auf moderne VME-Systeme. Alle diese Änderungen konnten nur in den kurzen Serviceunterbrechungen des Beschleunigerbetriebs eingebracht werden und mussten danach sofort verlässlich einsatzbereit sein.

Systemsoftware: Das Herzstück eines Kontrollsystems ist die Systemsoftware, die eine Kommunikation bzw. eine Transaktion zwischen den verteilten Rechnersystemen des Kontrollsystems erlaubt. Zu diesem Zweck wurde in der Gruppe MST vor einigen Jahren das plattform-unabhängige „Threefold Network Environment“ (TINE) entwickelt. Dieses hauptsächlich im HERA Kontrollsystem verwendete Softwarepaket wird seither kontinuierlich erweitert und neuen Anforderungen angepasst.

Im Berichtsjahr wurde TINE um die einzigartige und neuartige Möglichkeit erweitert, Informationen im so genannten Multicast-Betrieb mit hoher Bandbreite zu übertragen. Diese Technik setzt eine moderne, strukturierte Netzwerkinfrastruktur voraus und erlaubt, gezielt Daten von unterschiedlichen Quellen gleichzeitig an alle Kunden in einzelnen Netzwerksegmenten zu senden. Ein typischer Einsatzbereich ist die Übertragung von Videosequenzen. Zusammen mit DESY Zeuthen wurde am dortigen Photoinjektor-Teststand PITZ ein Leistungstest durchgeführt, bei dem es gelang, im Multicast-Betrieb über TINE unkomprimierte Videobilder mit einer Rate von 4.5 MByte/s zwischen den Kontrollrechnern zu übertragen. Generell wurde die Zusammenarbeit mit der Kontrollgruppe von PITZ auch auf anderen Gebieten intensiviert.

Infrastruktur: Die im vergangenen Jahr begonnene Erneuerung des Kontrollsystem-Intranets wurde fortgesetzt. In den vier externen HERA Experimentier- und Zugangshallen wurden die Verkabelung und die Netzwerkkomponenten erneuert, um den gestiegenen Ansprüchen einer modernen und breitbandigen Datenkommunikation gerecht zu werden. Bei den Kontrollsystemen von Vorbeschleunigern und DORIS musste

eine großer Anteil der Kontrollrechner technisch für die Betriebssystem-Umstellung vorbereitet werden. Ferner wurden Erfahrungen mit neuen, industriellen Crate- und Busstandards gesammelt, um einen Standard für Front-End-Systeme festlegen zu können, welche MST zukünftig unterstützen wird.

R&D-Aktivitäten: Großes Gewicht wurde im Berichtsjahr auf Studien mit dem Ziel gelegt, Erfahrungen auf dem Gebiet plattformunabhängiger bzw. Web-fähiger Kontrollsysteme sowie sprachenneutraler Software zu sammeln. Die Zusammenarbeit mit dem Jozef Stefan Institut (Slowenien) wurde fortgesetzt und eine auf JAVA basierende Entwicklungsumgebung für Beschleunigerkontrollsysteme implementiert, die auf einem objektorientierten Beschleunigerkomponenten-Modell beruht und das Kontrollsystemprotokoll TINE als so genannte JAVA Bean beinhaltet. Ebenfalls weitergeführt wurde die Zusammenarbeit mit dem IHEP Protvino (Russland). Im Rahmen dieser Arbeiten entstand ein so genanntes Rendering-Programm, das es erlaubt, auf der Basis von XML Strukturen in automatisierter Weise funktionsgleiche, graphische Beschleunigerkontrollapplikationen sowohl in JAVA als auch in Visual Basic zu erzeugen.

Global Accelerator Network (GAN): Die Gruppe MST beteiligte sich im Berichtsjahr in aktiver Weise an den weltweit begonnen Diskussionen über die Realisierungsmöglichkeiten eines Global Accelerator Networks, das eine Globalisierung des Beschleunigerbetriebs und der Beschleunigerkontrollen im Rahmen eines zukünftigen, großen und internationalen Beschleunigerprojekts vorsieht. Mehrere Gruppenmitglieder präsentierten auf Workshops Erfahrungen und Ideen und unterstützten die bei DESY zu diesem Thema gegründete Arbeitsgruppe. Darüber hinaus stellte die Gruppe MST ein Softwaresystem zur Orbitmessung zur Verfügung, das am Photoinjektor A0 am Fermilab (USA) zum Einsatz kommt. Die A0 Anlage wird im Rahmen der TESLA Kollaboration betrieben und dient unter anderem als Testplatz für spezielle Aspekte des GAN Modells.

Prozessorgesteuerte Beschleunigerkontrollen

Prozessorgesteuerte Elektronik kommt im Bereich der Beschleunigerkontrollen in großer Stückzahl zum Ein-

satz. So mussten im Berichtsjahr über dreitausend Controller verbessert, gewartet und gegebenenfalls repariert werden.

Zur Ansteuerung der gepulsten Magnete aller DESY-Beschleuniger wurden ein neuer Kontrollertyp sowie Controller mit Spezialfunktionen, die bei PETRA zum Einsatz kommen, entwickelt. Für TTF2 werden eine große Anzahl neuer Controller zur Steuerung der Magnetnetzgeräte benötigt. Die Fertigung von kompletten Geräten unterschiedlichster Bauart bzw. von Teilmodulen wurde in Angriff genommen. Die im letzten Jahr bereits begonnene Entwicklung einer 18 Bit Istwerterfassung konnte abgeschlossen werden. Bei dieser Form der Istwerterfassung erfolgt die Digitalisierung des gemessenen Magnetstromwertes bereits im Netzgerät, so dass zum Controller keine analogen Spannungssignale mehr übertragen werden müssen, wodurch die Messgenauigkeit erhöht wird.

Darüber hinaus wurde für den Einsatz bei TTF2 ein neuer Netzgeräte-Kontrollertyp entwickelt. Im Rahmen eines gemeinsamen Projekts mit der Gruppe MKK zur Neuentwicklung eines Netzgerätes mit digitaler Regelung wurde der neue Controller direkt in das Magnetnetzgerät integriert. Zentrale Elemente dieses Controllers sind ein Mikroprozessor und ein FPGA-Baustein. Als externe Schnittstellen stehen eine serielle Schnittstelle und eine CAN-Schnittstelle zur Verfügung. Eine PC104 CPU mit Linux als Betriebssystem stellt die Verbindung zum Kontrollsystem her oder übernimmt die Funktion eines so genannten Internet Appliance mit beispielsweise eigenem Web-Server. In weiteren Entwicklungsschritten ist vorgesehen, die Funktionen des Mikroprozessors sowie des „embedded“ PCs direkt im FPGA-Baustein abzubilden.

Personenschutzeinrichtungen

Die gesetzlich vorgeschriebenen und jährlich zu prüfenden Personenschutzeinrichtungen im Rahmen des Beschleunigerstrahlenschutzes werden an allen DESY-Beschleunigeranlagen von der Gruppe MST betrieben, bei Bedarf erweitert oder umgebaut sowie regelmäßig gewartet. Insbesondere wurden im Berichtsjahr die Kommunikationsmöglichkeiten zwischen dem Kontrollraum und den Sprechstellen an den Interlock-

türen sowie die Überwachung der Warndurchsagen verbessert.

Die seit längerer Zeit stattfindenden Entwicklungsarbeiten für ein neues Interlocksystem wurden fortgesetzt. Dieses System vereint konventionelle Sicherheitslogik, basierend auf zwangsgesteuerten Relais, mit programmierbarer Computerüberwachung. Das neue Interlocksystem zeichnet sich durch ein sehr modulares Designprinzip aus. Der Verkabelungsaufwand konnte deutlich verringert werden. Das Interlocksystem für den Hochfrequenzbetrieb der Modulatoren bei TTF konnte bereits auf der Basis der neuen Interlocktechnik realisiert werden. Die Erneuerung des Türeninterlocks der ältesten Beschleunigeranlagen bei DESY in neuer Technik wird vorbereitet.

Diagnose und Instrumentierung – MDI –

Die Gruppe MDI ist zuständig für die Erfassung und Untersuchung der Strahleigenschaften in nahezu allen Beschleunigern und Speicherringen bei DESY. Dazu gehören neben der Analyse von Strahlage, Strahlströmen und Strahlprofilen auch die Messung der Strahlverluste und das Kollimieren der Strahlen, was für den Schutz der Experimente und der supraleitenden Magnete bei HERA von außerordentlicher Wichtigkeit ist.

Bei HERA wurden weitere neue vertikale Kollimatoren und die dazugehörigen Vakuumkammern von MDI entwickelt und nahe den Experimenten eingebaut (Abb. 120) und in Betrieb genommen. Zur gleichzeitigen Beobachtung der Strahlposition von Positronen und Protonen direkt in den Wechselwirkungspunkten von HERA wurden Spezialelektroniken für die Positionsmontore gebaut und erfolgreich in Betrieb genommen. Dadurch vereinfachte sich die Einstellung der Luminosität beträchtlich. Die Strahlage-Messelektronik in den geraden Strecken in HERA-e wurde weiter modernisiert. Zur Verbesserung der Strahllagemessung im gesamten Elektronenring wurden in Zusammenarbeit mit CERN und DESY-MPY die nichtlinearen Effekte der Messstationen analysiert und in der Auslesesoftware korrigiert. Damit wurde eine genauere Absolutmessung der Ablage erreicht, was insbesondere an den

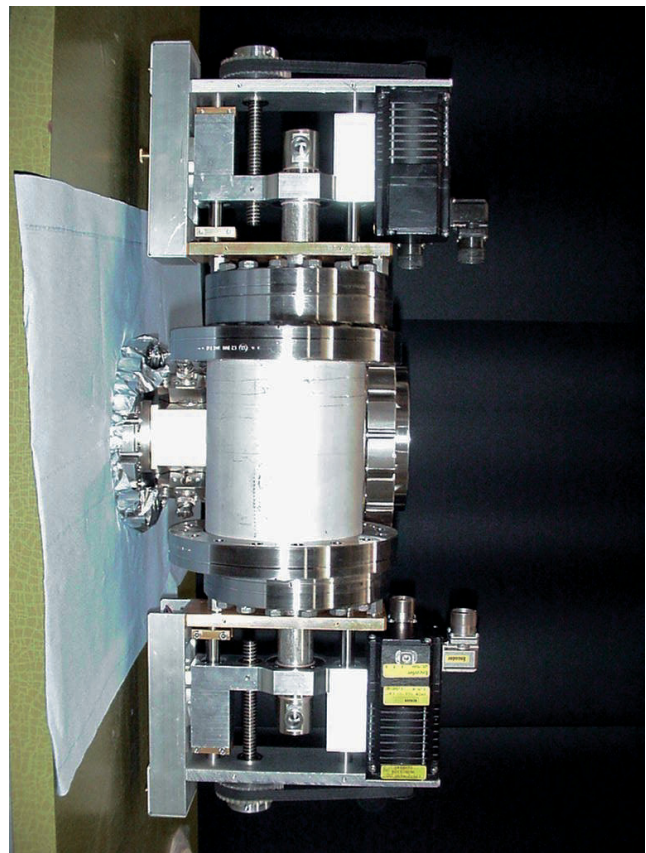


Abbildung 120: Vertikaler Kollimator in HERA SL06.

Stationen in der Nähe der Wechselwirkungspunkte aufgrund der dort herrschenden großen Nominalablagen von Bedeutung ist.

Die Positronenstrahlage in den Wechselwirkungszonen kann auch durch Synchrotronstrahlungs-Schirmmonitore präzise beobachtet werden. Durch den sehr hohen Strahlungsuntergrund an der Position der Schirmmonitore erleiden die Videokameras recht schnell Strahlungsschäden, weshalb Verbesserungen der Abschirmungen und der Kamera (Einsatz einer Röhrenkamera) vorgenommen worden sind.

Alle Wirescanner in den Ringbeschleunigern wurden nach der Beseitigung eines komplizierten Fehlers in der Betriebssystem-Konfiguration erfolgreich in Betrieb genommen und werden nun standardmäßig zur Bestimmung der Strahlemittanzen eingesetzt. In Zusammenarbeit mit dem IHEP Protvino wurde für HERA-e eine neue Position für den Photomultiplier in größerer

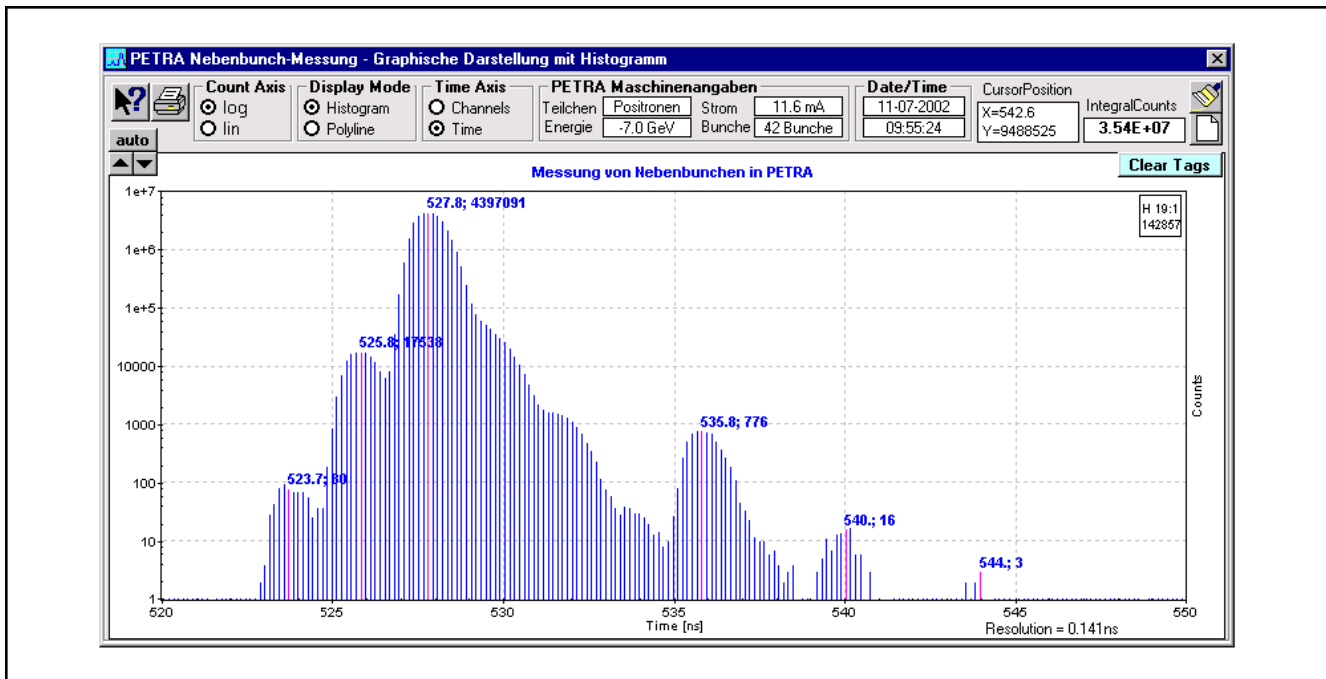


Abbildung 121: Beispiel einer weiteren Nebenbunchmessung mit kleinem PIA-Strom. Zu erkennen ist ein 8 ns-Nebenbunch aus einer Fehl-Anpassung PIA-DESY (DESY 500 MHz, PIA 125 MHz).

Entfernung vom Wirescanner und eine neue Form für das Szintillator-Paddle erarbeitet und getestet, was eine deutlich verbesserte Signal-Qualität zur Folge hatte. Durch Hardware- und Software-Erweiterungen sind Bunch-selektive Wirescans für HERA-e und HERA-p ermöglicht worden, für die anderen Beschleuniger sind diese Erweiterungen vorgesehen. Versuche, die Zugkraft der auf einer Keramik-Gabel gespannten sehr dünnen (7 μm Durchmesser) Kohle- und Quarz-Fäden mit Hilfe einer akustischen Anregung zu bestimmen, wurden erfolgreich durchgeführt.

Die Strahl-Instrumentierung in den Vorbeschleunigern wurde weiter ergänzt. Für PETRA wurde zusammen mit HASYLAB eine präzise und schnelle Nebenbunchmessung mit einer Auflösung von etwa 0.3 ns aufgebaut, um die Besetzung der HF-Buckets in weniger als einer Minute auf weniger als 1 ppm der Intensität des Hauptbunches zu bestimmen. Nach Abschluss mehrerer Umbauarbeiten am Detektor – verschiedene Abschirmänderungen der APD, Verlagerung der Detektorelektronik und Austausch der Diode – konnten präzise Nebenbunchstudien gemacht werden (Abb. 121).

Ein weiterer ähnlicher Aufbau ist für DORIS geplant.

Für DORIS wurden neue Strahlage-Messmodule für eine deutlich verbesserte Orbitmessung und für hoch auflösende Strahlageschwingungsmessungen entwickelt und erfolgreich in Betrieb genommen, ebenso wie ein neues verbessertes Trigger-Modul für zeitgleiches, bunchsynchrones Triggern aller BPM (Beam Profile Monitor) Messkanäle zum Synchronisieren aller Orbit-Messwerte. Alle Delay-Lines an den Strahlage-Monitoren in DORIS wurden gegen verbesserte Versionen ausgetauscht.

Für die Einzelbunch-Strommessung in DORIS wurden neue Hardware (Analogsignalaufbereitung, ADC-Board und Triggerelektronik) und ein NT-Server entwickelt und erfolgreich getestet. Einzelne Device-Server für Gleichstrommessung (DCCT) wurden auf NT umgestellt.

Das bestehende Interlock-System der Strahlführung für HASYLAB wurde weiter aktualisiert, und es wurden neue Monitorelektroniken für die Fotoemissi-

onsmonitore in weiteren Strahlrohren installiert und in Betrieb genommen. An dem DORIS-Strahlrohr E wurde ein komplett neu konstruierter Monitor eingebaut, der wesentlich besseres thermisches Verhalten zeigt. Es wurden umfangreiche Tests mit diesem Monitortyp unternommen, der bei Erfolg die alten Typen in den nächsten Jahren ersetzen soll. Das Strahlrohr-Temperatur-Messsystem wurde für den Einsatz an allen Beschleunigern erweitert und die Software wurde optimiert.

Für die HERA Injektionswege wurden neue Einzelbunch-Strommessungen für Bunchsignale entwickelt und deren Darstellung im Kontrollsystem ermöglicht.

Der Strahlbetrieb von TTF wurde durch Operateure von MDI und durch technische Maßnahmen unterstützt. Für die Suche nach den 18 ns-Sprüngen des Lasers der TTF-Kanone wurde ein Phasendetektor gebaut. Die Online-Dosimetrie mit Hilfe von Lichtwellenleitern wurde in Zusammenarbeit mit MPY und dem Hahn-Meitner-Institut in Berlin und dem Fraunhofer-Institut in Euskirchen weiter unterstützt. Das Toroidsystem und das Maschineninterlocksystem wurden an die unterschiedlichen Betriebsmodi von TTF ständig angepasst. Die für die Strom-Monitore in TTF2 vorgesehene Elektronik (Verstärker, Filter) wurde in TTF eingebaut und erfolgreich getestet. Bei den Wirescannern waren die ersten Versuche für schnelle Abstimmungen erfolgreich, der Draht trifft den Strahl reproduzierbar zum richtigen Zeitpunkt. Damit kann bei Bedarf das komplette Strahlprofil innerhalb eines Makropulses gemessen werden. Im Rahmen des Superstruktur Projektes wurden in Zusammenarbeit mit anderen DESY Gruppen strahlbasierte HOM-Studien durchgeführt.

Für TTF2 wurden wesentliche Entwicklungsarbeiten zur Strahlinstrumentierung – Strahlintensität, Strahl-lage und Strahlphase – abgeschlossen und die Fertigung betreut. Ein wichtiger Bestandteil dieser Aktivitäten war die Zusammenarbeit mit anderen externen und internen Gruppen. Das OTR Vorhaben wurde von INFN Frascati weiter unterstützt, das Projekt „Toroid-e für TTF2“ von Saclay und die Entwicklung der Strahlverlustmonitore von der DESY-Gruppe FE.

Für das Maschineninterlocksystem von TTF2 wurde bei MDI die Entwicklung der „Beam Interlock Concentrator“ (BIC) Module gestartet, die alle Alarmsignale der technischen Komponenten sammeln und schnell an das

Interlocksystem weiterleiten. TTF2 erhält damit neben einem schnellen Schutzsystem auch einen eindeutigen Hinweis auf technische Fehler von Komponenten.

Die meisten der Strahllagemonitore in TTF2 werden fest in die Quadrupole eingebaut. Ein Teststand zum Messen der Abweichung der Monitorachse von der magnetischen Achse des Quadrupols wurde aufgebaut und in Betrieb genommen. Die Entwicklung eines Phasenmonitors mit einer Auflösung von etwa 5 ps wurde weitgehend abgeschlossen. Eine kapazitive, koaxiale Ringantenne liefert unabhängig von den Strahlparametern ein differenzielles und sehr breitbandiges Signal, welches für präzise Phasen- und TOF-Messungen genutzt werden kann. Für die Wirescanner in TTF2 wurden neue Keramik-Gabeln mit einer Spannvorrichtung für drei Drähte entwickelt und konstruiert. Ein neuer schlupffreier Kugelspindel-Antrieb für die Scanner wird zur Zeit noch untersucht.

