

Bereich Beschleuniger (M)

Inhalt

Übersicht	175
Speicherringanlage HERA	177
Speicherring DORIS III	183
Die Vorbeschleuniger	185
Arbeiten der Gruppen des Bereichs Beschleuniger	189
Strahlenschutz	211
Voruntersuchungen zum TESLA Linearcollider-Projekt	215
Entwicklung eines Freie-Elektronen-Lasers für sehr kurze Wellenlängen	225
Studie eines Elektronen-Speicherringes für koronare Angiographie	231

Übersicht M-Bereich

HERA

In der ersten Hälfte des Jahres 1999 wurde der Luminositätsbetrieb mit Elektron-Proton-Kollisionen durchgeführt. Danach wurde auf Positron-Proton-Kollisionen umgestellt. Die mit dem ZEUS Luminositätsdetektor gemessene integrierte Elektron-Proton Luminosität betrug 17.3 pb^{-1} , der entsprechende Wert für Positron-Proton Kollisionen betrug 28.2 pb^{-1} . Damit wurde das Jahresziel von 35 pb^{-1} deutlich übertroffen. Die Untergrundverhältnisse waren bei allen Experimenten sehr gut.

Eine Ausnahme bildeten Effekte, die aufgrund von zu knappen Aperturverhältnissen der LPS-Detektoren von ZEUS hervorgerufen wurden und die nach Bereitstellung einer ausreichenden Strahlapertur vermieden wurden. Die erhöhten Dunkelströme der H1-Driftkammer traten mit gespeichertem Positronen-Strahl nicht mehr auf, ein Umstand, der zur Zeit nicht verstanden ist.

Die in den Vorjahren bereitgestellten Optimierungsverfahren des Polarisationsbetriebs wurden weiter entwickelt und verbessert. Das Resultat ist, dass routinemäßig ein Polarisationsgrad von um 60% erreicht wurde. Die Betriebseffizienz konnte von 42% in den Vorjahren auf 50% gesteigert werden.

DORIS III

Ähnlich wie in den vergangenen Jahren wurden auch 1999 ausgezeichnete Strahllebensdauern beim Betrieb von DORIS III als Synchrotronlichtquelle erreicht. Gegen Ende des diesjährigen Betriebes wurden folgende Werte erzielt: 15 Stunden bei 130 mA, 18 Stunden bei 110 mA und 23 Stunden bei 90 mA. Die Verfügbarkeit der Maschine hat sich mit fast 93% sogar noch geringfügig verbessert.

Eine neue Strahlage-Regelung, die seit Juni läuft, hat sich ausgezeichnet bewährt. Die neue Software und der Einsatz neuer Korrekturnetzgeräte haben zu einer deutlichen Verbesserung der Orbit-Stabilität in den geregelten Abschnitten von DORIS beigetragen.

Vorbeschleuniger

Die Vorbeschleuniger für Elektronen und Positronen, LINAC II-PIA-DESY II, liefen auch 1999 mit der von den Vorjahren gewohnten Zuverlässigkeit. Die klassische Magnetron-Quelle für H^- -Ionen lief im Betriebsjahr ohne Störungen sehr zuverlässig. Der über das Jahr gemittelte Strom der aus DESY III extrahierten Protonen lag bei 200 mA.

Der PETRA II-Betrieb als Elektronen- und Positronen-Vorbeschleuniger für HERA verlief weitgehend störungsfrei. Auch der Betrieb mit Protonen zeichnete sich durch hohe Stabilität aus. Während der Monate August bis November wurden an HERA im Mittel über 100 mA geliefert, ein bisher noch nicht erreichtes Ergebnis.

Im Jahr 1999 stand PETRA in noch nie dagewesenem Umfang als Synchrotronstrahlungsquelle zur Verfügung. Es gab Wochen, in denen die Maschine zu 50% der Zeit als Synchrotronstrahlungsquelle lief. Im Mittel waren es 24%.