Für die Untersuchung der Dunkelstromeigenschaften der supraleitenden Beschleunigungsmodule bei TTF und TESLA wurde die Konstruktion eines „Cryogenic Current Comparator“ zusammen mit GSI (Darmstadt) in diesem Jahr abgeschlossen und mit der Fertigung wurde begonnen. Das SQUID Auslesegerät inklusive der Elektronik wurde in der Friedrich Schiller Universität in Jena fertig gestellt und zur Übergabe an DESY vorbereitet.

Der ständige Ausbau, die Wartung und die Dokumentation der Lichtleiter-, Koaxial- und Steuer-Kabelnetze in allen Beschleunigeranlagen wurden von der Gruppe MDI in Zusammenarbeit mit externen Firmen zuverlässig weitergeführt.

Die Entwicklung und der Service von Spezialmonitoren und die Zusammenarbeit mit auswärtigen Instituten wurden von MDI weitergeführt. Zusammen mit dem Forschungszentrum Rossendorf (FZR) wurde für PETRA ein Konzept für ein neues Strahlverlustmonitorsystem aus luftgefüllten Koaxialkabeln erstellt und erste erfolgreiche Messungen vorgenommen. Ebenfalls bei PETRA entsteht in Zusammenarbeit mit dem Yerevan Physics Institute (Armenien) eine neue und sehr empfindliche Messapparatur zur Untersuchung von Strahlprofilen fern vom Strahlzentrum. Teile des Beschleunigers A0 bei Fermilab (USA) wurden mit von MDI entwickelter Strahl-lage-Messelektronik ausgerüstet; diese wurde unter Mithilfe von MDI Mitarbeitern

installiert und erfolgreich in Betrieb genommen. Die Zusammenarbeit mit dem IHEP (Moskau) wurde weiter intensiviert. So wurden von IHEP entwickelte neuartige Fingermonitore zur Beobachtung der Synchrotron-Strahlprofile in den HERA-Wechselwirkungszonen erfolgreich in Betrieb genommen, ein Monitor zur Beobachtung von Strahlbreiten-Injektionsschwingungen weiterentwickelt und neue „stand alone Frame Grabber“ projektiert.

Strahlkontrollen – MSK –

Die Gruppe MSK ist zuständig für spezielle Kontroll- und Instrumentierungsaufgaben im Zusammenhang mit der Strahldynamik in HERA und in den Vorbeschleunigern sowie für die TESLA Test Facility. Dazu gehören die folgenden Aufgabenschwerpunkte:

- Transfersteuerung und Synchronisation bei der Teilcheninjektion,
- Markersysteme und Triggererzeugung,
- HF-Ansteuerung von Vorbeschleunigern und HERA,
- Strahlfeedback an allen Beschleunigern,
- Messung longitudinaler Strahlschwingungen,
- Messung der Q-Werte durch Analyse der transversalen Strahlschwingungen,
- Magnetstromsteuerung für DESY II und III,
- Frequenzsteuerung für die HF der Protonenmaschinen.

Im vergangenen Jahr wurden im Wesentlichen folgende Einzelaufgaben bearbeitet:

Linac Trigger Generator: Zur Verteilung der Bunche aus PIA an die Zielmaschinen DORIS, PETRA und HERA ist eine jitterfreie Triggererzeugung für diverse gepulste Komponenten erforderlich. Sie ist Voraussetzung dafür, dass die Transmission nach DESY II zeitlich stabil ist und dort keine unerwünschten Nebenbunche entstehen. Die teilweise extremen Anforderungen konnten mit dem alten Triggergenerator nicht befriedigend erfüllt werden. Es war vermehrt zu Betriebsstörungen gekommen. Mit höchster Priorität wurde deshalb an der Fertigstellung eines neuen Generators gearbeitet, der mit einem neuen Konzept ausgestattet ist, das

eine höhere Stabilität erwarten lässt. Dies wurde nach der Inbetriebnahme in vollem Umfang bestätigt.

Magnetstrom- und Frequenzsteuerung für DESY III: Die Anpassung an das HERA-Kontrollsystem auf der Benutzeroberfläche wurde unter Federführung der Gruppe MST fortgesetzt.

HERA Timingsystem HIT: Zur Verbesserung der Betriebssicherheit wurde ein neues Timingmodul entwickelt, mit dem es möglich ist, HIT Setups durchzuführen, ohne den automatischen Strahldump auszulösen. Ein neues LWL Übertragungsmodul für das weitverzweigte Markersystem wurde ebenfalls bereitgestellt.

BKR Instrumentierung: Für DORIS wurde eine Tune Mess- und Regelvorrichtung mittels spektraler Analyse der Multibunch Feedback-Signale entwickelt.

Schnelles Feedback für TTF: Neben Weiterentwicklungen von Hard- und Software der Strahlregelung für TTF wurde ein Prototyp eines Hochleistungs-Pulsverstärkers für das TTF Feedback entwickelt. Der endgültige Verstärker wird für jeden Bunch im Bunchzug eine individuelle Pulsleistung von etwa 4.5 kW erreichen. Erste Tests wurden erfolgreich abgeschlossen. Ein weiteres Merkmal des Pulsverstärkers ist der mit dem Linac synchronisierte Standby-Modus, wodurch erheblich geringere Verlustleistungen sowie kleinere Geräteabmessungen und wesentliche Kostensenkungen erzielt werden können.

Quenchüberwachung

Die Projektgruppe „Quenchüberwachung“ besteht aus Mitgliedern der M-Bereichsgruppen MST, MDI, MVP und MKS sowie der F-Bereichsgruppe FEB. Die Aufgabe der Gruppe besteht darin, das Quenchüberwachungssystem des HERA-Protonenrings weiterzuentwickeln und zu betreuen. Von einem Quench spricht man, wenn ein supraleitender Magnet, zum Beispiel durch einen Energieeintrag bei einem Strahlverlust, schlagartig in den normalleitenden Zustand übergeht. Das Quenchüberwachungssystem sorgt unter anderem dafür, dass der Strom in der betroffenen Magnetspule von Schutzdioden übernommen wird, bis der Strom abgeschaltet ist. Auf diese Weise wird die Zerstörung der Spule verhindert.

Das Quenchüberwachungssystem der HERA-p Hauptmagnete verhielt sich im Berichtsjahr ausgesprochen unauffällig. Die Projektgruppe Quenchüberwachung führt dieses erfreuliche Verhalten auf die regelmäßige, präventive Wartung der Anlagen und auf eine systematische und rigorose Fehlerbeseitigung zurück. Durch den Einbau neuer supraleitender Magnete mit einer eigenen Quenchüberwachungselektronik in den Wechselwirkungszone von H1 und ZEUS im Rahmen des HERA Projekts zur Erhöhung der Luminosität hatte sich das Aufgabengebiet der Projektgruppe im vorigen Jahr erweitert. Im Laufe der langwierigen Wiederinbetriebnahme von HERA stellte sich im Berichtsjahr heraus, dass vor allem bei kleinen Magnetströmen oder bei der Umpolung des Magnetstroms externe Störungen wie Reglersprünge oder Veränderungen in äußeren Magnetfeldern über magnetische Induktion in den Spulen einen unechten Quenchalarm in der Überwachungselektronik auslösen konnten. Nach einer umfangreichen Ursachenanalyse konnte dieses unerwünschte Verhalten der Elektronik erfolgreich unterdrückt werden.

Vakuum – MVA –

Die Vakuumsysteme der Beschleuniger HERA-e, PETRA, DORIS, LINAC II, LINAC III, PIA sowie DESY II werden von der Gruppe MVA betrieben und weiterentwickelt. Schwerpunkte waren für die Gruppe im Jahr 2002 die Verbesserung der Vakuumbedingungen in den HERA-Wechselwirkungszone, die Fertigung von Komponenten für TTF2 sowie diverse Entwicklungsarbeiten für TESLA.

HERA

Nach den Arbeiten zur Erhöhung der Luminosität ergaben sich Probleme durch hohe Untergrundraten in den Detektoren ZEUS und H1, über die im Kapitel HERA (S. 184ff) ausführlich berichtet wurde. Ein wesentlicher Teil dieses Untergrundes beruht auf Wechselwirkungen der Teilchenstrahlen mit dem Restgas im Strahlrohr. Die Untersuchung und Verbesserung des Strahlrohrvakuums war daher eine Hauptaktivität der Vakuumgruppe. Etwa im September wurde klar, dass ein Druckberg in der unmittelbaren Umgebung des Wechselwirkungspunktes (WWP) existieren muss. Beide Experi-

mente stellten übereinstimmend mit Hilfe der im Luminositätsdetektor gemessenen Bremsstrahlungsraten von Positronen-Pilotbunchen eine Verschlechterung des Vakuumdruckes um den Faktor 8, bezogen auf das Jahr 2000, fest.

Die Apertur des Luminositätsdetektors umfasst den Strahlorbit in einer Umgebung von ± 2 m ab dem WWP. Es gibt keinen Hinweis auf Lecks im Vakuumsystem. Eine Rolle spielt offensichtlich die Erwärmung von Komponenten im Vakuumsystem durch vom Strahl induzierte elektromagnetische Felder.

Das Vakuumsystem der Wechselwirkungszone ist relativ kompliziert aufgebaut. Wegen der beengten Platzverhältnisse kommen verschiedene Pumpentypen – Ionen-Getterpumpen, NEG-Pumpen sowie Ti-Sublimationspumpen – zum Einsatz. Zusätzlich wird die Situation durch die Gegenwart von kryogenischen Flächen in den supraleitenden Magneten GO und GG kompliziert. Das Zusammenspiel der verschiedenen Pumpen und der kalten Flächen ergibt ein komplexes System. Restgasanalysen zeigten bei beiden Detektoren unmittelbar nach dem Aufwärmen der kalten Flächen erhöhte Methan- und Äthankonzentrationen. Durch die katalytische Erzeugung von leichten Kohlenwasserstoffen an den NEG-Oberflächen sowie die Speicherwirkung der kalten Flächen für diese Gase scheint diese Beobachtung jedoch nicht ungewöhnlich zu sein. In Laborversuchen wurde nachgewiesen, dass auch die Ti-Sublimationspumpen beim Aktivierungsvorgang Methan erzeugen.

Um die Wirkung der kalten Flächen zu untersuchen, liefen die supraleitenden Magnete für einige Wochen mit angehobener Strahlrohrtemperatur. Das hatte jedoch keine positive Wirkung auf die Untergrundraten in den Detektoren. Als im Dezember die Strahlrohrtemperaturen wieder abgesenkt wurden, ergab sich eine deutliche Verringerung des Untergrundes. Betrachtet man rückblickend die Entwicklung über das Jahr 2002, so erkennt man deutlich eine kontinuierliche Verbesserung der dynamischen Vakuum- und Untergrundbedingungen, die allerdings durch die betriebsbedingten Belüftungen und auch durch die Temperaturänderung der Strahlrohre in den supraleitenden Magneten unterbrochen war.

Gegen Ende des Jahres war die Untergrundrate bei H1 nur noch um einen Faktor 2 zu hoch, um mit vollen Strahlströmen zu messen. Man kann annehmen, dass

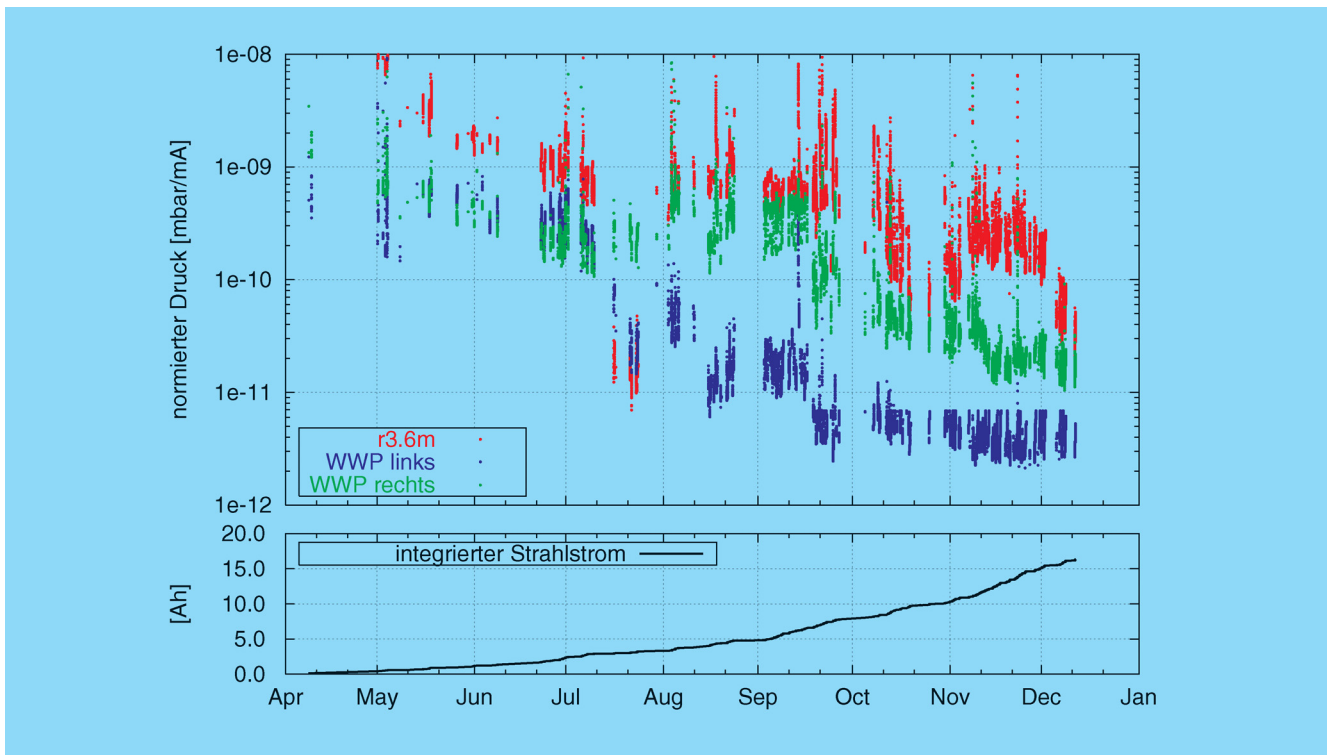


Abbildung 122: Auf den Positronenstrom normierter Druck in der HERA WWZ Nord im Jahr 2002 bei 27.5 GeV. Gezeigt wird der bei 3.6 m rechts gemessene Druck sowie der gemittelte Druck einiger Pumpen jeweils rechts und links vom WWP. Nur Messpunkte für Strahlströme höher als 10 mA wurden berücksichtigt.

es gelingt, diesen Verbesserungsfaktor im kommenden Jahr zu erreichen. Wesentlich ist dabei die konsequente Einhaltung von Konditionierungsregeln, wie etwa das regelmäßige Aufwärmen der kalten Flächen, verbunden mit dem Aktivieren der NEG-Pumpen. Zusammen mit den in der Wartungsperiode 2003 geplanten Verbesserungen an der Synchrotronstrahlungsabschirmung und der Reduktion der strahlgetriebenen Ausgasung im Detektor sollte es möglich sein, HERA auf Design-Luminosität zu bringen (Abb. 122).

Beiträge zu TTF

Die Aktivitäten der Gruppe MVA beim Aufbau von TTF2 sind weit gefächert. Die Konstruktion und Fertigung zweier Vakuumabschnitte wird von der Gruppe durchgeführt bzw. betreut. Das betrifft zum einen den relativ komplizierten Abschnitt des Bunchcompressors

III, der aus sehr breiten, flachen Edelstahlkammern besteht, um horizontal variierende Strahlorbits bei verschiedenen Bunchkompressor-einstellungen zu erlauben. Weiterhin wird der so genannte Spektrometerarm am Ende des Beschleunigers bei MVA gefertigt. Die Konstruktionen für TTF wurden erstmalig bei MVA ausschließlich mittels 3D Modellierung durchgeführt. Damit ist für alle konstruktiv tätigen Mitarbeiter der schwierige Übergang von 2D auf 3D Modellierung erfolgreich vollzogen.

Zur Minimierung von resistiven Wakefield Effekten, die besonders bei den sehr kurzen FEL-Teilchenpaketen eine Rolle spielen, sollte die Wand der Vakuumkammer möglichst aus gut leitendem Kupfer bestehen. Üblicherweise werden Edelstahlkomponenten verkupfert. Bei geometrisch einfachen Rohren ist es jedoch wesentlich kostengünstiger, diese Komponenten aus Kupferrohr zu fertigen. Das Anbringen von Flanschen durch Hochtem-

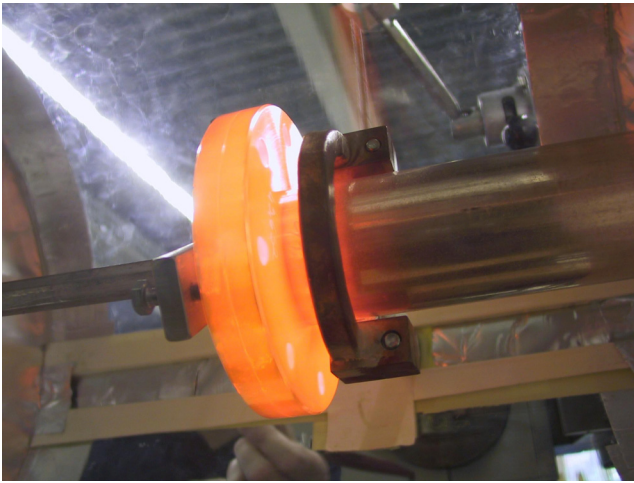


Abbildung 123: *Induktives Verlöten eines Edelstahlflansches mit einem Kupferrohr. Rechts neben dem Flansch ist die wassergekühlte Induktionsspule zu erkennen. Die Anordnung befindet sich in einem mit Stickstoff gespülten Quarzglaszylinder.*

peraturlöten im Vakuumofen ist ineffizient und birgt zudem die Gefahr des Stabilitätsverlustes des Kupfers, das durch die Wärmeeinwirkung an Festigkeit verliert. Es wurde daher eine Methode entwickelt, die es durch lokales induktives Erwärmen erlaubt, Flansch und Rohr schnell und effizient zu verbinden. Man kann erwarten, dass diese Methode erhebliche Vorteile bei der Fertigung großer Vakuumabschnitte, wie sie etwa beim TESLA XFEL benötigt werden, bringt (Abb. 123).

Ein wichtiges Thema für TESLA bzw. den TESLA XFEL ist die Handhabung der enormen Strahlleistungen und Leistungsdichten. Strahlspoiler und Kollimatoren müssen aus extrem stress- und temperaturbeständigem Material gefertigt werden. Für den Test möglicher Kandidaten mit Strahl wird eine Materialtest-Einrichtung gebaut, die es erlaubt, im Bypass von TTF Materialproben in den Strahlweg zu fahren. Die Testeinrichtung enthält fünf Einschübe für Proben in der Größe von 1–2 cm.

Die bei TTF und am Teststand PIZ in Zeuthen eingesetzten HF-Kanonen werden bei MVA gefertigt. Entscheidend sind dabei hohe Maßhaltigkeit und sehr gute Oberflächenqualität, um Feldemission zu minimieren. Als Füge-technik wird Hochtemperaturlöten eingesetzt. Zur Verbesserung der Konstruktion wurde 2002 die

Auslegung der Wasserkühlung an zwei existierenden Kanonen komplett überarbeitet. Weiterhin wurde mit dem Aufbau einer neuen Kanone begonnen.

TESLA Entwicklungsarbeiten

An der Elektronenstrahlschweißanlage, die von MVA gemeinsam mit MKS und ZM betrieben wird, wurden ausführliche Versuche zur Optimierung der Schweißparameter beim Schweißen der TESLA Beschleunigerstrukturen aus Niob durchgeführt. Eine herausragende Eigenschaft der Schweißanlage sind die guten Vakuumbedingungen, die durch hohe Sauberkeitsanforderungen sowie durch den Einsatz besonders leistungsfähiger Kryopumpen erzielt werden. Wird das Niob während des Schweißens auf hohe Temperaturen gebracht, entsteht eine starke Getterwirkung, wobei Restgasmoleküle im Niob gebunden werden. Diese Verunreinigungen führen zu einer Herabsetzung der Wärmeleitfähigkeit, die über das Restwiderstandsverhältnis, den so genannten RRR Wert, diagnostiziert wird. In der Tat konnte festgestellt werden, dass sich der RRR Wert in den Schweißnähten nicht gegenüber dem Rohmaterial verschlechtert, wenn die Schweißung in der neuen Schweißanlage vorgenommen wurde. Mittels eines angeschlossenen Massenspektrometers können genaue Analysen der Verunreinigungen im Niob vorgenommen werden, da diese durch die hohen Temperaturen während des Schweißens abdampfen.

Mehrere Mitarbeiter von MVA waren 2002 an der Konstruktion und am Aufbau einer Elektropolieranlage für TESLA-Resonatoren beteiligt, wobei die Anlage in den Chemieräumen von MKS aufgebaut und betrieben wird. Während des Elektropolierprozesses mit einem Flußsäuregemisch wird der Resonator kontinuierlich gedreht. Eine besondere technische Schwierigkeit stellen dabei säuredichte Drehdurchführungen dar. Bis zum Ende des Jahres konnten erfolgreiche Versuche mit Wasser durchgeführt werden.

Glatte Oberflächen mit guter elektrischer Leitfähigkeit werden in vielen TESLA Vakuumkomponenten benötigt. Die Eindringtiefe der begleitenden elektromagnetischen Felder von kurzen Teilchenpaketen bewegt sich im sub- μm Bereich. Daher ist das Aufspütern von dünnen Kupferschichten eine gute und kostengünstige Alternative zur galvanischen Verkupferung. Die

Sputtertechnik wurde auf mehreren Komponenten bei TTF bereits erfolgreich angewendet und weiter verfeinert. Insbesondere bei der Fertigung von Keramiken für Kicker Magnete konnte die Haftung von aufgesputterten Edelstahlschichten durch gezielte Wärmebehandlung weiter verbessert werden.

LINAC II, DORIS und PETRA

Für den LINAC II wurden Ersatzstrukturen gefertigt. Der Entwurf dieser S-Band Beschleunigerstrukturen stammt von der Entwicklung des S-Band Linear-Colliders. Die Strukturen bestehen aus einzelnen „Taschen“, die induktiv mit hohen Toleranzanforderungen zusammengelötet werden.

Bei DORIS wurde die Fertigung von vier Kickerkammern für das Feedbacksystem beendet. Diese Kammern waren mehrfach neu aufgebaut worden, da im Beschleuniger hohe elektromagnetische Verluste des Strahls (HOM) beobachtet worden waren. Diese führten zu einer inakzeptablen Aufheizung der Kammern. Mit einer verbesserten Geometrie und Wasserkühlung arbeitet der erste Kicker nunmehr zuverlässig.

Im PETRA-Speicherring soll ein Laserwire, eine optische Anordnung zur Messung der Strahlgröße, getestet werden. Die dafür benötigte Kreuzkammer wurde bei MVA ausgelegt und gefertigt. Im Hinblick auf den Umbau von PETRA als Synchrotronstrahlungsmaschine (PETRA III) wurde mit ersten Prinzipstudien zur Auslegung des Vakuumsystems begonnen. Man unterscheidet konzeptionell drei Typen von Vakuumabschnitten – Standardsektionen im Bogen der Maschine, Dämpfungswiggler sowie Experimentiersektionen mit speziellen Wigglerbauten.

Protonenvakuum – MVP –

Die Gruppe MVP ist für die Vakuumsysteme des Protonenrings von HERA einschließlich der Isoliervakuumsysteme für die Heliumtransferleitung und die supraleitenden Magnete, des Protonenrings von DESY III und die der TESLA-Test Facility im Rahmen des Linearbeschleuniger-Projekts TESLA verantwortlich. Diese Vakuumsysteme werden von der Gruppe entworfen, gebaut, betrieben und weiterentwickelt. Weiterhin

ist die Gruppe maßgeblich an Entwicklung und Betrieb des TTF-Kontrollsystems beteiligt.

Im Berichtsjahr 2002 bereitete der Betrieb dieser Systeme keinerlei Probleme. Die Aufgaben der Gruppe konzentrierten sich vor allem auf die Weiterentwicklung und den Ausbau der Vakuum- und Kontrollsysteme für die TESLA Test Facility (TTF) und den supraleitenden TTF-Linearbeschleuniger für Phase II sowie diverse Wartungs- und Reparaturarbeiten.

HERA

In der Wartungs- und Umbauperiode im Frühjahr 2003 ist geplant, im Bereich NL einige Meter kalte Driftstrecke durch ein warmes Strahlrohr zu ersetzen, um dort einen weiteren Detektor für das H1-Experiment einzubauen, das „Very Forward Proton Spectrometer“ (VFPS). Das hierfür notwendige Vakuumsystem wurde konzipiert, die Bauteile konstruiert sowie die Fertigung weitgehend abgeschlossen. Weiter wurde die Konstruktion der Vakuumkammer für einen Monitor zur Messung der Strahlgröße überarbeitet sowie mit der Fertigung der Bauteile begonnen.

Vakuumsysteme für TTF und TESLA

Im Rahmen der Entwicklungsarbeiten für den neuen Linearbeschleuniger TESLA wurden weitere Verbesserungen und Erweiterungen an den Vakuumsystemen für den Testbetrieb der supraleitenden Resonatoren vorgenommen, um die Abläufe zu optimieren und den neuesten Erkenntnissen anzupassen.

Beim Betrieb des supraleitenden Linearbeschleunigers der TESLA Test Facility bereitete das Vakuumsystem keinerlei Probleme. In einer längeren Betriebsunterbrechung wurde das Vakuumsystem stark modifiziert, um den Strahltest der so genannten Superstruktur möglichst zügig durchführen zu können. Hierzu wurden die Kollimatorstrecke sowie die Undulatoren entfernt und durch einfache Strahlrohre ersetzt.

Nach Ende des Strahlbetriebs von TTF1 zum Ende des Berichtszeitraums wurde mit dem Abbau des gesamten Vakuumsystems begonnen. Diese Arbeiten sind inzwischen nahezu abgeschlossen. Parallel dazu begannen

die vorbereitenden Arbeiten für den Aufbau der neuen Abschnitte für TTF2. Den Schwerpunkt der Arbeiten der Gruppe bildeten die Arbeiten für den Ausbau des TTF-Linearbeschleunigers auf 1 GeV (TTF2). Hierfür wurde im Berichtszeitraum die detaillierte Auslegung aller Vakuumabschnitte abgeschlossen. Die Detailkonstruktion der Komponenten für die temporären Strahlführungen im Bereich der erst später zu installierenden Seeding-Undulatoren sowie der Module 6 und 7 wurde zu Ende geführt und die Fertigung der Komponenten ist nahezu abgeschlossen.

Im Bereich Injektor, Bunchkompressor II sowie anschließender Diagnosestrecke wurde mit der Detailkonstruktion der Komponenten begonnen. Die Bearbeitung der Abschnitte Bunchkompressor III, Kollimatorstrecke und Bypass durch andere Gruppen wurde weiterhin vakuumtechnisch durch MVP betreut. Konstruktion und Fertigung der Vakuumkammern für die OTR (Optical Transition Radiation) Monitore wurden abgeschlossen. Die Kammern werden zur Zeit im Reinraum von Mitarbeitern des INFN Frascati mit Unterstützung der Gruppe MVP mit den Monitoreinsätzen bestückt.

Die anspruchsvolle Konstruktion der Vakuumkammer für die kombinierten OTR-Wirescanner, bei der die OTR-Schirme bzw. Drähte von zwei verschiedenen Positionen aus im Abstand von wenigen Millimetern in den Strahl gefahren werden müssen, wurde ebenfalls abgeschlossen. Ein Prototyp der Schweiß-Löt konstruktion wurde erfolgreich hergestellt und getestet, so dass nun die Fertigung der weiteren Kammern erfolgt.

Für die Vakuumkomponenten der TESLA Test Facility und zunehmend auch für Komponenten in den Strahlführungen des Synchrotronstrahlungslabors HASYLAB bestehen gegenüber den bisherigen Beschleunigern erhöhte Anforderungen hinsichtlich Staub- und Partikelfreiheit. Bisher wurden daher alle Vakuumkomponenten nach der UHV-Standardreinigung zusätzlich in denselben Anlagen (Reinraum, Reinigungsbäder) wie die TTF-Resonatoren gereinigt, um Staub und andere Partikel zu entfernen.

Um längerfristig die Arbeiten an den supraleitenden Resonatoren und die Reinigung von Vakuumkomponenten im Reinraum zu entkoppeln, wurde in Zusammenarbeit mit der Vakuumgruppe vom HASYLAB eine

neue Ultraschall-Reinigungsanlage für Ultrahochvakuumkomponenten aufgebaut und weitgehend in Betrieb genommen. Hierfür wurde im Gebäude 55 ein Reinraum (Klasse 100/10 000) aufgebaut. Zur Reinigung von Vakuumbauteilen bis 5 m Länge stehen zwei Ultraschallbecken, ein Leitwertspülbecken, ein Trockner sowie für kleinere Bauteile eine Durchreichewaschmaschine zur Verfügung. Ergänzt wird dieser Arbeitsbereich durch einen Montagetisch in der Klasse 100 sowie einen ölfreien Pumpstand zur Lecksuche von montierten Einheiten.

Kontrollsystem für TTF, TESLA und HERA-p Vakuum

Im Berichtszeitraum wurde für den TTF-Beschleuniger eine ganze Reihe von Verbesserungen und Anpassungen an neue Instrumentierungen vorgenommen. Zu diesen Verbesserungen am System gehört auch die Möglichkeit, die motorgesteuerten Phaseinstellungen über das Kontrollsystem zu bedienen. Ein größeres Gewicht beim Betrieb der Testanlage hat die Aufzeichnung und Auswertung von statistischen Daten gewonnen. Hierfür wurden das Datennahmesystem (DAQ) angepasst und zusätzliche Informationen im Kontrollsystem eingebaut, die es ermöglichen, Betriebsparameter und Ausfallzeiten einzelner Komponenten zuverlässig zu bestimmen. Dabei wird das für TTF entwickelte Kontrollsystem DOOCS als zentrale Integrationsschicht verwendet. Um auch vom HERA-Kontrollsystem direkt Daten aus DOOCS lesen zu können, wurde in den Vakuum-Geräte-Servern zusätzlich das TINE-Protokoll integriert. Dadurch ist es zum Beispiel möglich, von HERA-Konsolen direkt auf die Vakuumdaten des Protonen-Beschleunigers zuzugreifen. Eine weiterer Schritt, um von den Unterschieden der Computerbetriebssysteme unabhängig zu werden, war die Portierung von DOOCS in die JAVA-Welt. JAVA ist eine Programmiersprache und Laufzeitumgebung, die auf allen Rechnern läuft.

Das von DESY vorgeschlagene Konzept des Global Accelerator Networks (GAN) beginnt sich zu entwickeln. Es sieht, neben dem ferngesteuerten Betrieb, auch eine Verbesserung der gemeinsamen internationalen Entwicklung von Beschleunigern und ihren Subsystemen vor. In dieser Richtung gibt es am TTF-Beschleuniger einige Aktivitäten. Zum Beispiel wurden gemeinsame

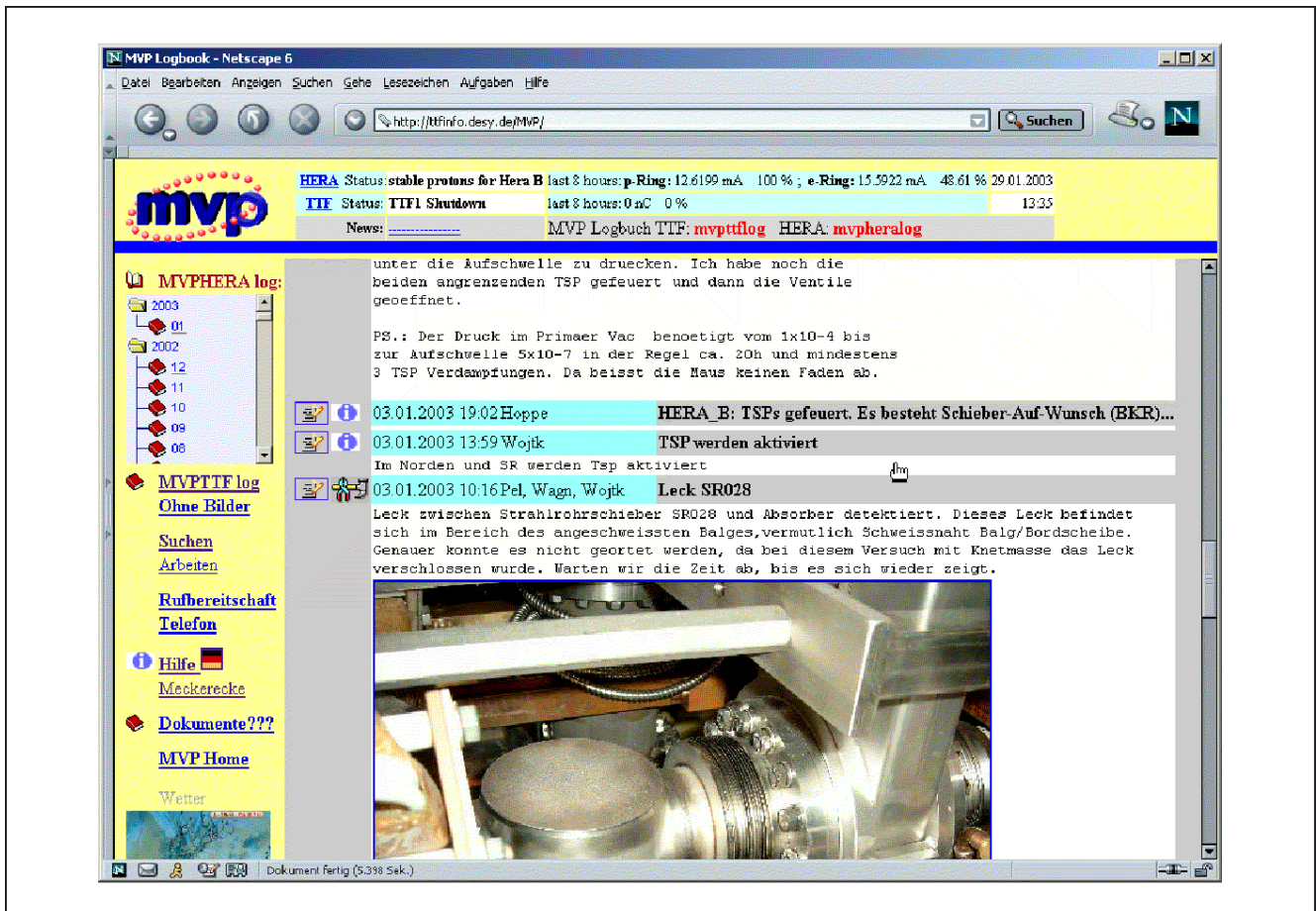


Abbildung 124: Beispiel einer Seite aus dem elektronischen Logbuch.

Schichten mit Operateuren aus Mailand durchgeführt und die dafür nötige Infrastruktur aufgebaut. Ein wichtiger Bestandteil für diese internationale Maschinenentwicklung ist auch die Bereitstellung von Informationen über die Messergebnisse und über Probleme im Betrieb der Anlagen. Alle beteiligten Entwickler, Betreiber und Operateure können mit Hilfe des elektronischen Logbuches diese Informationen austauschen. Die hohe Akzeptanz des Logbuches hat dazu geführt, dass es nun auch bei HERA, H1, PITZ (Zeuthen), INFN (Italien) und als Gruppenbuch eingeführt wurde. Das elektronische Logbuch wird ständig verbessert und erweitert. Zum Beispiel können die Seiten jetzt im PDF Format in hoher Qualität gedruckt werden (Abb. 124). Ebenso wurde an der Suchmaschine gearbeitet.

Auf der Basis der GAN-Idee wurde eine Zusammenarbeit mit der Cornell und der Ohio State University (USA) für die Weiterentwicklung des TTF-Datennahmesystems begonnen. Entwicklung und Betrieb der Software sollen gemeinsam von diesen Universitäten und DESY erfolgen.

Weitere Vorbereitungsarbeiten für TTF2 hatten einen größeren Anteil an der Gruppenarbeit. So wurde beispielsweise die CAN-Bus basierte Steuerung der Schrittmotoren, die auch eine hochgenaue Auslese der Position und die Steuerung von Kameras beinhaltet, erfolgreich in Betrieb genommen. Ferner wurde mit Arbeiten für einen zentralen Informations- und Fehlerserver begonnen. Dieser Service wird mit modernen

XML-Technologien realisiert und soll, zusammen mit dem elektronischen Logbuch, eine integrierte Informationsquelle für die Experten werden. Auch hier stehen GAN-Gesichtspunkte im Vordergrund.

Kryogenik und Supraleitung – MKS –

HERA-Kryogenik

Die kryogenische Helium-Versorgung der supraleitenden Protonenringmagnete, der vier neuen supraleitenden Magnete GO und GG an den Wechselwirkungszonen bei H1 und ZEUS sowie die Kühlung der supraleitenden Resonatoren des e-Ringes und der Experimente H1, ZEUS und HERMES liefen im Berichtszeitraum sehr stabil mit einer mittleren Verfügbarkeit von 98,96%. Dabei wurden die Protonenringmagnete und die GO- und GG-Magnete routinemäßig bei 4,0 K, das heißt bei subatmosphärischem Druck, in den entsprechenden Helium-Vorkühlern betrieben, so dass eine optimal hohe Quenchsicherheit gewährleistet wurde.

Mit der Inbetriebnahme der Zirkulationskühlkreisläufe für die GO- und GG-Magnete konnte die benötigte Kühlleistung erheblich gesenkt werden, ohne die Betriebssicherheit einzuschränken. Der bis dahin gefahrene Betrieb über eine Joule-Thomson-Entspannung des einphasigen Heliums ist jederzeit als „back up“-Betriebsmodus, zum Beispiel nach Ausfall einer Zirkulationspumpe, möglich, so dass die Kühlung ununterbrochen weitergeführt werden kann. Die hohe Flexibilität des Kälteversorgungssystems erlaubte es, die Strahlrohre der Magnete GO und GG in wenigen Stunden von normal 40 K auf Zwischentemperaturen von 100 K, 130 K bis 300 K zu fahren, um mögliche Einflüsse der Kryopumpwirkungen auf die Untergrundverhältnisse an den Wechselwirkungszonen zu untersuchen.

Im HERA-Oktanten SR wurde ein etwa 12 m langes „kaltes gerades Stück“ des Protonenmagnetringes ausgebaut und im Tunnel zerlegt, um eine notwendig gewordene Reparatur der Strahlrohrabstützungen durchzuführen und erfolgreich abzuschließen. Dazu wurde der HERA-Quadrant-SW aufgewärmt und nach knapp drei Wochen wieder stabil kalt betrieben.

Die Gruppe MKS hat zusammen mit dem H1-Experiment intensiv an der Spezifikation und an der Fertigungsüberwachung des neuen kalten Bypasses für das von H1 in HERA-NR geplante „Very Forward Proton Spektrometer“ (VFPS) mitgearbeitet. Die zugehörigen supraleitenden Kabel (Haupt- und Korrekturbusleiter) sowie einige für den Werksabnahmetest benötigte Komponenten wurden von der Gruppe MKS gefertigt und der Industriefirma beigelegt.

In der HERA Kältehalle wurde ein Teststand zum Test von „Time Projection Chamber“ Prototypen aufgebaut und in Betrieb genommen. Dieser Teststand steht Gruppen von DESY und von auswärtigen Universitäten zur Verfügung, um im Rahmen der Vorbereitungen für ein mögliches TESLA-Experiment Prototypkammern in einem Magnetfeld bis zu 5 Tesla zu testen. Dazu wurde der ehemals bei ZEUS eingebaute und nach der Erhöhung der Luminosität nicht mehr benötigte supraleitende Kompensatormagnet reaktiviert und in Gebäude 54 an die dort vorhandenen Flüssig-Helium Dewars angeschlossen. Dieser Magnet wird vom Kryokontrollraum aus kryogenisch betrieben.

Für HASYLAB und die Labors wurden im Jahr 2002 in der HERA-Kryoanlage insgesamt 3400 kg Helium verflüssigt und in Kannen bereitgestellt.

Die Magnetesthalle wurde auf EPICS-Kontrollen umgerüstet. Die bereits bei TTF im Einsatz befindlichen Messsysteme zur Erfassung des Schwingungsverhaltens der Kryomodule wurden um ein weiteres System bei HERA ergänzt. Hier sollen mögliche Einflüsse des Betriebes der neuen Color Line Arena auf die Strahlage untersucht werden.

Um die Transparenz zwischen den Kontrollsystemen zu verbessern, wurde der Informationsverbund mit dem HERA-Kontrollsystem weiter ausgebaut. So genannte TINE-Gateways in den bei MKS2 eingesetzten Prozessrechnern erlauben den transparenten Zugriff auf die Online-Daten aus dem EPICS-Kontrollsystem. Auf diesem Wege kann auf die Daten mit Hilfe der Programme im Hauptkontrollraum zugegriffen werden. Die Diagnose und die Korrelation von Ereignissen wird so erleichtert. Auch der umgekehrte Datentransfer aus den Maschinenkontrollen in die EPICS-Kältekontrollen, und damit auch in das Kontrollsystem von MKK, ist durch ein Gateway realisiert worden.

Zur Erhöhung der Ausfallsicherheit und zur Stabilisierung des Betriebes wurden der Fileserver des auf NT basierenden D/3 Kontrollsystems und der SUN-Fileserver des EPICS-Kontrollsystems auf redundante Cluster-Server umgestellt. Die für „post mortem“ Analysen wichtige Archivierung wurde auf beiden Servern installiert.

Ein wichtiges Instrument zur Analyse von Ausfällen ist neben der Archivierung das Transientenrecorder-System. Innerhalb der EPICS-Kontrollsysteme werden die Daten mit dem hier entwickelten ACE (Archiver Controlled by Event) Server gesichert. Die in der Abteilung FEE entwickelten Transientenrecorder Module werden von mehreren Gruppen zur Analyse von schnellen, transienten Ereignissen eingesetzt. Über das zentrale Event-System kann unter anderem über die ACE-Server auf die gesicherten Daten zugegriffen werden.

Neue Entwicklungen im Bereich der Kältekontrollen konzentrierten sich auf die Integration von Speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPS) und die Vereinfachung der Einbindung von Feldbussen. In Zusammenarbeit mit dem Paul Scherrer Institut (PSI) in der Schweiz wurde eine Einbindung von SPS der Firma Siemens über Ethernet implementiert. Um Feldbusse einzubinden, wurde nach einer gegenüber den eingesetzten VME-Rechnern kostengünstigeren Lösung gesucht. Kompakte PCs auf DIN-Schienen, so genannte Hutschienen, sollen hier in Zukunft eingesetzt werden. Der erforderliche Treiber für den CAN-Feldbus wurde erfolgreich implementiert. Der Treiber für Profibus-DP wird in Zukunft die Möglichkeit bieten, auch intelligente Instrumente einzubinden.