Linearcollider-Studien

Ein erster vollständiger Entwurf für TESLA, einen supraleitenden 500 GeV Elektron-Positron-Linearcollider, wurde im Frühjahr 1997 fertiggestellt und in einem umfangreichen Bericht dokumentiert. Im Berichtsjahr wurden die Arbeiten zur weiteren Optimierung

des Linearcollider-Designs vorangetrieben. Im Vordergrund stand dabei die detaillierte Untersuchung aller Sub-Systeme, insbesondere im Hinblick auf die bei TESLA erreichbare maximale Luminosität.

Die TESLA Test Facility (TTF) wurde über viele Monate mit zwei Kryomodulen betrieben. In jedem Kryomodul befinden sich acht neunzellige supraleitende Resonatoren. Im ersten Modul konnte ein mittlerer Spannungsgradient von etwa 23 MV/m erreicht werden.

Freie-Elektronen-Laser

Das Grundprinzip eines SASE (selbst-verstärkte spontane Emission) FEL wurde im DESY Jahresbericht

1995 beschrieben. Bei TTF wurde ein 14 m langer Undulator, in dem der FEL-Prozess ablaufen kann, mit einer mechanischen Genauigkeit von etwa 20 μm eingebaut und mit einem Elektronenstrahl von über 200 MeV Energie in Betrieb genommen. Die für den weiteren Ausbau erforderliche Tunnelverlängerung wurde im Rohbau fertiggestellt.

ARI

Mit dem Ziel, eine möglichst kompakte und preiswerte Lösung zu finden, wurde eine detaillierte Studie für einen Elektronen-Speicherring für koronare Angiographie, ARI, erstellt. Die Qualität der Resultate sollte diejenigen bei DORIS in jeder Hinsicht übertreffen.

Speicherringanlage HERA

HERA Betrieb 1999

07.01. – 14.01.	Maschinenanlauf
15.01. – 26.04.	Elektron-Proton-Luminositätsbetrieb
26.04. – 02.05.	Beschleunigerentwicklung
03.05. – 14.06.	Betriebsunterbrechung
14.06. – 21.06.	Maschinenanlauf mit Umstellung auf Positronen
21.06. – 05.07.	Beschleunigerentwicklung
08.07. – 13.12.	Positron-Proton-Luminositätsbetrieb
13.12. – 19.12.	Beschleunigerentwicklung

Der HERA-Betrieb 1999 wurde bereits am 7. Januar aufgenommen. Nach einer kurzen Anlaufperiode begann der Luminositätsbetrieb mit Elektron-Proton Kollisionen Mitte Januar 1999. Eine Reihe von technischen Problemen führte jedoch zu einem schleppenden Betrieb, der erst nach der Behebung von mehreren Windungsschlüssen und Verpolungen einiger Magnetkreise in einen Routinebetrieb überging.

Ab Mitte Februar verlief der Luminositätsbetrieb ungestört. Der Elektron-Proton-Betrieb wurde mit Beschleunigerstudien in der letzten Aprilwoche beendet. Die sich anschließende sechswöchige Betriebspause wurde in erster Linie vom HERA-B Experiment für Installationsarbeiten genutzt.

Mitte Juni wurde der HERA-Betrieb mit der Umstellung auf Positronen-Betrieb und Beschleunigerstudien wieder aufgenommen. Eine Besonderheit der zweiten HERA-Betriebsperiode 1999 war die Durchführung von sogenannten „Mini-Shutdowns“, dreitägigen Betriebsunterbrechungen jeweils zum Anfang eines Monats.

Der Positron-Proton Luminositätsbetrieb begann Anfang Juli und endete Mitte Dezember. In diesem Zeit-

Maschinenanlauf	14 Tage	4%
Maschinenentwicklung	33 Tage	9%
Wartung	21 Tage	6%
Betriebspause	61 Tage	17%
Luminositätsbetrieb	236 Tage	64%

Tabelle 2: HERA Betriebsstatistik 1999.

raum wurde der Betrieb sechsmal durch die dreitägigen „Mini-Shutdowns“ unterbrochen.