In der Magnettesthalle wurden die vom BNL (USA) im Jahr 2002 gelieferten beiden GO- und GG-Ersatzmagnete zusammen mit den in Teilen gelieferten Ersatzstromzuführungen aufgebaut, erfolgreich kalt getestet und die detaillierten Magnetfeldmessungen durchgeführt.

Der ehemals für die GO- und GG-Magnete benutzte Teststand in der Magnettesthalle wurde wieder in einen Messstand für HERA-Quadrupole umgebaut. Um die Betriebsbereitschaft der Magnetteststände in Halle 55 für zukünftige Tests supraleitender Magnete zu gewährleisten, muss die noch auf VAX-Computern installierte Software erneuert und auf PCs installiert werden.

Dazu wurde es notwendig, auch Teile der Hardware zu ersetzen.

Der HERA-Dipolmagnet-Teststand in der Magnettesthalle wurde umgebaut und für den Kalttest des Bypasses für das VFPS von H1 entsprechend vorbereitet.

TESLA Test Facility

Für das gesamte Jahr 2002 wurde die Heliumkälteversorgung des TTF Linacs und der TTF-Testkryostate gewährleistet. Nach Beendigung des TTF1 Linac-Betriebes wurden die Kryomodule Nr. 2 und 3 aus dem Linac entfernt und zur Reparatur bzw. zur Überarbeitung zerlegt. Das Superstruktur-Kryomodul und das Kryomodul Nr. 1* wurden in den TTF Linac eingebaut. Zur gleichen Zeit wurde die Anbindung der Linac-Heliumkälteversorgung an die HERA-Kälteanlage fertig gestellt. Seit Juli 2002 wird der TTF1-Linac routinemäßig über die neue Helium-Transferleitung zwischen Gebäude 54 und Halle 3 von der HERA Kälteanlage aus gekühlt.

Die TTF-Testkryostate wurden von der 900 Watt 4.5 K-Cold-Box in Halle 3 versorgt. Für diese Anlage wurden zwei neue Schraubenkompressoren in Auftrag gegeben und die defekten alten Kompressoren entfernt. Der Einbau der neuen Schraubenkompressoren in Gebäude 47a wurde vorbereitet. Bis zu ihrer Installation wird die 900 Watt Cold Box von den Schraubenkompressoren der HERA-Anlage mit Hochdruck-Helium versorgt.

Im Hinblick auf den zukünftigen FEL-Nutzerbetrieb des TTF2 Linacs kann jetzt die Heliumkälteversorgung des Linacs und des TTF-Testbetriebes unabhängig voneinander erfolgen. Außerdem ergeben sich vielfältige Redundanzschaltungen zur Sicherstellung der Kälteversorgung für die TESLA Test Facility. Ein beim IHEP Protvino in Russland gebauter Niederdruck Wärmetauscher wurde in den 2 K-Kältekreislauf für den TTF-Linac eingefügt und in Betrieb genommen. Damit ergibt sich ein höherer Wirkungsgrad für diesen Kältekreislauf.

Der weitere Ausbau des TTF2 Linacs erfordert eine Überbrückung der dritten Bunchkompressorsektion zwischen den Modulen Nr. 3 und 4, den Umbau des gesamten Injektorbereiches und eine neue Modul-Endkappe für den Anschluss an Modul Nr. 5. Eine

24 m lange Bypass-Transferleitung für die Bunchkompressor-sektion und eine neue Modul-Endkappe wurden in Auftrag gegeben, gefertigt und bei DESY angeliefert. Die kryogenischen Komponenten für den Injektorumbau (eine Transferleitung, zwei Ventilboxen und eine Anschlusskappe) wurden ebenfalls bestellt. Die genannten Aufträge an Fremdfirmen wurden von der Gruppe MKS betreut.

Die Planungen für einen Einzelteststand für Kryomodule wurden fortgeführt und die entsprechenden Spezifikationen fertig gestellt.

Eine Bewegung der Fokussierungsmagnete in den TESLA Modulen hat Einflüsse auf die Eigenschaften des Elektronenstrahls. Um die Bewegung der Magnete zu untersuchen, wurden in den Modulen an jedem Quadrupol Schwingungssensoren angebracht. Zunächst wurden zum besseren Verständnis der Sensoren umfangreiche Studien im Labor durchgeführt. Messdaten beim Betrieb von TTF liegen vor und werden zur Zeit ausgewertet.

Die wichtigsten Daten der visuellen, mechanischen und elektrischen Eingangskontrolle der supraleitenden Resonatoren für TTF, die benutzten Verfahren und Ergebnisse ihrer chemischen Behandlung und die Resultate der RF-Messungen bei 2 K werden in einer Datenbank festgehalten. Ein umfangreiches graphisches, auf ORACLE-Produkten basierendes Benutzer-Interface, das laufend den Benutzerwünschen angepasst wird, erleichtert den Zugriff auf die gespeicherten Daten, die in Form von Tabellen und Graphen aufbereitet werden. Das Benutzer-Interface wurde mit dem ORACLE-Developer-Server ins WEB migriert, so dass die Datenbank dynamisch zunächst in einer Testphase ins Intranet bei DESY eingebunden ist.

Nach Fertigstellung der Superstruktur wurde die Reinstallationsanlage überholt und Resonatoren für das Modul 2* sowie elektropolierte Resonatoren behandelt. Während eines Service-Intervalls an der Reinstwasseranlage ereignete sich ein Störfall, bei dem Aktivkohle in die Rohrleitungen gelangte. Alle Komponenten mussten gereinigt und neu qualifiziert werden. Mit der vorhandenen Qualitätskontrolle konnte gezeigt werden, dass nicht alle Anlagenteile von dieser Kontamination betroffen waren. Nach intensiver Reinigung der Leitungen war die Anlage wieder betriebsbereit. In

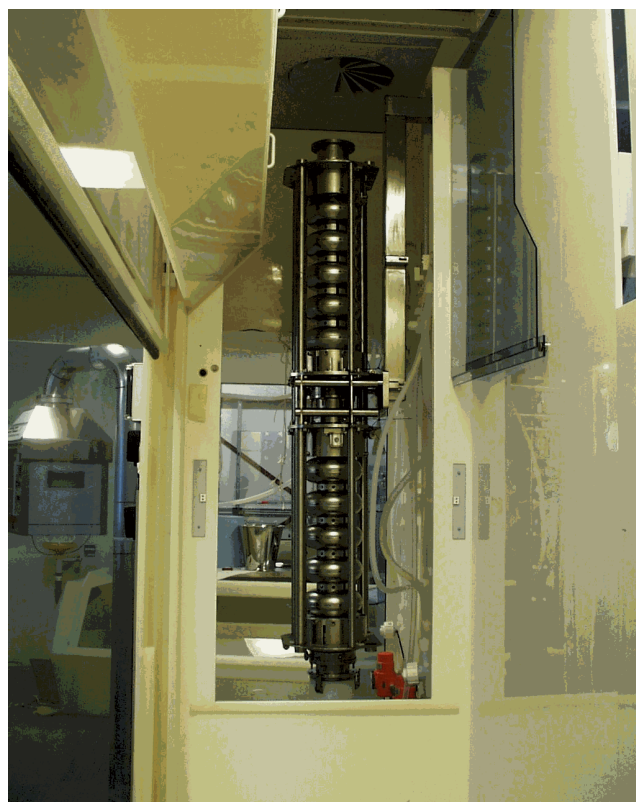


Abbildung 125: Superstruktur eingebaut in die Chemiebehandlungsanlage.

den nachfolgenden Resonator-Behandlungen erreichten drei elektropolierte Resonatoren Beschleunigungsfeldstärken von 35 MV/m mit sehr niedrigen Einsatzschwellen für Feldemission.

Im Februar des Jahres wurde das Beschleunigermodul 5 für den Betrieb in der TTF Phase 2 im Reinraum fertig gestellt und anschließend zusammengebaut. In den Prototypmodulen 1–3 zeigten sich nach mehrjährigem Betrieb an einigen Teilen Fehler und Verschleiß. Für den Einsatz in der TTF2 Phase müssen diese Module generalüberholt und hergerichtet werden. Hierzu wurden die Module 2* und 3 vollständig zerlegt. In Modul 2* werden bis Frühjahr 2003 alle Resonatoren der ersten Generation – mit Niob Lippendichtungen – gegen qualifizierte Resonatoren mit Niob-Titan-Flanschen ausgetauscht sein. Bei der Demontage des Moduls 1* wurden die Resonatoren ungewollt mit Kupfer kontaminiert. Die üblichen Behandlungsschritte wurden einer Reparatur angepasst, so dass diese Kontaminationen in der Chemieanlage beseitigt werden konnten. Das Modul

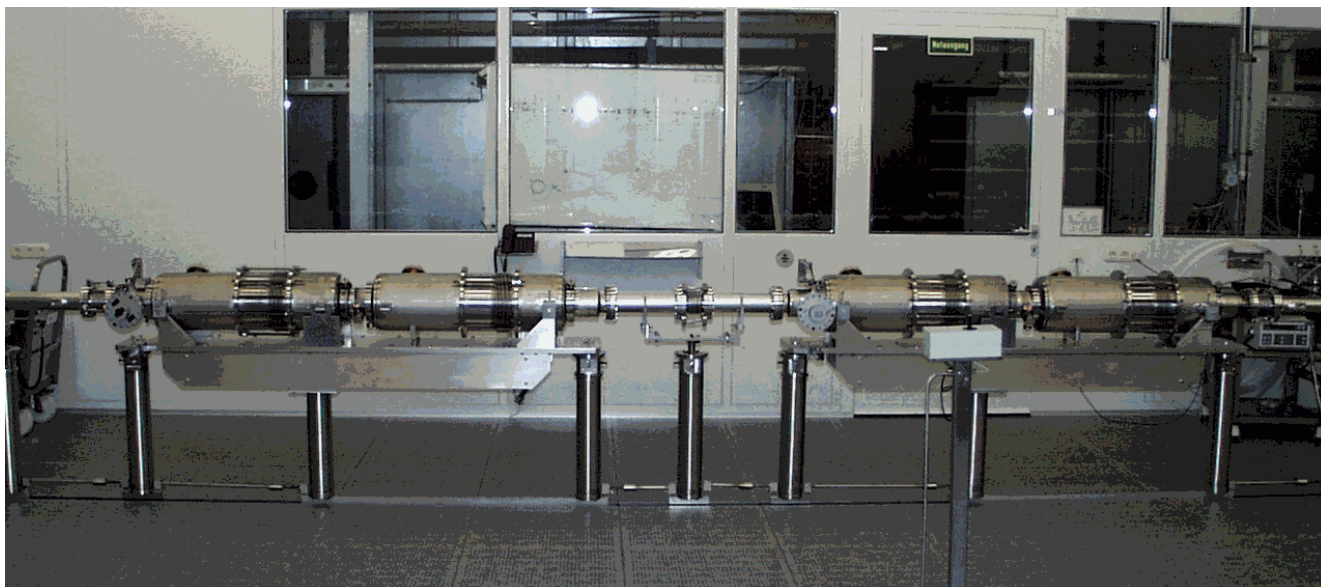


Abbildung 126: *Komplettiertes Modul mit zwei doppel-siebenzelligen Superstrukturen im Reinraum.*

wird zu Beginn des Jahres 2003 wieder betriebsbereit sein.

Zur Vermeidung von Betriebsstörungen, zur Qualitätssicherung sowie zur Analyse der Verfahrensschritte und frühen Erkennung von Fehlerquellen ist das Überwachungssystem für Wasserqualität und Luftpartikelkontamination vervollständigt worden. Es sind regelmäßige Kontrollintervalle mit Datenanalyse und Auswertung etabliert worden, so dass die Untersuchung aller reinraumtechnischen Anlagen dokumentiert und zu jedem Resonator ein nahezu vollständiger Satz von Qualitätssicherungsdaten in der Datenbank und im EDMS System vorhanden ist.

Die für den ersten Test einer Superstruktur notwendigen doppel-siebenzelligen Resonatoren (Abb. 115, 125, 126) wurden bei DESY reinraumtechnisch behandelt und in das erste Testmodul installiert. Für die Präparation der Superstruktur mit etwa 2 m Baulänge wurden umfangreiche Umbauten an der Reinrauminfrastruktur durchgeführt. Da die Chemieanlage nur für die Behandlung von Resonatoren mit einem maximalen Volumen von bis zu 30 Litern und die Hochdruckspüle nur für eine maximale Sprühhöhe von 1.3 m ausgelegt waren, wurden intensive Voruntersuchungen durchgeführt, um die

Standard-Behandlungsschritte bei der Präparation in qualifizierten Teilschritten durchführen zu können. Der erfolgreiche Test dieses Superstruktur-Moduls erfolgte im Sommer des Jahres.

Zur vollständigen Dokumentation und Steuerung von Arbeitsabläufen und um einen schnellen Datenzugriff mit allen notwendigen Informationen für verschiedene Personen gleichzeitig zu ermöglichen, ist das elektronische Daten Management System (EDMS) eingeführt worden. Im Bereich der Resonator-Präparation ist die Dokumentation nunmehr vollständig auf EDMS umgestellt. Im Laufe des Berichtszeitraumes sind etwa 1200 so genannte Work Packages erzeugt und abgearbeitet worden. Um auch Sonderbehandlungen wie die der Superstruktur dokumentieren zu können, wurden frei belegbare Arbeitspakete erzeugt und als Dokumentationswerkzeug etabliert.

Bis Mitte des Jahres wurden alle in Kollaboration mit KEK (Japan) und dem Industriepartner Numura Plating elektropolierten 9-zelligen Resonatoren ausgeliefert. Nach entsprechender reinraumtechnischer Behandlung und Nachbehandlung erreichten drei dieser Resonatoren Beschleunigungsfeldstärken von 35 MV/m (Abb. 127). Der Resonator AC 78 ist in den Heliumtank

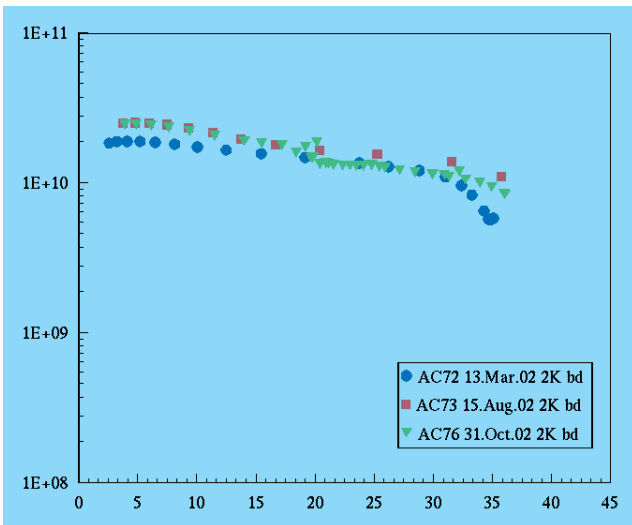


Abbildung 127: Kennlinien Q_0/E_{acc} (unbelastete Güte/Beschleunigungsfeldstärke) der elektropolierten Resonatoren im vertikalen Test.

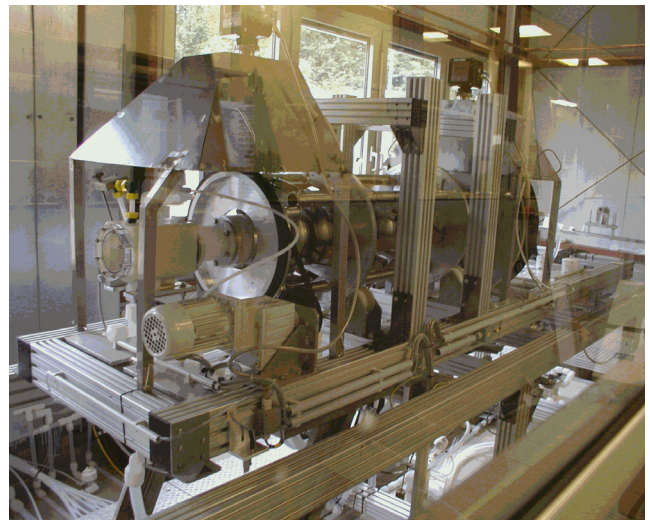


Abbildung 128: Elektro-Polituranlage mit eingebautem TTF-Resonator.

eingeschweißt worden und wird zu Beginn des Jahres 2003 einem Horizontaltest mit eingebauten HOM- und Leistungskopplern unterzogen.

Zur Realisierung der Elektropolitur (EP) bei DESY ist die Infrastruktur komplettiert und vollständig aufgebaut worden. Die Installation der bereits gelieferten Hardware wurde im Sommer beendet. Die Überwachung und Steuerung dazu wurde auf einer SPS und die Visualisierung auf einem PC realisiert. Zusätzlich ist es möglich, den Anlagenzustand im Internet zu überprüfen. Alle Systemkomponenten und die Betriebssoftware sind intensiven Tests unterzogen worden. Die sicherheitstechnische Überprüfung und Gefahrenanalyse der Anlage erfolgte im Herbst 2002 durch den TÜV-Nord. Die notwendige Betriebsgenehmigung für den Testbetrieb der Anlage wurde von der zuständigen Behörde zum Ende des Jahres erteilt, so dass ab Januar 2003 ein- und 9-zellige Resonatoren zum Einfahren der Anlage behandelt werden können (Abb. 128, 129).

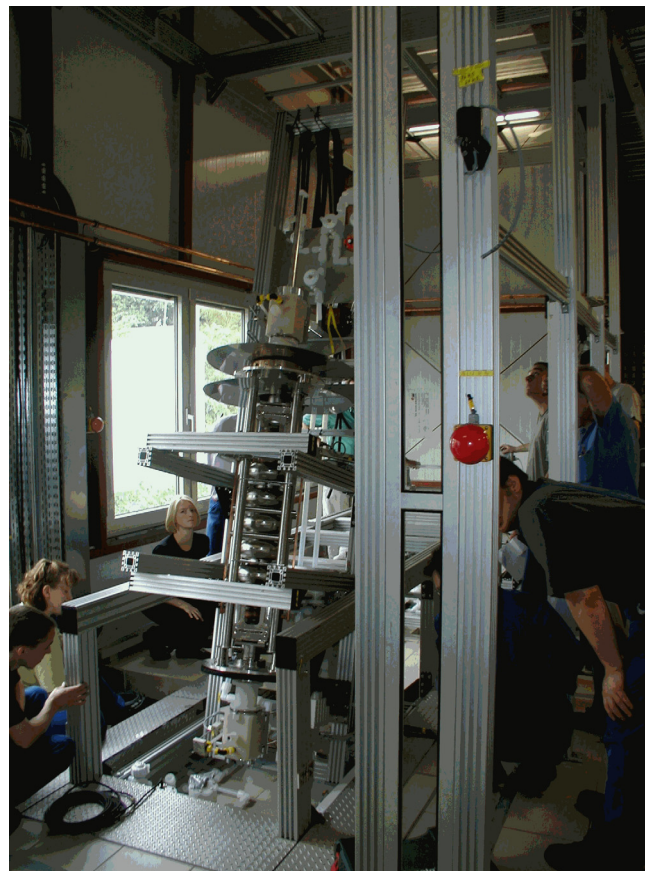


Abbildung 129: Probetrieb der Politur-Bench mit eingebautem TTF-Resonator.

Im Zusammenhang mit der Weiterentwicklung der supraleitenden Resonatoren und Kryomodulen für das TESLA-Projekt wurden verschiedene kryogenische Einzelkomponenten untersucht; unter anderem wurden HTSC-Stromzuführungen sowie Tieftemperatur- und Vakuum-taugliche Stromdurchführungen, die beim

spanischen CIEMAT-Institut entwickelt worden sind, erfolgreich getestet.

In Gebäude 47 (PETRA-Halle NO) wurde die Cavity-Test-Anlage (CTA) für 26 Tests von ein- bis dreizelligen supraleitenden Resonatoren betrieben. Die Kryotestaufbauten und der wechselnde Betrieb der 300 Watt-CTA-Kälteanlage wurden von der HERA-Kryomannschaft durchgeführt.

Es wurden etliche Fragestellungen und Planungen für die Heliumkälteversorgung des TESLA-Projektes bearbeitet. Rechenmodelle für die Simulation von TESLA-Kühlkreisläufen wurden erstellt und weiterentwickelt. Für den neuen, separaten XFEL und den für diesen Teil geänderten Technical Design Report wurden die Planungen des kryogenischen Teils durchgeführt. In einer Arbeitsgruppe „TESLA Kryo- und Modulatorhallen“ wurden die Detailplanungen für die sieben Standorte der TESLA Kryohallen mit Außenanlagen, Modulator- und Dämpfungsring-Versorgungshallen für das Planfeststellungsverfahren erstellt und abgeschlossen.

Energieversorgung – MKK –

Die Gruppe MKK betreibt die Energieversorgung bei DESY. Der Aufgabenbereich beginnt bei den drei 110kV-Einspeisungen und den 10kV-Schaltstationen für die Energieverteilung, die die Versorgung der gesamten Beschleunigeranlagen sowie die Niederspannungsanlagen für die Gebäudeversorgung umfasst. 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 der Gruppe.