Der HERA-Betrieb 1999 endete mit einer sechstägigen Maschinenentwicklungszeit.

Elektron-Proton Luminositätsbetrieb

In der ersten Hälfte des Jahres wurde der Luminositätsbetrieb mit Elektron-Proton-Kollisionen durchgeführt. Die Betriebsparameter zeigt Tabelle 3. Insgesamt wurde 149 Mal Luminosität herbeigeführt, die sich zu einer integrierten Luminosität von 17.3 pb^{-1} (gemessen mit dem ZEUS-Luminositätsdetektor) aufsummierte (Abb. 84).

Die Untergrundprobleme vom Vorjahr waren nach der Reparatur von mehreren Magnet-Defekten mit Erd- und Windungsschlüssen im Januar und Februar weitgehend beseitigt. Allerdings waren die Dunkelströme der H1-Driftkammer mit gespeichertem Elektronen-Strahl im Vergleich zum Positronen-Betrieb immer noch überhöht.

Die spezifische Luminosität war etwas höher als aufgrund der nominellen Strahlgrößen erwartet wurde. Dies konnte auf den Fokussierungseffekt der Protonen auf den Elektronen-Strahl zurückgeführt werden.

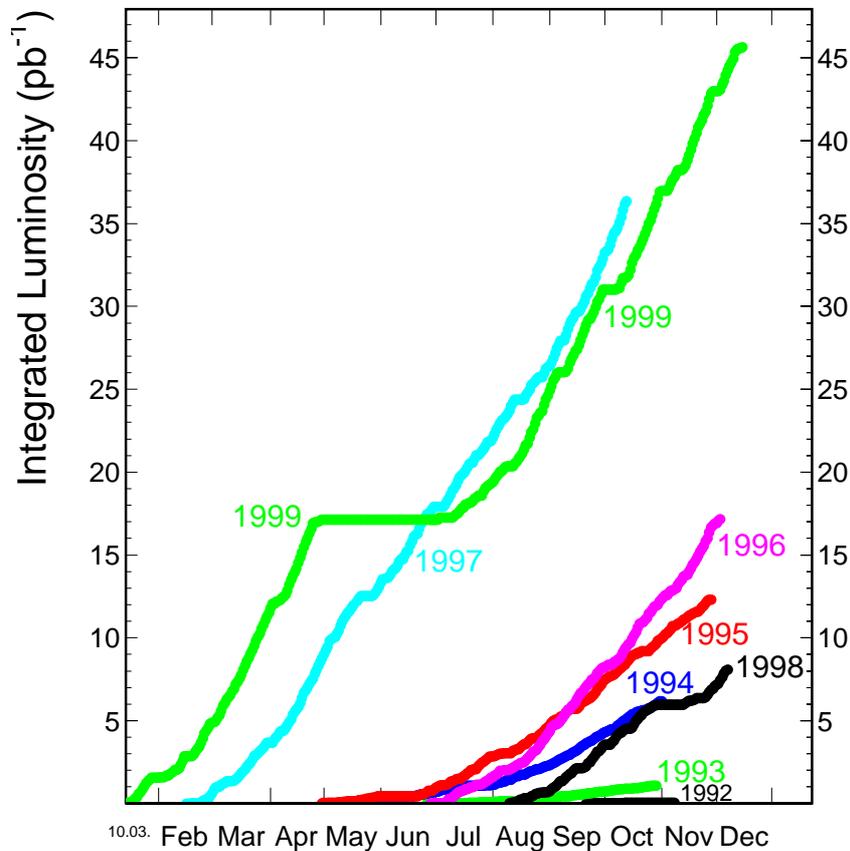


Abbildung 84: Entwicklung der integrierten HERA-Luminosität in den Jahren 1992–1999.

Die absolute Luminosität war begrenzt durch die Intensität des Elektronen-Strahls, der nur sehr langsam auf Strahlströme um 35 mA gesteigert werden konnte.

Die Strahllebensdauer war nicht allein durch Streuung am desorbierten Restgas bestimmt, sondern durch zusätzliche Effekte. Damit war die Strahllebensdauer am Anfang auf etwa fünf Stunden begrenzt. Dies hatte relativ kurze Elektronen-Speicherzeiten zur Folge. Aus diesem Grund wurden pro Protonen-Füllung in der Regel zwei Elektronen-Füllungen herbeigeführt. Die Untergrundverhältnisse im zweiten Elektronenlauf waren tolerabel bis gut. Die spezifische Luminosität war etwa um 10–20% durch Aufweitung der Protonen-Emittanz reduziert.

Bemerkenswert war die ausgezeichnete Betriebs-Effizienz, das ist das Verhältnis der Luminositätszeit zu der zur Verfügung stehenden Zeit, von über 60% in den Monaten März und April 1999.

Positron-Proton Luminositätsbetrieb

In der zweiten Hälfte des Jahres wurde der Luminositätsbetrieb mit Positron-Proton-Kollisionen durchgeführt. Die Betriebsparameter zeigt Tabelle 4. Insgesamt wurde 168 Mal Luminosität herbeigeführt, die sich zu einer integrierten Luminosität von 28.2 pb^{-1} (gemessen mit dem ZEUS Luminositätsdetektor) aufsummierte (Abb. 84).

Die erhöhten Dunkelströme der H1-Driftkammer traten mit gespeichertem Positronen-Strahl nicht mehr auf, ein Umstand, der zur Zeit nicht verstanden ist.

Die spezifische Luminosität war etwas niedriger aufgrund des Defokussierungs-Effektes des Positronen-Strahls durch die Protonen und des damit verbundenen um etwa 20% größeren Strahlquerschnitts am Wechselwirkungspunkt. Dies führte zu einem Einbruch der Lebensdauer des Positronen-Strahls bis hin zum tota-

		Elektronen	Protonen	
Strahlenergie	[GeV]	27.5	920	
Strahlstrom	[mA]	25–35	70–90	
$\beta_{x,y}^*$	[m]	1.0, 0.7	7.0, 0.5	
Spezifische Luminosität	$[10^{29}\text{cm}^{-2}\text{sec}^{-1}\text{mA}^{-2}]$			6.4–7.5
Spitzen-Luminosität	$[10^{31}\text{cm}^{-2}\text{sec}^{-1}]$			0.6–1.2
Effizienz	[%]			50
Integrierte Luminosität	$[\text{pb}^{-1}]$			17.3

Tabelle 3: HERA Elektron-Proton Parameter.

		Positronen	Protonen	
Strahlenergie	[GeV]	27.5	920	
Strahlstrom	[mA]	35–45	80–100	
$\beta_{x,y}^*$	[m]	1.0, 0.6	7.0, 0.5	
Spezifische Luminosität	$[10^{29}\text{cm}^{-2}\text{sec}^{-1}\text{mA}^{-2}]$			6.0–7.0
Spitzen-Luminosität	$[10^{31}\text{cm}^{-2}\text{sec}^{-1}]$			1.0–1.5
Effizienz	[%]			49
Integrierte Luminosität	$[\text{pb}^{-1}]$			28.2

Tabelle 4: HERA Positron-Proton Parameter.

len Strahlverlust insbesondere zu dem Zeitpunkt, in dem Kollisionen herbeigeführt wurden. Dieses Problem konnte durch Verkleinerung der vertikalen β -Funktion der Positronen am Wechselwirkungspunkt von 70 cm auf 60 cm vermieden werden. Damit erreichte auch die spezifische Luminosität Werte um $7 \times 10^{29} \text{ cm}^{-2} \text{ sec}^{-1} \text{ mA}^{-2}$.