Die wesentlichen Aktivitäten werden im Folgenden dargestellt:

Drehstromversorgung

Der Tausch der alten 10kV-Kabel wurde abgeschlossen. Die automatische Umschaltung des Rechenzentrums auf die zweite Einspeisung wurde in Betrieb genommen. Der technische Notdienst und die Telefon-

zentrale erhielten eine Notstromspeisung, damit bei einem längeren Netzfehler die USV-Anlagen (unterbrechungsfreie Stromversorgung) und die Rechner weiter versorgt werden.

Das Netzgerät für den Magnetteststand in Halle 2 erhielt einen neuen 10kV-Transformator. Die 400V-Schaltanlage für den Anbau der Halle 3 wurde für den TFF2-Betrieb erweitert.

Die Akkuanlagen für die 10kV-Hauptstationen HST A wurden nach 40 Jahren Betrieb erneuert. Die HST C von HERA erhielt eine zweite Sicherheitsbatterie, damit immer ein gepufferter Betrieb sichergestellt werden kann. Die USV-Anlagen für die Quenchprotection in den HERA-Hallen Ost und Süd wurden nach technischen Störungen erneuert.

Die Stromversorgung der neuen 900 W Helium-Kälteanlage in der PETRA-Halle NO wurde erneuert.

Magnetstromversorgung

Die Schwerpunkte lagen zum einen bei der Verbesserung der Betriebszuverlässigkeit der Netzgeräte in den laufenden Beschleunigern und bei der Weiterentwicklung der Netzgeräte für TTF2 bzw. TESLA. In den Betriebsräumen von HERA, PETRA, DORIS und TTF wurden PC-gestützte Terminals zur Bedienung und Kontrolle der Netzgeräte installiert. Für die NEG-Pumpen in den HERA-Wechselwirkungszonen wurden neue Netzgeräte beschafft. Die Stromkreise wurden aufgeteilt, um die Spannungen gegen Erde zu verringern.

Hochgenaue Digital-Analog-Converter sind am Markt nur noch schwer verfügbar und extrem teuer. Deshalb wurde ein kostengünstiger 16-Bit DAC für die Chopper- und Thyristornetzgeräte entwickelt. Er eignet sich für Unipolar- und Bipolarbetrieb. Der Temperaturkoeffizient liegt bei 2 ppm/°C.

Für TTF2 wurden die Netzgeräte spezifiziert und ausgeschrieben. Die Steuerungen für die neuen Netzgeräte wurden neu konzipiert und mit moderneren Komponenten ausgerüstet. Die Korrektornetzgeräte für TTF2 wurden neu entwickelt und mit einem FPGA von Altera, der die gesamte Steuerung, Regelung und das Interface zum Kontrollsystem übernimmt, ausgerüstet. Die

Leistungsteile sind modular aufgebaut. Sie werden parallel geschaltet, um die erforderlichen Stromstärken zu erreichen.

Für die Magnetfeldmessungen der normalleitenden Magnete in Halle 2 wurde ein neues Netzgerät ($I_{\max} = 1500 \text{ A}$) mit Polwender beschafft. Mit einer bei MKK entwickelten Elektronik lässt sich der Ausgangsstrom auf Null Ampere herunter geregelt fahren.

Für die Elektropolituranlage in Halle 3 wurde ein Netzgerät mit den Nenndaten 1500 A und 30 V aufgestellt und in Betrieb genommen. Der TÜV Hamburg hatte eine Reihe von Forderungen an die Sicherheit, die bei dem Gerät mit berücksichtigt wurden.

In der HERA Halle West wurden vier Choppernetzteile versuchsweise mit einer zusätzlichen Überstromauslösung ausgerüstet. Diese funktioniert problemlos unabhängig von der internen Auslösung, die auf dem Gleichstromwandler für die Regelung basiert. Dies bedeutet einen zusätzlichen Schutz für die supraleitenden Korrekturmagnete.

Die Netzgeräteausfall-Meldung bei HERA wurde überarbeitet. Diese Meldung triggert den Protonenkicker, um die Protonen bei einem drohenden Strahlverlust gezielt in den Dump zu leiten. Die Zeitstaffelung wurde derart verändert, dass zuerst der Protonen-Dump gefeuert wird und erst danach das Netzgerät herunterfährt. Damit wird eine unnötige Aktivierung von HERA vermieden.

Das Netzgerät für den ehemaligen ZEUS-Kompensatormagnet (1250 A und 8 V) wurde in die Magnetmesshalle 54 verlegt, um supraleitende Magnete und Dumpschalter zu messen bzw. zu testen. Die Steuerung und Regelung musste hierfür umgebaut und angepasst werden.

Die Magnetstromversorgungen von DESY II und III liefen sehr zuverlässig. Das Isolieröl der DESY II-Summendrossel wurde regelmäßig auf den Gasgehalt hin untersucht. Die zuvor beobachtete Gasanreicherung des Isolieröls erwies sich als unbedenklich. Die Ursache war die erhöhte Gaslöslichkeit des Isolieröls nach der Befüllung. Die gelösten Gaskonzentrationen nähern sich deutlich dem stationären Zustand. Eine Anreicherung mit den so genannten Schadgasen tritt nicht mehr auf.

Die alten mechanischen Kurzschlusschalter, die die DESY-Magnetstromkreise bei Störungen, wie etwa Überspannung in den Netzgeräten, schützen, wurden durch neuentwickelte Thyristorschalter ersetzt.

Senderstromversorgung

Der 2 500 kVA-Stufentransformator in PETRA NL wurde beim Hersteller komplett überholt und instand gesetzt. Der Stufentransformator steht jetzt als Reserve für die Senderanlagen DORIS NL sowie PETRA SL und SR zur Verfügung.

Für die PETRA-Senderstromversorgungen wurde eine neue 10 kV-Schaltanlage beschafft. Als Neuerung wurden Vakuumleistungsschalter mit Magnetantrieb eingebaut. Der Magnetantrieb ist wesentlich einfacher aufgebaut, wodurch sich die Betriebszuverlässigkeit wesentlich verbessern soll.

Das neue Klystron-Crowbar mit lichtgetriggerten Thyristoren, LTT-Crowbar, wurde erfolgreich getestet und steht für den Einbau in der Montagezeit 2003 zur Verfügung. Das LTT-Crowbar besteht aus 14 in Reihe geschalteten Hochspannungsthyristoren, die 50 kV-Gleichspannung sicher sperren können. Ein weiterer wichtiger Vorteil ist, dass die Thyristoren die großen Kondensatorbänke und den langen Nachlaufstrom („follow-on current“) von der DESY II-Senderstromversorgung führen können.

Ein 80 kV LTT-Crowbar ist in der Planung. Es soll die Ignitron-Crowbars, die mit Quecksilber arbeiten und kaum noch am Markt verfügbar sind, ersetzen.

Die neuen Transientenrekorder für die Netzgeräte der HERA-Senderstromversorgungen wurden in Betrieb genommen.

Wasserkühlung

Nach der Erhöhung der Luminosität stellten sich stellenweise Engpässe im HERA-Wasserkühlkreislauf ein. Um den Druck in der Rücklaufleitung abzusenken, musste die dritte Boosterpumpe mit in Betrieb genommen werden. Dadurch steht keine Reservepumpe mehr zur Verfügung.

Die Kaltwassererzeuger wurden generalüberholt. Es wurde versuchsweise ein Kaltwassererzeuger auf das Kältemittel R134a umgestellt, da das Kältemittel R12 nicht mehr am Markt verfügbar ist. Die ersten Betriebserfahrungen sind recht positiv, so dass auch die anderen Kaltwassererzeuger umgestellt werden sollen. Der Betrieb mit dem neuen Mittel zur Härtestabilisierung des Brunnenwassers lief recht gut. Die im Vorjahr beobachteten Kalkablagerungen an den Wärmetauscherplatten traten nicht mehr auf. Die Ursache lag in einer Störung der Dosierpumpe.

TESLA und TTF

Die Gruppe MKK arbeitete intensiv bei der Planung und bei der Erstellung der Unterlagen für das TESLA-Planfeststellungsverfahren mit. Der Platz- und Raumbedarf für Energieversorgung, Wasserkühlung und Lüftungsanlagen wurde ermittelt. Die Betriebsgebäude wurden entworfen und in die Planungsunterlagen eingearbeitet. Eine Studie über die Wärmeauskopplung aus den TESLA-Kühlanlagen und die mögliche Einspeisung in Fernwärmanlagen der Umgebung kommt zu dem Ergebnis, dass die Abwärme unter bestimmten Umständen wirtschaftlich genutzt werden kann. Ein Prototyp für die Puls kabel der TESLA-Modulatoren wurde ausgeschrieben und bestellt. Die Abnahme des Kabels fand statt. Die Auslieferung soll Anfang 2003 erfolgen

Ein Mustercontainer für TTF2, bestehend aus drei miteinander verschraubten Elektronikschränken, wurde aufgebaut. Die Höhe wurde mit 1.20 m so gewählt, dass sie im Elektronikkanal des Tunnels aufgestellt werden können. Die drei Schränke werden über einen internen Luftkühler mit Kaltwasser zurückgekühlt. Die Luft wird mit mehreren Sensoren auf Temperatur und Rauch überwacht.

Die Schaltschrankeinheit kann fünf Choppernetzgeräte mit 400 A mit der gesamten Elektronik und dem Netztransformator aufnehmen. Die Choppernetzgeräte lassen sich über Steckverbindungen und fest montierte Gabelkontakte schnell auswechseln. Der fünfte Chopper dient als Störreserve. Er kann über Motorschutzschalter auf jeden Chopper geschaltet werden und die Funktion ersetzen. Die Regelelektronik wird dabei ebenfalls umgeschaltet. Die Umschaltung erfolgt ferngesteuert über eine speicherprogrammierbare Steuerung (SPS).

Die Schaltschrankeinheit ist für den Einbau in einen Container mit Andocksystem vorgesehen. Dieses umfasst die 400 V-Drehstromversorgung, acht Kabelanschlüsse für 400 A und 185 mm², sieben Koaxkabel für die PSCs, 37-polige Steckverbindung für Steuerkabel und vier Kupplungen für Kalt- und Kühlwasser.

Arbeitssicherheit

Bei MKK wurden erhebliche Anstrengungen unternommen, um Arbeitsunfällen vorzubeugen. Es wurden umfangreiche Schulungen durchgeführt und Arbeitsanweisungen erstellt. Die MKK-Betriebsanweisung wird zur Zeit überarbeitet und den aktuellen Vorschriften und Normen angepasst. Die Gefährdungsanalysen an den Arbeitsplätzen werden erarbeitet.

Beschleunigerplanung – MPL –

Die Gruppe MPL ist zuständig für die Planung und Aufstellung von Beschleunigerstrukturen in Tunneln und Experimentierhallen und die Koordination von Beschleunigeraufstellungen. Eine andere wichtige Aufgabe der Gruppe ist die Entwicklung von Komponenten für die supraleitenden Beschleuniger, Qualitätskontrolle und Materialuntersuchungen an Niob und Niob-Legierungen für supraleitende Resonatoren.

Beschleunigeraufstellungen

Bei TTF2 wurden für die Sektionen Kollimatorstrecke und temporäre Strahlführungen (Seeding/Undulator, 17 m und 12 m) alle Konstruktionen für Magnetunterbauten und Halterungen verschiedener Komponenten wie OTRs, Pumpen, Ventile usw. abgeschlossen. Aufstellungspläne für die Betonsteine, die Gestelle und die Halterungen wurden erstellt. Die Fertigung der Komponenten ist nahezu abgeschlossen, Betonsteine sind gesetzt, Magnetunterbauten, Kammerhalterungen usw. wurden vormontiert. Für die Sektionen BC3 und Injektion wurden neue Betonsteine entworfen sowie unter anderem Magnetunterbauten, Pumphaalterungen und OTR-Wire Aufstellungen mit Justierung konstruiert. Um die Einheitlichkeit von Komponenten zu erhalten, wurde die Übernahme von MPL-Unterbauten mit

HASYLAB koordiniert. Nach dem Ersatz von ACC6 durch eine 12 m lange temporäre Strahlführung wurde ein neuer Kryostat-Endcap-Unterbau für ACC5 auf Hallenniveau von der Gruppe MPL konstruiert und gefertigt.

Fertigung von nahtlosen Resonatoren

Durch Innenhochdruckumformung (IHU) sind zum ersten Mal dreizellige Resonatoren der TESLA-Form aus massivem Niob hergestellt worden (Abb. 130). Die Umformung von allen drei Zellen erfolgte simultan. Die aus dicken Blechen durch Drücken und Drückwalzen gefertigten nahtlosen Rohre besitzen eine akzeptable IHU-Tauglichkeit, so dass praktisch alle Rohre erfolgreich umgeformt werden konnten. Aus kürzeren Rohren sind neue zweizellige Resonatoren gebaut worden. Die HF-Tests sind für das Jahr 2003 geplant. Die Rechnersteuerung und die Simulationsrechnungen des Umformvorganges wurden auf mehrzellige Resonatoren erweitert. Für die Fertigung von mehrzelligen Resonatoren war die Entwicklung der Einschnürung im Irisbereich erforderlich. Hierzu wurden bereits beim DESY und bei Fremdfirmen Versuche gemacht, wobei verschiedene Verfahren mit provisorischen Hilfswerkzeugen ausprobiert wurden. Daher wurde eine Einschnürvorrichtung konstruiert, gefertigt und an einer Drehbank getestet. Die Versuche mit Kupfer-Rohren verliefen erfolgreich, so dass das Konzept für eine Neukonstruktion übernommen wurde.

In Zusammenarbeit mit KEK (Japan) sind drei neue einzellige, innen mit Niob ausgekleidete Cu-Resonatoren der TESLA-Form durch IHU gefertigt worden. Das nahtlose NbCu-Rohr ist bei KEK nach einem neuen Verfahren – Tiefziehen und Strangpressen – hergestellt worden. Aus vorangegangenen Versuchen hat sich ergeben, dass es erforderlich ist, die einzelnen Matrizen abstandssymmetrisch zu steuern, um ein Überdehnen einzelner Zellen zu verhindern. Eine neue Vorrichtung wurde konstruiert, mit der TESLA-Resonatoren mit bis zu drei Zellen vorgeformt werden können. Die Vorrichtung erhält die Symmetrie der Zellenabstände während der Verformung. Diese können dann nach dem Fertigformen und Kalibrieren zu Einheiten mit neun Zellen zusammengeschweißt werden. Die Außenform der Zellen wurde entsprechend den Versuchen und Programmrechnungen vorgegeben.



Abbildung 130: Dreizellige und zweizellige nahtlose Niob-Resonatoren, die durch IHU hergestellt wurden.

Tuner für TESLA-Resonatoren

Der Tuner wurde hinsichtlich Kostenreduzierung der Fertigung, der Montage und Werkstoffersparnis überarbeitet. Die zweimal 24er Knochenstruktur aus einem Vollrohr wurde bei gleich bleibender Steifigkeit auf zweimal acht Einzelknochen, welche aus Plattenmaterial gefertigt und zwischen drei Ringen eingeschweißt werden, neu konzipiert. Der Antrieb der ersten Tuner-generation wurde übernommen und an die Struktur angepasst. Der Heliumtank, der ursprünglich für 7-Zeller ausgelegt war, wurde für den Betrieb von 9-Zellern überarbeitet. Die Fertigung des Tuners wurde von der Gruppe MPL mitbetreut, die Lieferung erfolgte Ende 2002 (Abb. 131). Montage und Testbetrieb sind für Anfang 2003 geplant.

Werkstoffuntersuchungen

Das Labor für Materialuntersuchungen ist weiter ausgebaut worden. Neue Geräte für die Gasanalyse sind installiert worden. Die interstitiellen Verunreinigungen wie Sauerstoff, Stickstoff und Wasserstoff in Niob können jetzt auf 1 Gw. ppm genau nachgewiesen werden.

Außerdem werden folgende Prüfungen im Labor durchgeführt:



Abbildung 131: Links: Tuner mit dem Heliumtank; rechts: eine halbe Schale des Tuners.

- Anfertigung von Mikroschliffen und Analyse der Mikrostruktur mit dem Lichtmikroskop und REM,
- Messungen des Restwiderstandsverhältnisses RRR an Niob-Proben und Niob-Resonatoren,
- Zug- und Tiefungsversuche bei verschiedenen Dehnraten,
- Härteprüfungen und Untersuchungen der Oberflächenrauheit,
- Chemische und elektrochemische Behandlungen von Niob-Proben und kleinen Niob-Teilen,
- Messungen der Wärmeleitfähigkeit von Niob bei tiefen Temperaturen.

Diese Arbeiten ermöglichen eine vom Niob-Produzenten unabhängige Qualitätskontrolle des Niob und sind für R&D notwendig.

Im Jahre 2002 wurde an folgender Problematik gearbeitet:

- Anschaffungen und Qualitätskontrolle von Niob-Blechen und -Teilen für 30 neue TTF-Resonatoren,
- RRR-Messungen von neunzelligen und einzelligen Resonatoren in der Halle 3,
- Untersuchungen der Qualität des Niob von neuen potentiellen Niob-Lieferanten (CBMM – Brasilien, Cabot – USA, ITEP – Russland, NEN – China),
- Entwicklung der Fertigung und Untersuchung der Eigenschaften von nahtlosen Rohren für Hydroforming,
- Entwicklung eines Systems auf SQUID-Basis für Defektsuche in Niob,
- Analyse der Schweißqualität von in der DESY-Anlage geschweißtem Niob (mit der Gruppe MVA),

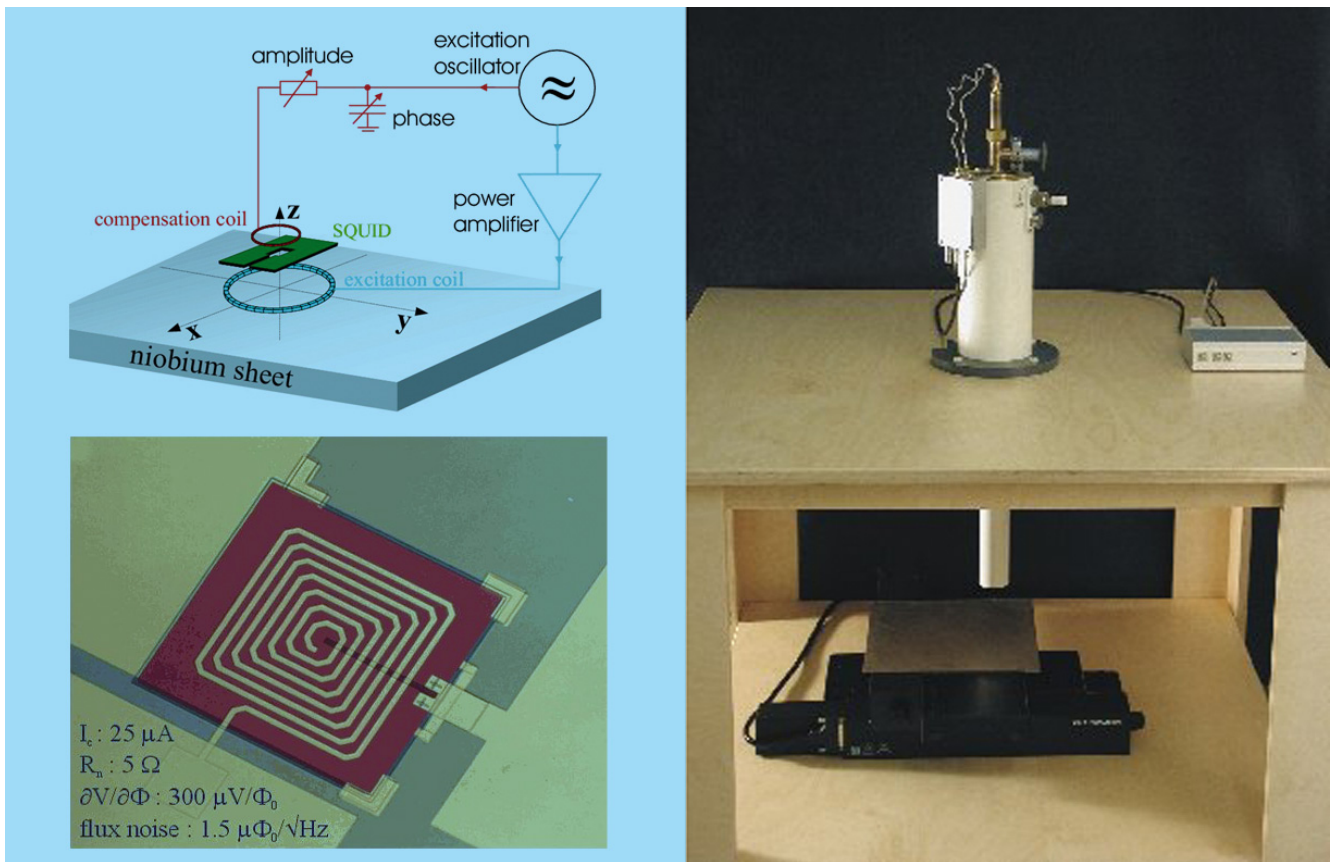


Abbildung 132: Links: das Messprinzip und das Niob-SQUID; rechts: die Scanning-Apparatur mit dem SQUID-Sensor.

- Beschichtungsqualität von Faltenbälgen für den Leistungseinkoppler,
- R&D an Niob zusammen mit UNIPRESS (Warschau, Polen) und Surface Spectroscopy Laboratory (Cracow, Polen),
- Inbetriebnahme der Vorrichtung für die Wärmeleitfähigkeitsmessungen bei tiefen Temperaturen und Durchführung von Messungen.

Zwei Beispiele von Materialuntersuchungen werden im Folgenden dargestellt:

Defektsuche in Niob auf SQUID-Basis:

Untersuchungen zur Realisierbarkeit eines SQUID basierten Messsystems zur zerstörungsfreien Prüfung von Niobhalbzeug sowie Untersuchungen zur Klassifizierung verschiedener Materialfehler und Simulations-

rechnungen zur Optimierung der Messverfahren sind durchgeführt worden. Eine Apparatur zum Abtasten von Niob-Blechen, die das Wirbelstromverfahren benutzt, ist in Zusammenarbeit mit der Universität Gießen und der Firma WSK entwickelt worden. Anstelle der konventionellen Pick-up Spule ist ein Niob SQUID eingesetzt worden (Abb. 132). Dank der relativ hohen Arbeitsfrequenz von 100 kHz kann das System ohne Abschirmung von parasitären magnetischen Feldern eingesetzt werden. Die hohe Empfindlichkeit erlaubt, bis zu 50 μm kleine Einschlüsse zu detektieren. Es ist geplant, die 600 Niob-Bleche für die neuen 30 TTF-Resonatoren sowohl mit der DESY-Wirbelstromapparatur als auch mit dem SQUID-System zu scannen.

Reinheitsuntersuchungen an dem in der DESY-Elektronenstrahl-Schweißanlage geschweißten Niob:

Frühere Untersuchungen der Niob-Reinheit in den bei der Industrie erzeugten Schweißnähten haben eine Degradation des RRR-Wertes gezeigt. Die RRR-Werte sinken normalerweise von 300 auf 250–270. Die neue DESY Elektronenstrahl-Schweißanlage gibt die einmalige Möglichkeit, das Absorptions-Desorptions-Verhalten beim Schweißen von Niob in extrem hohem Vakuum (bis 10^{-8} mbar) zu analysieren. Theoretisch ist es möglich, die Reinheit von Niob durch das Schmelzen mit dem Elektronenstrahl im hohen Vakuum zu verbessern. Die ersten Messungen der Verteilung von RRR und interstitiellen Verunreinigungen zeigen (Abb. 133), dass eine Purifikation der Schweißnaht im Vakuum besser als 5×10^{-6} mbar wirklich stattfindet. Für den thermisch betroffenen Bereich in der Nähe der Schweißnaht beobachtet man eine RRR-Degradation von 5–10%. Ob sich diese Degradation durch Schweißoptimierungen eliminieren lässt, werden weitere Untersuchungen zeigen.

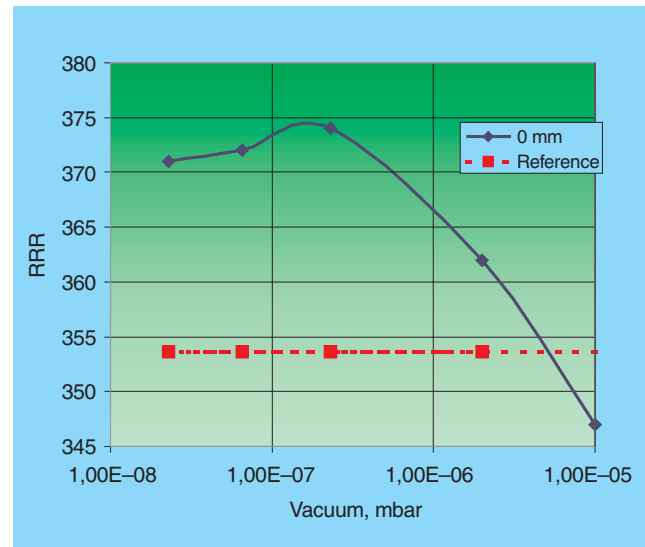


Abbildung 133: Druckabhängigkeit der RRR-Werte in der Schweißnaht.

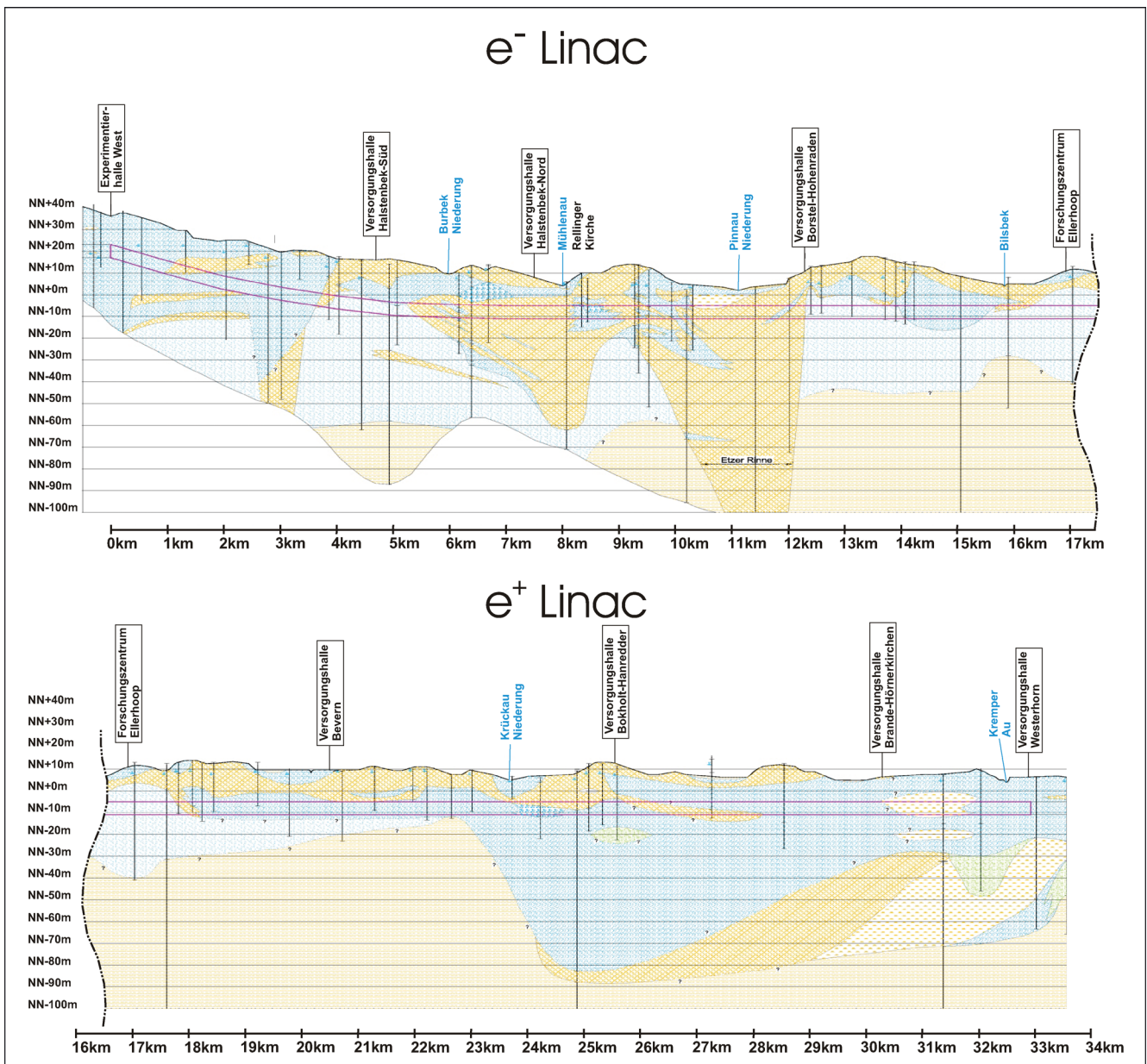


Abbildung 134: Das hydrogeologische Profil entlang der TESLA-Trasse. Der TESLA-Tunnel liegt in wasserdurchlässigen und -undurchlässigen Schichten. Die wasserdurchlässigen Bereiche bestehen hauptsächlich aus quartären und tertiären Sanden. Die oberen wasserundurchlässigen Bereiche bestehen aus eiszeitlichen Geschiebemergel- und Lehmlagerungen. Darunter befinden sich tertiäre Meeres- und Flussablagerungen. Alle Schichten unterhalb des Grundwasserspiegels sind mit Wasser gesättigt.

Voruntersuchungen zum TESLA Linear-Collider Projekt

Ein wichtiger Meilenstein für die Genehmigung von TESLA war die positive Stellungnahme, die der Wissenschaftsrat im Juli nach Begutachtung des Technical Design Report (TDR) abgegeben hatte. Diese Stellungnahme wurde vom WR im November in eine Empfehlung an die Bundesregierung umgewandelt. Die Empfehlung war mit zwei Auflagen verbunden. Eine war die Ausarbeitung einer technischen Lösung für den Freie-Elektronen Laser (XFEL) mit einem separaten Linearbeschleuniger, die andere eine genauere Darstellung der möglichen Organisation des Global Accelerator Networks (GAN) für den Linear-Collider. Es wurde ein umfangreicher Bericht zur technischen Auslegung des separaten Linearbeschleunigers erstellt und ein detaillierter Vorschlag zur Organisation der internationalen Linear-Collider Kollaboration ausgearbeitet. Beide Berichte wurden im November an das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) übergeben.

Technische Evaluierung der Linear-Collider Konzepte

Im Jahr 2001 wurde vom International Committee for Future Accelerators (ICFA) ein technisches Komitee zur Evaluierung der vorliegenden Konzepte zum Bau eines e^+e^- Linear-Colliders der nächsten Generation initiiert. Dieses Technical Review Committee (TRC) schloss seine Arbeit gegen Ende des Berichtszeitraums 2002 ab und verfasste einen etwa 400-seitigen Bericht. Im TRC haben 30 Beschleuniger-Experten aus den weltweit führenden Labors mitgearbeitet, davon fünf Mitarbeiter von DESY. Die beiden in Konkurrenz stehenden Konzepte für einen nächsten e^+e^- Linear-Collider (500 GeV Kollisionsenergie, erweiterbar auf etwa 1 TeV) sind TESLA und der auf konventioneller

Technik mit Kupfer-Resonatoren bei 11.4 GHz (X-Band) basierende NLC/JLC, der in Zusammenarbeit zwischen den USA und Japan entwickelt wird (ein Alternativkonzept bei 5.7 GHz wird in Japan ebenfalls untersucht). Das Two-Beam Konzept CLIC (CERN) wird als mögliche Maschine der übernächsten Generation (Energie 3–5 TeV) ebenfalls diskutiert. Die vom ICFA dem TRC gestellten Aufgaben waren:

- den gegenwärtigen technischen Status der vorliegenden Linear-Collider Konzepte festzustellen und zu bewerten, einschließlich des Potentials, alle Maschinen Entwurfs-Parameter für 500 GeV Kollisionsenergie zu erreichen,
- das Potential für das Erreichen höherer Kollisionsenergien als 500 GeV festzustellen und zu bewerten,
- die in den nächsten Jahren noch erforderlichen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten (R&D) zu identifizieren,
- Vorschläge für zukünftige Internationale Zusammenarbeit zu unterbreiten.

Die detaillierte Analyse und Bewertung der Linear-Collider Entwürfe wurde durch drei Arbeitsgruppen durchgeführt:

- „Energy Performance“ Arbeitsgruppe: Technische Komponenten des Linearbeschleunigers sowie der Sub-Systeme.
- „Luminosity Performance“ Arbeitsgruppe: Strahldynamik im Linearbeschleuniger und in den Sub-Systemen wie zum Beispiel Dämpfungsringen, Erreichbarkeit und Stabilisierung der Luminosität.
- „Reliability and Operability“ Arbeitsgruppe: Zuverlässigkeit und Effizienz des Betriebs, Einfluss des Ausfalls technischer Komponenten.

Im Folgenden werden die wichtigsten Schlussfolgerungen des Komitees bezüglich des TESLA Linear-Colliders zusammengefasst:

Es wurde festgestellt, dass die für den 500 GeV Linear-Collider erforderliche supraleitende Beschleuniger-Technologie im Wesentlichen an der Testanlage TTF demonstriert worden ist. In der nach ihrer Bedeutung in vier Kategorien geordneten Liste erforderlicher R&D Arbeiten hat der 500 GeV TESLA-Entwurf in der ersten Kategorie (Demonstration der Machbarkeit) im Gegensatz zum NLC/JLC somit keinen Eintrag. Für die Energieerhöhung auf 800 GeV wird allerdings ein solcher Nachweis der Machbarkeit durch Bau und Betrieb eines vollständigen Moduls mit Kavitäten bei einem Gradienten von 35 MV/m noch für erforderlich gehalten (bei TTF wurde ein Gradient von 35 MV/m mit mehreren einzelnen 9-zelligen Resonatoren bereits erreicht). Außerdem weist das TRC darauf hin (Kategorie II in der R&D Liste), dass weitere Betriebserfahrung mit mehreren Modulen im Test-Linac über einen längeren Zeitraum und mit Strahlparametern nahe den TESLA-Entwurfswerten erforderlich ist. Dies wird mit der erweiterten Testanlage (TTF2) ab 2004 möglich sein.

In der kritischen Analyse der Gesamtkonzeption der TESLA-Anlage einschließlich der Sub-Systeme wie Strahlquellen, Dämpfungsringe, Final Focus usw. gelangt das Komitee in der Kategorie II zu einigen Empfehlungen für weitere R&D Arbeiten und Entwurfs-Studien. Hierzu gehört die Entwicklung eines Prototyps für das anspruchsvolle Injektions- und Extraktionssystem der Dämpfungsringe sowie eine genauere Untersuchung der Wechselwirkungszonen-Auslegung im Hinblick auf eine sichere und verlustfreie Strahl-extraktion. Es wird ebenfalls für erforderlich gehalten, die dynamische Apertur-Einschränkung der Dämpfungsringe durch nichtlineare Felder in den Wiggler-Magneten genauer zu untersuchen und gegebenenfalls eine Änderung des Magnet-Entwurfs vorzunehmen.

Im gesamten Problemkreis der Strahl-Physik und -Stabilität bestehen zwischen den verschiedenen Linear-Collider Konzepten trotz quantitativer Unterschiede in einer Reihe von Aspekten große Gemeinsamkeiten. So kommt das TRC zu dem Schluss, dass in allen Dämpfungsring-Konzepten kollektive Instabilitäten durch Wechselwirkung des Strahls mit Ionen- bzw. Elektronenwolken von großer Bedeutung sind.

Detaillierte Computer-Simulationen sowie experimentelle Studien an existierenden Speicherringen sind nötig, um sicherstellen zu können, dass die Dämpfungsringe im späteren Betrieb die für eine hohe Luminosität erforderliche exzellente Strahlqualität liefern.

Ein weiterer wichtiger Punkt für zukünftige R&D Arbeiten betrifft strahlbasierte Korrektur- und Optimierungsverfahren, mit denen die Erhaltung der Strahlqualität beim Transport durch den Linearbeschleuniger und das Final Focus System garantiert werden kann. Neben einer Weiterentwicklung von Computer-Simulationstechniken ist hier auch R&D auf dem Gebiet hochpräziser Strahldiagnostik notwendig.

Im Rahmen der Komitee-Arbeit hat sich eine fruchtbare und effiziente Kollaboration zwischen den Beschleunigerexperten aus den verschiedenen Laboratorien entwickelt, über die Grenzen der in Konkurrenz stehenden Linear-Collider Projektvorschläge hinweg. Die Fortsetzung und weitere Stärkung dieser internationalen Zusammenarbeit wird von allen Mitgliedern des Komitees als ein wichtiger Schritt auf dem Wege zur Realisierung eines Linear-Collider Projekts gesehen und unterstützt.

Vorbereitung des Planfeststellungsverfahrens für TESLA

Die Vorbereitungen des Planfeststellungsverfahrens wurden weiter vorangetrieben. Arbeitsgruppen innerhalb DESYs erarbeiteten die technischen Vorgaben und Rahmenbedingungen für die zu erstellenden Unterlagen. Grundlage dafür bildete zunächst der im März 2001 veröffentlichte Technical Design Report. Im Laufe der Begutachtung durch den Deutschen Wissenschaftsrat wurde eine neue Lösung für einen weitgehend unabhängigen Betrieb der Röntgenlaseranlage (XFEL) erarbeitet. Diese sieht einen eigenen Beschleunigertunnel für den XFEL vor, der an der Kältehalle in Borstel-Hohenraden beginnt. Diese Änderung wird zurzeit in die Unterlagen eingearbeitet.

Die TESLA-Planungsgruppe umfasst die bereits genannten DESY-Arbeitsgruppen sowie mehrere unabhängige Ingenieurbüros. Gemeinsam benutzte Werkzeuge, wie zum Beispiel EDMS, sowie regelmäßige

Besprechungen garantieren Informationsaustausch und gleichen Wissensstand. Besonderes Augenmerk wurde in diesem Jahr auf die Erarbeitung des Sicherheitskonzeptes und eines Design-Konzeptes für die Strahlaborber gelegt.

Intensiviert wurde die Information der Anlieger entlang der Trasse. In Gemeindeversammlungen, öffentlichen Veranstaltungen und Gesprächen mit direkt betroffenen Anwohnern wurden die Grundlagen der Planungen erläutert und die Bedenken der Anwohner diskutiert.

Eine Vorabversion der Unterlagen wurde dem Landesbergamt in Clausthal-Zellerfeld als der Planfeststellungsbehörde zu einer ersten Prüfung zugestellt. Gleichzeitig wurde die Gestaltung der digitalen Planfeststellungsunterlage und der zugehörigen Pläne festgelegt. Die Arbeiten sind so weit fortgeschritten, dass eine Einleitung des Verfahrens in der ersten Hälfte des Jahres 2003 möglich wäre.

Geologische Untersuchungen

Bei TESLA muss man sowohl beim Linear-Collider als auch beim Röntgenlaser die Strahlgestabilität besonders beachten. Bewegungen der Quadrupole bewirken Bahnänderungen der Teilchenstrahlen. In den Beschleunigerabschnitten führt das zur Aufweitung der Emittanz. Die Emittanz ist ein Maß für die Strahlgröße und -fokussierbarkeit. Eine Vergrößerung der Emittanz führt zu einer geringeren Luminosität und damit zu einer geringeren Ereignisrate beim Linear-Collider und einer geringeren Lichtausbeute beim Freie-Elektronen Laser. Direkt beeinflusst ist die Zentrierung der Elektronen- und Positronenstrahlen in der Wechselwirkungszone. Am Wechselwirkungspunkt beträgt die Strahlhöhe etwa 5 nm, die Strahlbreite ist wesentlich größer. Deshalb müssen hauptsächlich vertikale Drifts und Schwingungen der Strahlhöhe bis zu Werten deutlich kleiner als die Strahlhöhe kompensiert werden. In den XFEL-Undulatoren müssen die Licht- und Elektronenstrahlen auf der gleichen Achse laufen, da nur so die notwendige stimulierte Emission erfolgen kann. Jedoch sind hier die Stabilitätsanforderungen aufgrund der größeren Strahlmessungen geringer als für die Hochenergiephysik.

Der TESLA-Tunnel beginnt auf dem DESY-Gelände in Hamburg-Bahrenfeld und verläuft etwa in Richtung

Nordnordwest durch den gesamten Kreis Pinneberg bis zur Gemeinde Westerhorn. Er ist etwa 33 km lang und wird voraussichtlich mit einer Tunnelbohrmaschine bergmännisch aufgeföhren werden. Die Trasse liegt unter zwei Stadtteilen von Hamburg und fünfzehn Städten und Gemeinden im Kreis Pinneberg. Über weite Bereiche verläuft der Tunnel etwa in Richtung der Autobahn A23 von Hamburg nach Itzehoe. In Halstenbek kreuzt die Trasse die Autobahn. Wenige hundert Meter weiter verläuft der Tunnel unter der Kirche von Rellingen, einem Baudenkmal aus dem 18. Jahrhundert. Die geologischen Verhältnisse sind sehr gut geeignet für das Aufföhren eines Tunnels mit einer bentonitgestützten Schildvortriebsmaschine. Während der Bauzeit kommt es an der Oberfläche nur zu Setzungen in der Größenordnung von weniger als 1 cm. Diese Setzungen sind nach kurzer Zeit abgeklungen.

Für die im Staatsvertrag für TESLA vorgeschriebene Umweltverträglichkeitsprüfung ist ein hydrogeologisches Profil aufgrund bereits vorhandener und achtzehn neuer Bohrungen an ausgewählten Standorten erstellt worden (Abb. 134). Aufgrund der besonderen Situation in Rellingen wurde dort ein zusätzliches Gutachten mit Hilfe von drei weiteren Bohrungen erstellt. Der Baugrund entlang des gesamten TESLA-Tunnels besteht zu zwei Dritteln aus quartären eiszeitlichen Sanden, die zum Teil mit Kies und Findlingen durchsetzt sind, sowie tertiären Sanden und zu einem Drittel aus eiszeitlichem Geschiebemergel und -lehm.

Der Tunnel verläuft im Wesentlichen horizontal auf einer Höhe von acht Metern unter Normalnull (etwa der mittlere Meereswasserspiegel), das heißt, er folgt der Erdkrümmung. Die Erdüberdeckung beträgt zwischen 7 m in der Pinnauniederung und 23 m zwischen Borstel-Hohenraden und Kummerfeld. Auf der gesamten Länge liegt der Tunnel im Grundwasser. Das DESY-Gelände liegt fast dreißig Meter höher als im Mittel der Kreis Pinneberg, deshalb ist der TESLA-Tunnel auf den ersten Kilometern geneigt.