Die absolute Luminosität war durch die Intensität des Positronen-Strahls begrenzt, die im Laufe der Betriebsperiode allmählich auf 44 mA Anfangsstrom gesteigert werden konnte. Die Lebensdauer des Positronen-Strahls war, wie erwartet, durch Bremsstrahlungsprozesse am Restgas bestimmt und betrug bei Maximalströmen von 40 mA noch 7 Stunden. Aufgrund der guten Lebensdauer des Positronen-Strahls erstreckten sich die Luminositätsläufe über bis zu 12 Stunden. Aus diesem Grund wurde pro Protonen-Füllung jeweils nur eine Positronen-Füllung hergestellt.

Die Untergrundverhältnisse waren bei allen Experimenten sehr gut. Eine Ausnahme bildeten Effekte, die aufgrund von zu knappen Aperturverhältnissen der LPS-

Detektoren von ZEUS hervorgerufen wurden und die nach Bereitstellung einer ausreichenden Strahlapertur vermieden wurden.

Die Luminositäts-Betriebseffizienz war auch in der zweiten Jahreshälfte gut bis ausgezeichnet, sieht man von dem von technischen Problemen gekennzeichneten Monat Juli ab.

Polarisationsbetrieb

Im Betrieb mit spin-polarisierten Elektronen- und Positronen-Strahlen gab es 1999 keine grundsätzlichen Neuerungen. Allerdings wurden die in den Vorjahren bereitgestellten Optimierungsverfahren weiter entwickelt und verbessert. Das Resultat ist, dass routinemäßig ein Polarisationsgrad von um 60% erreicht wurde. Die Bedienung der Werkzeuge wurde soweit verbessert, dass die regelmäßige Nachoptimierung der Polarisation die Anwesenheit von Experten nicht mehr erforderte. Die Reoptimierung der Polarisation nach Änderung der

Polarisationsrichtung (durch Vorzeichenänderung der horizontalen Felder im Minirotator) erwies sich als eine problemlose Routineoperation.

Betriebseffizienz

Der Maßnahmenkatalog zur Erhöhung der Betriebseffizienz, der in der großen Betriebspause 1997/1998 durchgeführt wurde, bestehend neben vielen kleinen Verbesserungen aus dem Aufbau einer achten Hochfrequenzstrecke des e-Rings und der Aufstockung der Senderleistung um 1.5 MW auf 12 MW, Verbesserungen am Kopplersystem der supraleitenden Hochfrequenzresonatoren, Erneuerung der Spulen der Proton low- β Quadrupolmagnete vom Typ QS sowie Aufbau eines neuen 8000 A Stromversorgungsgerätes für den Protonen-Hauptkreis, hat sich 1999 mit einer deutlich verbesserten Effizienz ausgezahlt. So konnte die Effizienz nach der Stagnation 1997 mit 42% auf fast 50% gesteigert werden. Für Elektron- und Proton-Injektion wurden 7% bzw. 10% der Zeit benötigt. Der Rest verteilt sich auf Ausfallzeiten (28%) und Wartezeiten (5%). In den klimatisch günstigen Monaten März, April und September war die Effizienz sogar größer als 60%.

Betrieb mit Elektronen

Um den Einfang von Staubteilchen aus den Ionenzerstäuberpumpen im Strahl zu vermeiden, wurde das Vakuumsystem des e-Rings in der Betriebspause 1997/1998 auf NEG-Pumpen umgestellt.