DESY vereinbarte 2002 eine Zusammenarbeit bei der technischen Planung von TESLA mit der Technischen Universität Hamburg-Harburg. Im Berichtszeitraum wurden vom Arbeitsbereich Geotechnik und Baubetrieb bodendynamische Untersuchungen der TESLA-Trasse vorbereitet. Bodenschwingungen bis zu einer Schwingungsfrequenz von 20 Hz können mit zwei Güralp-Seismometern synchron aufgezeichnet werden.

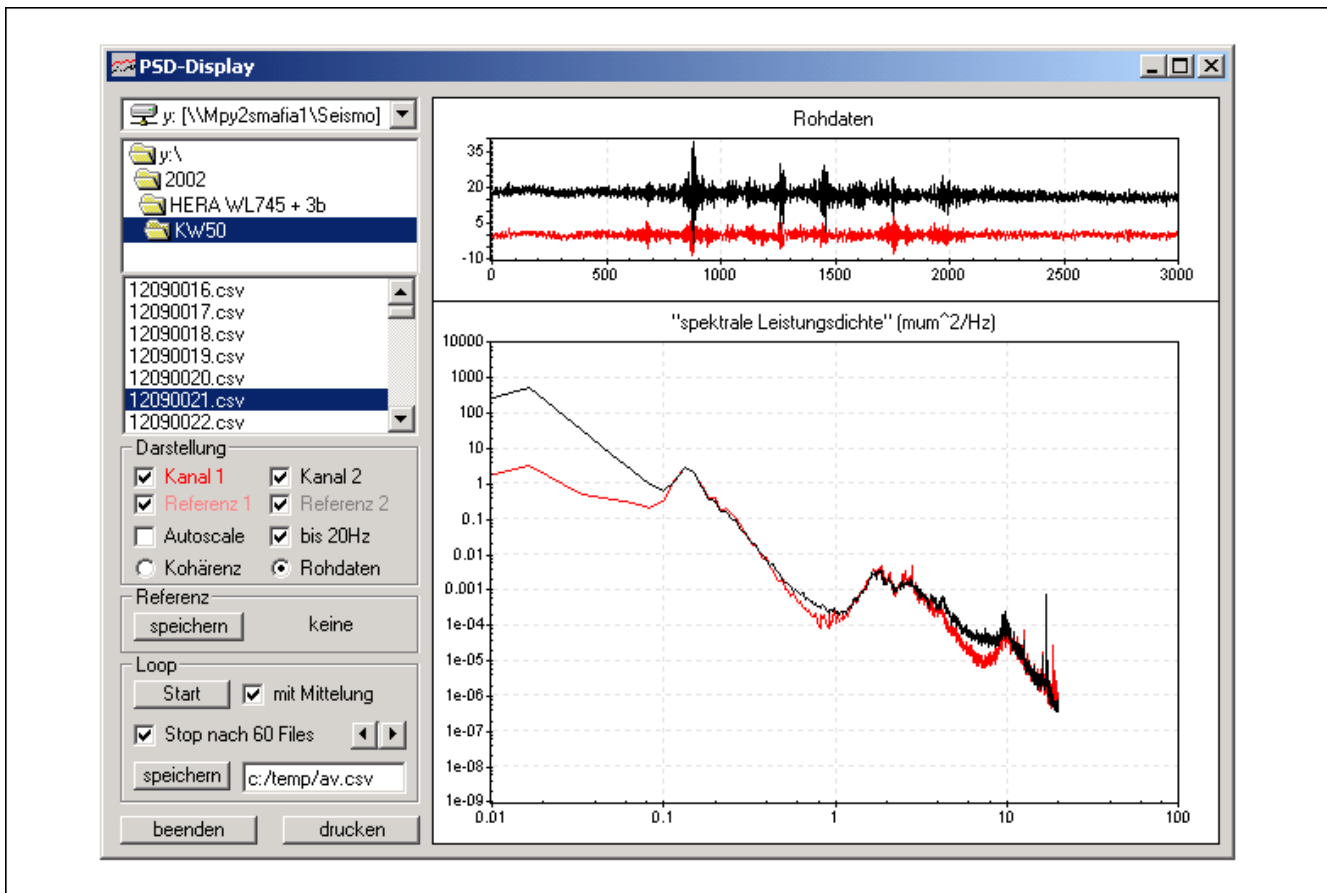


Abbildung 135: Spektrale Leistungsdichte gemittelt über eine Stunde und Seismometerdaten von einer Minute, gemessen im HERA-Tunnel und an der Geländeoberfläche.

Die von den Geräten gemessenen Geschwindigkeiten werden mit einer Abtastrate von 50 Hz aufgezeichnet.

In einer ersten Messserie wurden an verschiedenen Orten auf dem DESY-Gelände in Hamburg-Bahrenfeld Daten über mehrere Monate aufgenommen. In einer Messanordnung wurde ein Seismometer auf den Betonboden des HERA-Tunnels gestellt und das zweite direkt darüber auf die Geländeoberfläche. Dazwischen befinden sich etwa 20 m quartärer Sand. Der Grundwasserspiegel liegt etwa auf der Höhe des HERA-Tunnels.

Ein repräsentatives Ergebnis ist in Abbildung 135 dargestellt. Das obere Diagramm zeichnet die von den beiden Messinstrumenten über eine Minute (gleich 3000 Messpunkten) aufgenommenen Geschwindigkeiten in $\mu\text{m/s}$ auf. Die obere schwarze Kurve zeigt die an

der Oberfläche aufgenommenen Daten, die untere rote Kurve gibt die Daten aus dem HERA-Tunnel wieder. In dem unteren Diagramm sind die über eine Stunde gemittelten spektralen Leistungsdichten in $\mu\text{m}^2/\text{Hz}$ über der Frequenz in Hz aufgetragen. In erster Näherung ist das Leistungsspektrum umgekehrt proportional zur vierten Potenz der Frequenz.

Starke Abweichungen gibt es in der Nähe von 0.1 Hz und oberhalb von 1 Hz. Die niederfrequente Überhöhung entstammt der Meeresmikroseismik, die von den Brandungswellen des Atlantiks angeregt wird. Die höherfrequente Überhöhung, die von der Tageszeit und dem Wochentag abhängig ist, wird durch menschliche Aktivitäten angeregt. Die Anregungen durch Lastkraftwagen und Omnibusse werden durch weitere Überhöhungen zwischen 1 und 10 Hz sichtbar. Die scharfen Signale sind elektronische Störungen.

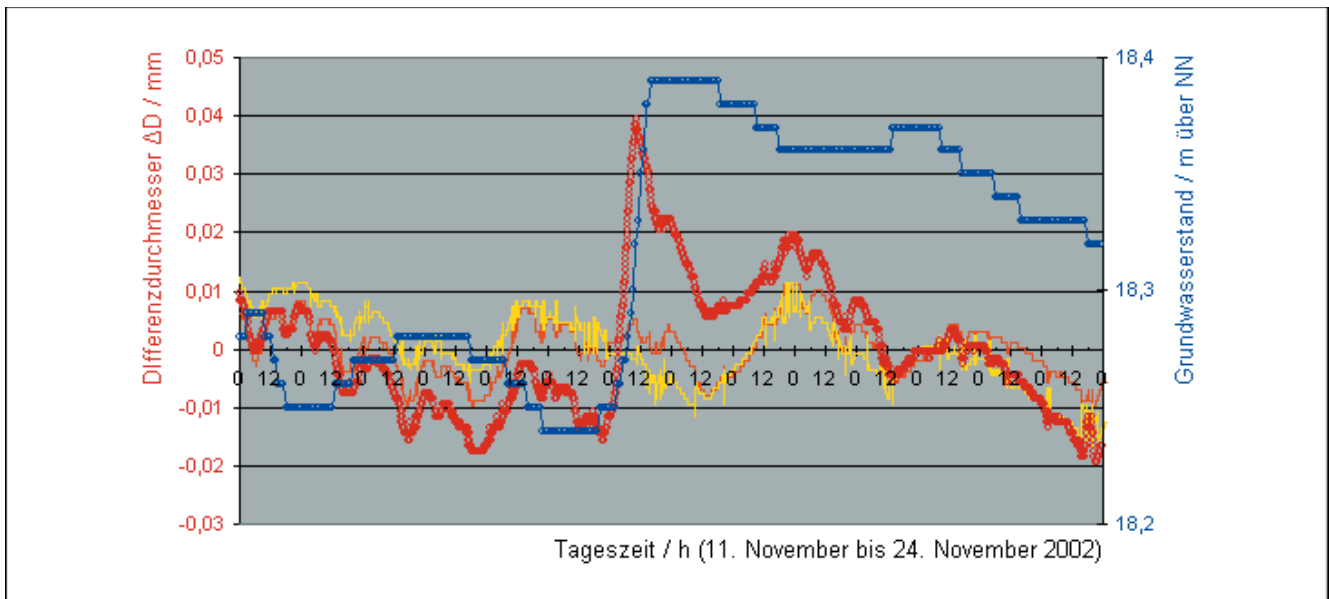


Abbildung 136: Grundwasserstand und der an drei Stellen im Abstand von 50 m gemessene vertikale Durchmesser des HERA-Tunnels.

Weiterhin erkennt man, dass die Dämpfung durch das Erdreich über dem HERA-Tunnel frequenzabhängig ist. Die über den gesamten Frequenzbereich gemittelte Dämpfung beträgt etwa 20%. Der Anstieg der spektralen Leistungsdichte im HERA-Tunnel ab etwa 10 Hz wird vermutlich von rotierenden Maschinen wie Turbopumpen für das Isolationsvakuum der Kryostaten und dem zirkulierenden Kühlwasser verursacht.

In einem ersten Messaufbau wird auch die Bewegung des HERA-Tunnels unter anderem in Abhängigkeit vom Grundwasserstand untersucht. Dafür wurden im Abstand von 50 m drei Messstangen installiert, die den vertikalen Durchmesser des Tunnels messen. Eine Grundwassermessstelle wurde in der Nähe errichtet, um den Grundwasserpegel zu messen.

In Abbildung 136 ist ein erstes Ergebnis dargestellt. Aufgrund von Regenfällen steigt das Grundwasser innerhalb eines halben Tages um 14 cm an. Während bei den äußeren Stangen nur der Einfluss der Tunneltemperatur gemessen werden kann, ändert sich der Tunneldurchmesser an der mittleren Position um 50 μm . Jedoch geht der Durchmesser wieder auf den Ausgangswert zurück, ohne dass der Pegel in dem gleichen Maße fällt. Der Tunneldurchmesser ändert sich wohl nur aufgrund einer Pegeländerung. Es sind jedoch noch wei-

tere Messungen zum Verständnis der Abhängigkeiten notwendig.

Im Jahr 2003 sollen sowohl diese Messungen der Tunnelbewegung in Abhängigkeit vom Grundwasserstand als auch die seismischen Messungen insbesondere entlang der TESLA-Trasse und an Vergleichsorten fortgeführt werden.

TESLA Test Facility (TTF)

Linac-Betrieb und Erweiterungen

Im Rahmen der Voruntersuchungen zum TESLA Projekt wird bei DESY der Linearbeschleuniger der TESLA Test Facility betrieben. In seinen unterschiedlichen Ausbaustufen wird er zum einen für den Test von neu entwickelten Beschleunigerkomponenten genutzt, zum anderen aber auch als so genannter Treiber für einen Freie-Elektronen Laser (FEL).

Im Berichtszeitraum wurde der TTF Linac Beschleuniger zunächst bis Mitte März für den FEL betrieben. Hierbei stand in einigen Experimenten die Wechsel-

wirkung der erzeugten Laserstrahlung mit Festkörpern im Vordergrund, in anderen wurden hochionisierte Xenon Cluster erzeugt. In beiden Fällen ging es darum, erste Erfahrung mit der Nutzung der brillanten Strahlung (bis zu 10^{13} Watt/cm²) des FELs zu sammeln. Die gewonnenen Ergebnisse werden im Kapitel HASYLAB (S. 99ff) ausführlich beschrieben.

Ab Mitte März standen dann Untersuchungen im Hinblick auf hohe Beschleunigungsgradienten im Vordergrund. Die Feldstärke im ersten der beiden Beschleunigermodule wurde mit dem Ziel erhöht, die Grenzen des Moduls zu ermitteln. Von diesem so genannten Modul 3 wurde nach den früher durchgeführten Hochfrequenzmessungen ein über alle acht Beschleunigungsstrukturen gemittelter Gradient von 22.7 MV/m erwartet. Dieser Wert wurde 1999 in einem Betrieb über 11 Stunden ermittelt. Da für den Test nur ein Klystron zur Verfügung stand und der maximale Gradient im zweiten installierten Modul durch Probleme mit einem Hochfrequenzeinkoppler auf etwa 15 MV/m begrenzt war, wurde nach ersten Untersuchungen bald darauf verzichtet, beide gemeinsam zu betreiben. Modul 2 wurde abgeschaltet. Durch Bestimmung der Elektronenergie vor und nach der Beschleunigung in Modul 3 konnte zunächst der Gradient von 22.7 MV/m bestätigt werden. Ein längerer Betrieb mit Strahl wies jedoch auf höhere, nicht tolerierbare kryogenische Verluste hin. Als stabil wurde schließlich ein maximaler Gradient von 21.4 MV/m ermittelt, bei dem 800 μ s lange Strahlpulse beschleunigt werden konnten. Die während der Beschleunigung ermittelten zusätzlichen kryogenischen Verluste lagen dabei unter 2 W für das gesamte Modul. Während des gesamten Tests von Modul 3 wurden viele Daten aufgezeichnet. So zeigte sich beispielsweise, dass die bei einem angestrebten Betrieb mit 800 μ s langen Strahlpulsen, 8 mA Strahlstrom und 1 Hz Pulswiederholfrequenz tatsächlich erreichte integrierte Ladung mit bis zu 165 mCoulomb pro Tag nur etwa 30% der geplanten Ladung war. Dies hatte seine Ursache nicht im Betrieb des Beschleunigermoduls – hier wurde eine Effizienz von über 90% erreicht – sondern war unter anderem begründet in nicht akzeptablem Strahlverlust im Bereich des Undulators, der nach wie vor im hinteren Teil des TTF Linac installiert war. Für den Ausbau des TTF Linac zur TTF2 Nutzeranlage wurde hiermit die Richtigkeit der Entscheidung für den Einbau eines Kollimatorsystems bestätigt. Nur der nutzbare Teil des Elektronenstrahls wird zum Undulator durch-

gelassen. Die Aufzeichnung der Daten ermöglichte auch erstmalig eine statistische Analyse von Quenchen, dem Zusammenbruch der Supraleitung in einzelnen Beschleunigungsstrukturen, hervorgerufen durch lokale Erwärmung. Der Beginn und zeitliche Verlauf eines solchen Quenches wurde durch Aufzeichnung der Beschleunigungsfeldstärke innerhalb vieler Hochfrequenzpulse zugänglich. Gegen Ende der Betriebsperiode wurden nur noch einzelne Quenche pro 24 Stunden Betriebstag nachgewiesen. Dieser Erfolg wurde durch eine verbesserte Logik des Regel- und Kontrollsystems für Beschleunigungsgradient und -phase ermöglicht.

Nach insgesamt 50 Tagen Betrieb bei hohem Gradienten begann Anfang Mai eine dreimonatige Betriebsunterbrechung. In ihr wurden nachfolgend beschriebene Umbauten vorgenommen, die schließlich den Test so genannter Superstrukturen und den Test eines weiteren Beschleunigermoduls, Modul 1*, ermöglichten.

Die seit mehreren Jahren betriebene Elektronenquelle (RF Kanone), ein kurzer normalleitender Beschleuniger, wurde ausgetauscht, da es beim Betrieb mit langen Strahlpulsen zunehmend Probleme gab, die Beschleunigungsspannung über 800 μ s aufrecht zu erhalten. Fermilab/Chicago stellte Ersatz.

Das erste Beschleunigermodul wurde durch einen neuen Abschnitt ersetzt, der insgesamt vier supraleitende Beschleunigungsstrukturen enthält, von denen jeweils zwei zu einer so genannten Superstruktur gekoppelt sind. Ein solches Paar von Strukturen wird über nur einen Hochfrequenzeinkoppler versorgt. Dies führt zu einer Änderung der Verteilung der elektromagnetischen Felder innerhalb der Struktur, weshalb eine genaue Untersuchung mit Elektronenstrahl notwendig ist.

Das zweite Beschleunigermodul wurde durch das Anfang 2000 zusammengebaute Modul 1* ersetzt. Die Beschleunigungsstrukturen dieses Moduls waren vor dem Einbau in ihren erreichbaren Gradienten vermessen worden. Ein mittlerer Gradient von 25 MV/m sollte bestätigt werden.

Um beim Test der neuen Beschleunigermodule möglichst flexibel zu sein, wurden alle engeren Stellen im Strahlführungssystem beseitigt. Dies ermöglichte unter anderem auch den Einschuss des Elektronenstrahls

mit einem deutlichen Versatz bezogen auf die Achse der Beschleunigerstrukturen, ein Experiment, das zur Untersuchung so genannter höherer Moden – durch den Strahl selbst angeregte elektromagnetische Felder – durchgeführt werden muss. Der Ausbau des Undulators und der Photonenstrahl-diagnose wurde auch wegen der anstehenden Modifikationen für den Einsatz bei TTF2 notwendig.

Anfang August konnte der TTF Linac Injektor in Betrieb genommen werden. Die für alle weiteren Untersuchungen benötigten Elektronenstrahlparameter wurden demonstriert. Nach Abschluss des Konditionierens der Hochfrequenzkoppler sollte daraufhin der Strahl durch die Superstruktur geführt und in ihr beschleunigt werden. Dies gelang jedoch erst nach einem Aufwärmen und erneutem Abkühlen, da ein Handventil innerhalb des Beschleunigermoduls nicht richtig geöffnet war.

Anfang September konnte dann aber der Strahl in der Superstruktur beschleunigt werden. Mitte des Monats war die Untersuchung der oben genannten höheren Moden mit langen Strahlpulsen möglich. In zwei verschiedenen sich ergänzenden Messungen konnte klar nachgewiesen werden, dass die Superstruktur für die Beschleunigung eines Elektronenstrahls mit TESLA Strahlparametern geeignet ist. Dies ist eine gute Grundlage für die nächsten mehr technisch bedingten Schritte: Vakuumdichttechnik nahe den Enden der einzelnen Strukturen, höhere Leistungen der Hochfrequenzkoppler, hohe Gradienten einer gesamten Einheit usw.

Im gleichen Betriebszeitraum wurde Modul 1* getestet, das im März 2000 unter Verwendung des alten Kryostat- und alten Kopplerdesigns montiert wurde. Nach dem Konditionieren zeigte sich, dass zwei der acht Beschleunigungsstrukturen deutlich niedrigere Gradienten haben als vor der Montage und damit im gemeinsamen Betrieb aller Strukturen ein maximaler mittlerer Gradient von 22 MV/m möglich ist. Dies weicht von den Erwartungen (25 MV/m) ab. Im Weiteren wurde versucht, diese Diskrepanz zu erklären. Anhand von Montageprotokollen wurde schließlich vermutet, dass Probleme beim Einbau der Hochfrequenzkoppler ursächlich verantwortlich sind.

Mit Abschluss des beschriebenen Modultests endete nach mehr als 13 000 Betriebsstunden der Strahlbetrieb des TTF1 Linacs. Es wurden insgesamt vier Beschleunigermodule betrieben und mit dem Ziel, die technische Realisierung eines Linear-Colliders und auch eines Röntgenlasers zu ermöglichen, ausführlich untersucht. Der beschleunigte und für viele Experimente der Beschleunigerphysik genutzte Elektronenstrahl wurde hierbei anfänglich von dem in Kollaboration mit Saclay und Orsay gefertigten thermionischen Injektor erzeugt. Dieser konnte später durch eine von Fermilab beigesteuerte RF Kanone für den FEL Betrieb modifiziert werden.

Bestandteile der Elektronenquelle sind weiterhin die vom INFN Mailand gelieferte Kathodenkammer und der vom Max-Born Institut (Berlin) entwickelte und gebaute Kurzpuls-laser. Komponenten wie der zwischen den beiden Beschleunigermodulen installierte Bunchkompressor sowie Strahl-diagnoseeinrichtungen, unter anderem beigesteuert von INFN Frascati, Saclay, Orsay, der Universität Hamburg und der RWTH Aachen, erlaubten den Betrieb des TTF Linac als Treiber für den im letzten Jahresbericht (Seite 233ff) beschriebenen SASE FEL im VUV Wellenlängenbereich. Seit der Inbetriebnahme des FEL im Februar 2000 sind etwa 2500 Stunden für die Erzeugung von Laserlicht genutzt worden, wobei etwa 500 Stunden für die oben genannten Physik-Experimente im Wellenlängenbereich von 80 bis 180 nm angeboten wurden.

In der aktuellen Umbauphase wird die Erweiterung des Linacs auf insgesamt fünf Beschleunigermodule vorgenommen. Dies ermöglicht eine Strahlenergie von bis zu 1 GeV, eine wesentliche Voraussetzung für die Verkürzung der FEL Wellenlänge bis hinunter zu 6 nm. Die neu eingebauten Beschleunigermodule sollen im Frühjahr 2003 getestet werden. Im Anschluss wird bis Spätsommer die Strahlführung vervollständigt, so dass schließlich Beschleuniger, Bunchkompressoren, Strahlführung, Kollimatoren, Undulatoren und Photonenstrahlführung den erweiterten FEL bilden. Die Inbetriebnahme wird abhängig vom Fortschritt der Installation in mehreren Phasen erfolgen, so dass spätestens im Frühsommer 2004 mit einem ersten Laserstrahl gerechnet werden kann.