Im Frühjahr 1999 hatte sich das Vakuumsystem von der Belüftung infolge der Umstellung auf NEG-Pumpen weitgehend erholt. Die Verbesserung der Druckerhöhung mit steigendem Elektronen-Strom hatte mit Werten von 2×10^{-10} mbar/mA eine gewisse Sättigung erreicht. Die Elektronen-Ströme konnten bis auf 35 mA gesteigert werden, wobei Lebensdauern von bis zu fünf Stunden erreicht werden konnten. Allerdings musste festgestellt werden, dass die Lebensdauer des Elektronen-Stroms bei kleiner Intensität mit dem Anfangsstrom korreliert. Dies wurde auch früher mit Elektronen beobachtet und durch den Einfang von ionisierten Staubteilchen im Elektronen-Strahl erklärt. Zwar

tritt der Effekt jetzt nur bei deutlich höheren Strahlströmen auf, womit ein deutlicher Fortschritt erzielt wurde, jedoch hat sich herausgestellt, dass das Elektronen-Lebensdauer-Problem auch nach dem Umbau auf NEG-Pumpen nicht vollständig gelöst ist. Das heißt, dass die Lebensdauer des Elektronen-Strahls nicht wie bei Positronen von der Streuung am desorbierten Restgas bestimmt zu sein scheint, sondern durch Streuprozesse an anderen Targets, deren Natur zur Zeit nicht bekannt ist.

Gegen Ende der Betriebszeit mit Elektronen wurde nach diesen Targets mit verbesserten Strahlverlustmonitoren gesucht. Der starke Synchrotronstrahlungs-Untergrund in diesen Monitoren wurde durch ein Kupferfilter zwischen den in Koinzidenz geschalteten Nachweis-Dioden unterdrückt. Die Monitore im Oktanten NR wurden mit den verbesserten Monitoren ausgerüstet. Allerdings wurden in diesem Beschleunigerbereich keine Targets gefunden. Inzwischen wurde die gesamte Maschine mit den verbesserten Monitoren ausgerüstet, um die Suche nach Targets voranzutreiben. Nach der Umstellung auf Positronen-Betrieb im Sommer 1999 war es dann jedoch zunächst nicht mehr möglich, diesem Problem weiter nachzugehen.

Maschinenentwicklung

Die Maschinenentwicklung im Jahr 1999 konzentrierte sich auf

- Fragen im Zusammenhang mit der Luminositätserhöhung,
- Fragestellungen im Zusammenhang mit strahlinduziertem Untergrund für die Experimente,
- Betriebsbedingungen für HERA-B,
- Verbesserung von Instrumentation und Diagnostik.

Insbesondere wurden 1999 neue Optiken für den HERA-Elektronen-Strahl getestet. Eine Optik mit 72° Betatron-Phasenvorschub pro FODO-Zelle wurde eingestellt und für den Kollisionsbetrieb optimiert. Die erforderliche kleine Emittanz wurde durch eine Verschiebung der Umlauffrequenz um 4×10^{-7} erzielt. Es

zeigte sich, dass diese Strahloptik, wie theoretisch erwartet, eine vergleichbare Akzeptanz wie die zur Zeit verwendete 60° Optik besitzt. Damit ist eine wichtige Voraussetzung für eine erfolgreiche Luminositätserhöhung in HERA erfüllt. In diesem Zustand wurde Luminosität erfolgreich herbeigeführt. Allerdings blieb die gemessene Luminosität hinter der Erwartung zurück. Dies muss noch weiter untersucht werden.

Bei HERA werden Protonen beobachtet, die einen so großen Energiefehler besitzen, dass sie ohne festen Phasenbezug zum Hochfrequenzsystem umlaufen. Ein solch großer Energiefehler kann sich über den Verlauf von vielen Stunden durch eine Kombination von Hochfrequenzrauschen, Intrabeamschattering (interne Coulomb-Protonenstreuung im Bunch) und zeitabhängige Dipolfehler aufbauen. Dies führt zu teilweise erheblichen Untergrundproblemen. Die Anhäufung von solchen Protonen konnte durch transversale Anregung nahe der vertikalen Betatron-Frequenz, die auf ein zeitliches Fenster in der Abortlücke des Bunchzuges beschränkt ist und somit nur ungebunchte Strahlteilchen erfasst, hinreichend unterdrückt werden.