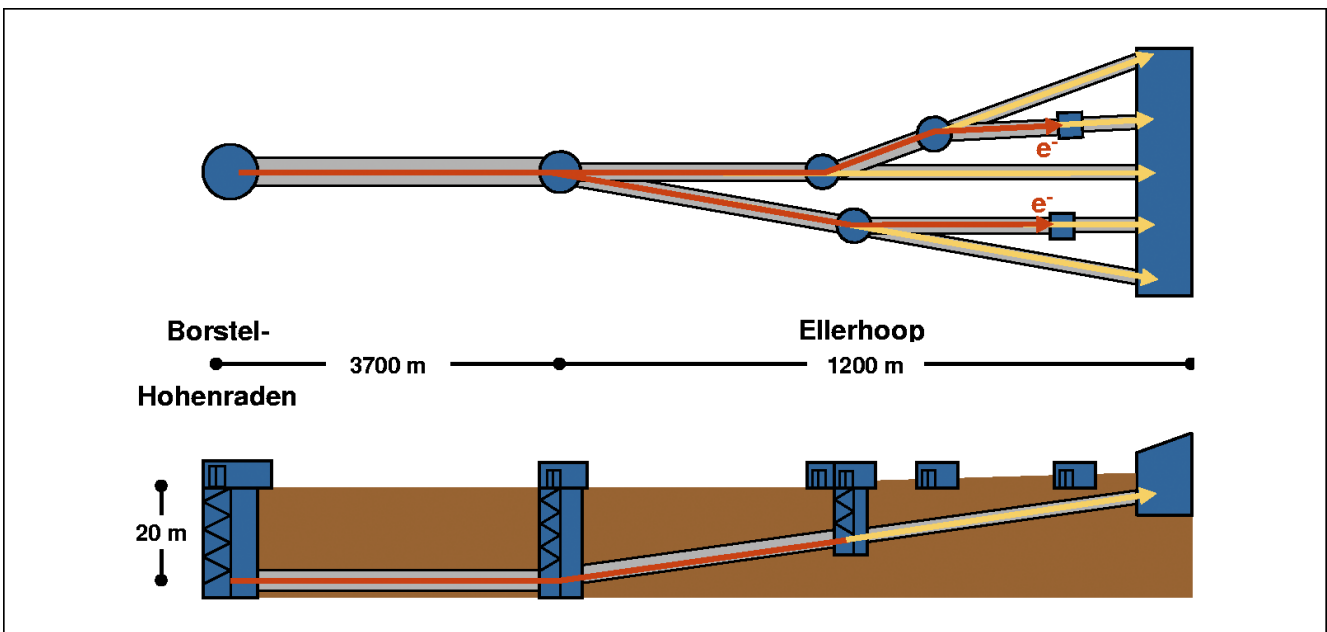


Abbildung 137: Übersichtsdarstellung des TESLA XFEL in Drauf- und Seitenansicht. Der Weg der Elektronen und Photonen ist durch rote bzw. gelbe Linien angedeutet.

Entwicklung eines Freie-Elektronen Lasers für sehr kurze Wellenlängen

Im Berichtszeitraum wurde als Ergänzung zum Technical Design Report (TDR-2001) des TESLA-Projektes eine Lösung für den Freie-Elektronen Laser (XFEL) ausgearbeitet, bei der der XFEL mit einem separaten Linearbeschleuniger betrieben wird. Dadurch soll die Kopplung zwischen Linear-Collider und XFEL während der Bau- und Betriebsphase verringert werden. Grundlage für den Projektvorschlag, der auf Anfrage des Wissenschaftsrates erstellt wurde, waren die im TDR benannten inkrementellen Kosten für den XFEL. Zur Kompensation der zusätzlichen Kosten, die durch den separaten Linearbeschleuniger entstehen, sind für die erste Stufe des Projekts folgende Maßnahmen vorgesehen:

- Die Energie des Linearbeschleunigers wird auf 20 GeV bei einem nominellen Gradienten von 23.5 MV/m beschränkt. Ursprünglich waren mit der gemeinsamen Nutzung des Linacs für Linear-Collider und XFEL Betrieb 35 GeV und 17 MV/m (maximal 50 GeV bei 23.5 MV/m) geplant.
- Es werden statt zehn nur fünf Undulatoren sowie die entsprechende Strahlverteilung aufgebaut, wodurch die ursprünglich vorgesehene Anzahl der 20 voll ausgestatteten Experimentierplätze auf zehn beschränkt wird.
- Die maximale Elektronenstrahlleistung pro Elektronenstrahlweg (das heißt pro Strahldump) wird von 2 MW auf 300 kW begrenzt. Sowohl hinsichtlich der maximalen Strahlenergie als auch in Hinblick auf die Anzahl der Undulatoren bzw. Experimentierplätze ist ein späterer Ausbau optional vorgesehen.

Abbildung 137 zeigt eine Übersichtsdarstellung des TESLA XFEL. Der Tunnel schließt in Borstel-Hohenraden an der letzten Kryoversorgungshalle des Linear-Colliders an und beherbergt sowohl den Injektor und die Bunchkompressoren als auch den Linear-

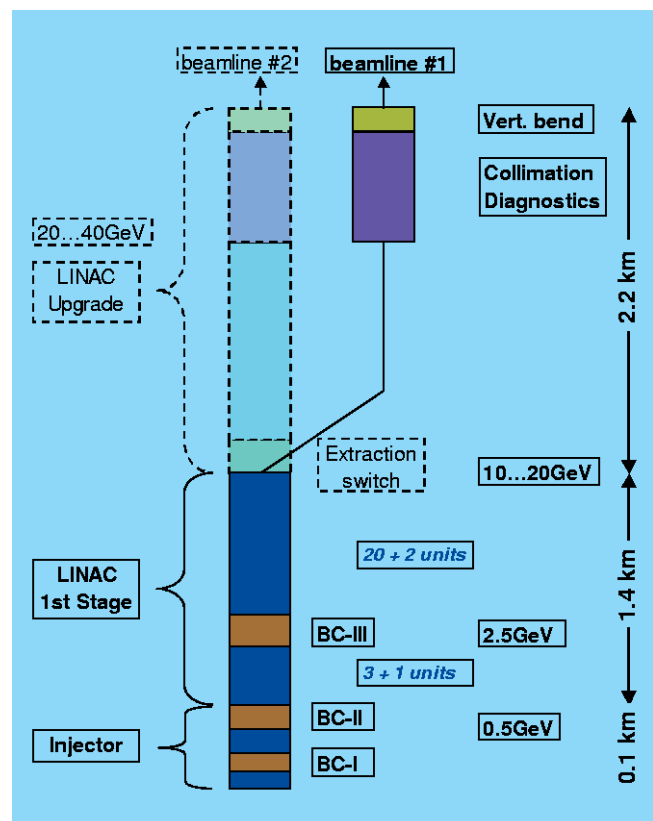


Abbildung 138: Schematische Anordnung der Komponenten im TESLA XFEL Tunnel. Die optionale Ausbaustufe mit höherer Strahlenergie und einem zweiten Elektronenstrahlweg ist angedeutet.

beschleuniger, den Elektronentransportweg und die Kollimatorstrecke. Nach 3.7 km geraden Verlaufs knickt der Tunnel leicht (12 mrad) nach oben ab und teilt sich in die zwei Hauptzweige auf. Der Elektronenstrahl wird durch zwei bzw. drei hintereinander angeordnete Undulatoren gelenkt und in zwei separaten Beamdumps aufgefangen. Abbildung 138 zeigt die schematische Anordnung der Komponen-

ten im Linac-Tunnel inklusive der optionalen Ausbaustrecke.

Die detaillierte technische Auslegung folgt in weiten Teilen den schon im TDR 2001 beschriebenen Lösungen und wurde nur den geometrischen Gegebenheiten angepasst bzw. an wenigen Stellen entsprechend neuerer Entwicklungen ergänzt. Die Bauplanung wurde im Rahmen der Vorbereitung des Planfeststellungsverfahrens für das TESLA-Projekt weiter vorangetrieben. Hinsichtlich der Strahldynamik lag der Schwerpunkt der Arbeiten bei der Inbetriebnahme des PITZ Teststandes in Zeuthen sowie bei vergleichenden Untersu-

chungen von Simulationsprogrammen, die insbesondere im Rahmen eines ICFA Mini-Workshops über kohärente Synchrotronstrahlung betrieben wurden.

Die Gesamtkosten für den TESLA XFEL werden, bezogen auf das Jahr 2000, mit 684 Millionen € abgeschätzt. Diese Zahl enthält Investitionskosten, sowie 2800 Personenjahre (mit 50 000 € pro Personenjahr) für Entwicklung, Fabrikation, Test, Installation und Inbetriebnahme der Anlage. Durch Einsparungen in der Großserie ist eine Kostenreduktion um 145 Millionen € möglich, wenn der Linear-Collider gleichzeitig mit dem XFEL gebaut wird.

Strahlenschutz

Die Strahlenschutzgruppe ist für die Umsetzung der gesetzlichen Vorschriften, Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) und Röntgenverordnung (RöV), verantwortlich. Es ist ihre Aufgabe, diese Vorschriften durch verschiedene Maßnahmen zum Erhalt der Sicherheit und Gesundheit der Mitarbeiter von DESY durchzusetzen. Dazu gehören unter anderem Abschirmung der Beschleuniger, Interlocksysteme, Kontrolle radioaktiver Stoffe und Unterweisung der Mitarbeiter. Weiterhin werden Personen- und Ortsdosen gemessen, durch die die Wirksamkeit dieser Maßnahmen überwacht wird. Die so gewonnenen Messwerte dürfen die in den oben genannten Verordnungen festgelegten Grenzwerte nicht überschreiten. Die Strahlenschutzgruppe muss dies ebenso überwachen wie auch darauf hinwirken, dass jeder Mitarbeiter seine eigene Verantwortung beim Umgang mit ionisierender Strahlung wahrnimmt.

Neue Strahlenschutzanweisung

Mit Wirkung zum 1. Juli 2002 ist bei DESY eine neue Strahlenschutzanweisung in Kraft getreten. Mit dieser wird die Novellierung der Strahlenschutzverordnung vom 20. Juli 2001 sowie die neue Strahlenschutzorganisation bei DESY vom 1. Januar 2002 umgesetzt und DESY-spezifisch geregelt. Die wichtigsten Neuerungen in der Strahlenschutzanweisung betreffen die Beschreibung der neuen Organisation des Strahlenschutzes bei DESY, die Umsetzung der neuen Dosisgrenzwerte in Bezug auf Personengruppen und Strahlenschutzbereiche und Änderungen in Bezug auf die Prüfung der Interlocksysteme bei DESY. Die neue Strahlenschutzanweisung liegt in deutscher und englischer Sprache vor und ist in der DESY Bibliothek sowie in der Strahlenschutzabteilung in gedruckter Form erhältlich. Auf der D3 Web-Seite (www.desy.de/d3/d3index.html) können beide Versionen eingesehen werden.

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 her rühren können, gemessen werden. Dazu werden zwei unterschiedliche Messprinzipien verwendet.

Das eine Messprinzip besteht aus einem System aus einfachen Festkörperdosimetern, die an vielen Messpunkten über das DESY-Gelände verteilt angebracht sind und die Dosis in einem Zeitraum von einem Monat aufsummieren. Die Dosimeter werden im Labor der Strahlenschutzgruppe ausgewertet und die gemessenen Dosiswerte entsprechend den gesetzlichen Bestimmungen archiviert. Dieses System ist gut zur Überwachung des Betriebsgeländes geeignet; Resultate erhält man aber erst nach Ablauf der einmonatigen Messperiode. Um eine sofortige Eingriffsmöglichkeit im Falle zu hoher Dosisleistungen zu haben, existiert ein zweites System, bestehend aus aktiven Detektoren für Photonen und Neutronen, das in der Lage ist, 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 273 Stellen mit integrierenden 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 2001 haben sich die gemessenen Ortsdosen im Berichtszeitraum in fast allen Fällen in Bezug auf die Betriebsdauer der einzelnen Beschleuniger nur unwesentlich verändert. Aufgrund der weiteren Maschinenoptimierungen bei HERA haben sich die Ortsdosen in den HERA-

Hallen in Bezug auf die beschleunigte Gesamtladung noch nicht ganz auf das Niveau von vor dem Umbau eingependelt. Weiterhin wurden aufgrund der gemessenen Ortsdosen und der geänderten Gesetzeslage an einigen Stellen neue Kontrollbereiche eingerichtet.

Personendosimetrie

Die Messung der Personendosen für Photonen erfolgt mit Festkörperdosimetern. Personendosen, die von Neutronen herrühren, werden mit Kernspur-Filmen registriert. Die Auswertung der Festkörperdosimeter wird von der Messstelle für Strahlenschutz in Hamburg durchgeführt. Die Bereitstellung und Auslese der Kernspur-Filme für Neutronen wird von der GSF (Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, Neuherberg) übernommen. Festkörperdosimeter wie auch Kernspur-Filme werden bei DESY im Zwei-Monats-Rhythmus getauscht.

Derzeit werden regelmäßig 1130 Personen überwacht. Dazu kommen noch 254 Gäste, die nur kurzzeitig bei DESY arbeiten. Insgesamt werden alle zwei Monate jeweils etwa 1050 Dosimeter für Photonen und 250 für Neutronen verteilt und deren Auswertergebnisse in einer Datenbank archiviert. Im Zeitraum von November 2001 bis zum Oktober 2002 wurden auf 33 von insgesamt 7670 Dosimetern Dosen registriert, die über der amtlichen Schwelle von 0.1 mSv lagen. Die höchste Personendosis betrug 1.4 mSv und die zweit höchste 0.9 mSv pro zwei Monate. Damit liegen alle gemessenen Dosiswerte bei DESY deutlich unter der maximal zugelassenen Dosis für beruflich strahlenexponierte Personen von derzeit 20 mSv pro Arbeitsjahr.

Allgemeine Projekte

Angeregt durch die für DESY zuständige Aufsichtsbehörde, das Amt für Arbeitsschutz, gab es bei DESY zum 1. Januar 2002 eine grundlegende personelle Neuorganisation des Strahlenschutzes. Kern dieser Neuerung ist hierbei die Ablösung der, rechtlich nicht definierten, Aufsichtsführenden für den Strahlenschutz durch Strahlenschutzbeauftragte. Es wurden zum 1. Januar 2002 bei DESY 38 neue Strahlenschutzbeauftragte ernannt.

Aufgrund der durch die neue Strahlenschutzverordnung geänderten Freigabe für Stoffe aus genehmigungsbedürftigem Umgang mit radioaktiven Stoffen oder dem Betrieb von Anlagen wurden bei DESY einige Maßnahmen ergriffen. Da sich die abzugebenen Mengen an nicht radioaktiven Stoffen durch die neuen, teilweise deutlich reduzierten Freimessgrenzen reduzieren und die einzulagernden Mengen an radioaktiven Stoffen sich damit deutlich vergrößern werden, wurde bei DESY eine neue Halle zur Lagerung von radioaktiven Stoffen fertig gestellt und in Betrieb genommen. Es wurde weiterhin ein praktikables Verfahren der Freigabe entwickelt, welches zusammen mit der Aufsichtsbehörde weiter verfeinert werden wird.

Arbeiten für PETRA III

Aus der Sicht des Strahlenschutzes wurde das Projekt untersucht, im heutigen PETRA-Tunnel zwei Beschleuniger, PETRA II als Vorbeschleuniger für HERA und PETRA III als Synchrotronstrahlungsquelle voneinander unabhängig zu betreiben. Hohe Protonenstrahlverluste in PETRA II bei offenen Synchrotronstrahlverschlüssen an PETRA III sind nur dann tolerabel, wenn das Eisenjoch der PETRA II Dipole auf der Ringaußenseite geschlossen ist. Des Weiteren wird die seitliche Abschirmung vom PETRA-Tunnel zum Synchrotronstrahlungslabor auf 2 m Schwerbeton festgelegt, was der heutigen PETRA-Abschirmung außerhalb des DESY Geländes entspricht.

Arbeiten für TTF2 und TESLA

Für die Erweiterung der TESLA Test Facility Phase 1 (TTF1) zur TESLA Test Facility Phase 2 (TTF2) wurde der Sicherheitsbericht erarbeitet und fertig gestellt, so dass er der neu auftretenden Problematik des gleichzeitigen und unabhängigen Betriebes zweier Maschinen (TTF2 und PETRA) Rechnung trägt. Dieser Sicherheitsbericht ist Grundlage der Betriebsgenehmigung für TTF2, die beantragt wurde und für Anfang 2003 erwartet wird.

Um beim Betrieb von TESLA ein geeignetes aktives Dosimeter zu haben, welches auch bei der vorgegebenen Zeitstruktur von TESLA sinnvoll betrieben wer-

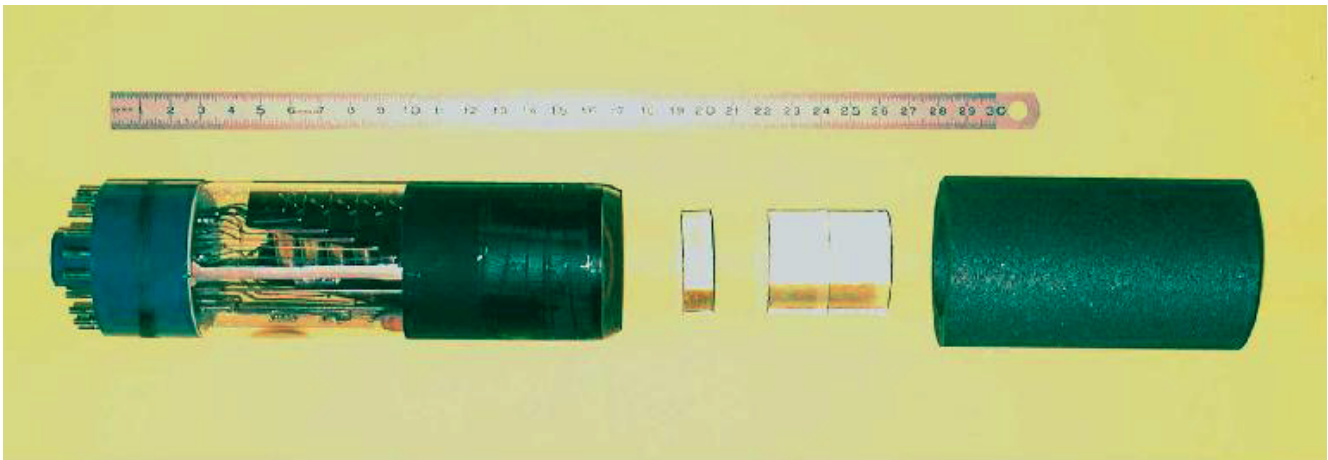


Abbildung 139: *Aufbau des aktiven Neutronenaktivierungsdosimeters. Der Plastik-Szintillator wird von einem Graphitzylinder umhüllt. Auf der linken Seite ist der Photomultiplier zu sehen.*

den kann – sowohl zur Messung von Neutronenflüssen hinter Abschirmungen als auch innerhalb des Tunnels, wurde ein neuartiges Dosimeter vorgeschlagen, ein Prototyp (Abb. 139) gebaut und an TTF1 getestet. Dieses aktive Dosimeter besteht aus einem Plastik-Szintillator und nutzt die Aktivierungsreaktion $^{12}\text{C}(n, p)^{12}\text{B}$ durch Neutronen mit mehr als 13 MeV Energie aus. Der β -Zerfall des ^{12}B mit einer Halbwertszeit von 20 ms ergibt nach einem 1 ms langen TESLA-Puls ein deutliches exponentielles Signal. Auch thermische Neutronen treten im Zeitspektrum mit Halbwertszeiten von weniger als 2 ms auf und lassen sich ebenso wie der prompte Peak vom ^{12}B Spektrum trennen. Damit können sowohl Ortsdosen hinter Abschirmungen als auch der Neutronenfluss innerhalb des Tunnels angegeben werden. Auf der internationalen Konferenz „Shielding Aspects of Accelerators, Targets and Irradiation Facilities (SATIF-6)“ konnten die aktuellen Ergebnisse der oben beschriebenen Studie zur Kohlenstoffaktivierungsmethode „Feasibility Study on an Active Neutron Dosimeter based on Carbon Activation for the Linear Collider TESLA“ einem breiten Fachpublikum vorgestellt werden.

Im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens für TESLA wurde Anfang 2002 eine Arbeitsgruppe mit der Bezeichnung „Beam Dumps und Strahlenschutz“ gegründet, die die Aufgabe hat, das Planfeststellungsverfahren in Bezug auf alle Belange des Strahlenschutzes und der Linac/XFEL-Strahlabsorber (Beam Dumps) und -Hallen vorzubereiten. Diese Arbeitsgruppe traf sich regelmäßig einmal wöchentlich mit den Vertretern der betroffenen Fachgruppen und Mitarbeitern der TESLA Ingenieursgemeinschaft, um alle anfallenden Fragen zu klären und die entsprechenden Anforderungskataloge zu erstellen. Dieses konnte für die Linac-Strahlabsorber-Hallen erreicht werden, für den XFEL wird wegen der Änderungen des Strahlabsorber-Konzepts noch daran gearbeitet. Bezüglich der Konzeption der eigentlichen Strahlabsorber-Anlagen und der damit zusammenhängenden Strahlenschutzaspekte wurden Firmen beauftragt, die entsprechenden Konzepte zur Wärmeableitung und zum Strahlenschutz zu erarbeiten. Die entsprechenden Abschlussberichte werden für Anfang 2003 erwartet.