Ein Nebeneffekt von Strahlkollisionen ist der Strahl-Strahl-Effekt, die Wirkung eines Strahls auf die Teilchen des Gegenstrahls. Dieser Effekt wurde für den HERA-Protonen-Strahl untersucht. Resultat ist, dass bis zu Elektronen-Intensitäten, die dem zweifachen des Designwerts (7×10^{10}) entsprechen, keine Wirkung auf die Protonen-Emittanz beobachtet werden konnte. Die Wirkung auf die Bevölkerung des Randbereichs der transversalen Strahlverteilung ist gering. Dies wurde auch für den Elektronen- bzw. Positronen-Strahl unter-

sucht. Der Randbereich der transversalen Strahlverteilung wurde mit „Scrapern“ abgetastet. Dabei wurden unter den gegenwärtigen Bedingungen keine Aufweitung unter Kollision festgestellt.

Luminositätserhöhung

Die Systeme für die HERA-Luminositätserhöhung wurden 1999 von der Designphase in die Produktionsphase überführt. Insbesondere ist die Fertigung der normalleitenden Magnete weit fortgeschritten. Die Prototypen der Magnete vom Typ GM und GN, denen ein völlig neuartiges Design zugrunde liegt, wurden gebaut und erfolgreich getestet. Bei den mehr konventionellen Magnettypen QI, QJ, QA, QB ist die Fertigung abgeschlossen bzw. weit fortgeschritten. Alle Magnete erfüllen die Spezifikation.

Auch an der Produktion der supraleitenden Magnete wird seit Juli in Brookhaven (USA) gearbeitet. Die Spulen des ersten Magnettyps GO sind in der Zwischenzeit gefertigt, Kalttests der Spulen bei 4.5 K haben begonnen. Der Einbau der Spulen in die Kryostate ist vorbereitet. Mit der Spulenproduktion des zweiten Magnettyps GG wurde zum Ende des Berichtszeitraums ebenfalls begonnen. Prototypen wurden für die komplizierten Vakuum- und Absorbersysteme auf der rechten Seite des Wechselwirkungspunkts gebaut. Alle extern zu fertigenden Komponenten sind mittlerweile ausgeschrieben, in den meisten Fällen wurden die Aufträge erteilt. Weitere Ausführungen hierüber finden sich bei den Berichten der Gruppen (Seite 189 ff).

Speicherring DORIS III

DORIS III Betrieb 1999

01.01. – 24.01.	Winter-Wartungsperiode
25.01. – 31.01.	Technische Inbetriebnahme
01.02. – 02.05.	Synchrotronstrahlungsbetrieb
03.05. – 06.06.	Maschinenentwicklung
07.06. – 19.12.	Synchrotronstrahlungsbetrieb
20.12. – 31.12.	Betriebsunterbrechung

In der Winter-Wartungsperiode 1998/99 waren in DORIS keine größeren Arbeiten vorgesehen. Zeitbestimmend für die Dauer der Betriebsunterbrechung waren Arbeiten an diversen Strahlführungen, die unter der Regie von HASYLAB durchgeführt wurden. Der Wiederanlauf von DORIS begann am 25. Januar und der offizielle Nutzerbetrieb für HASYLAB startete bereits am 1. Februar. Wie im Jahr zuvor wurde mit HASYLAB ein 5:1 Wochenrhythmus vereinbart, das heißt fünf Wochen Synchrotronstrahlungsbetrieb gefolgt von einer Service-Woche.

Für die Zeit vom 3. Mai bis zum 7. Juni war eine fünfwöchige Unterbrechung des Strahlbetriebs geplant, in der unter anderem alle Korrektornetzgeräte ausgebaut und durch neue, bei DESY entwickelte, ersetzt wurden. Die Strahlage-Regelungen, die bislang auf einem Rechner des alten Kontrollsystems ausgeführt worden waren, wurden in das neue PC-basierte Kontrollsystem integriert. Wegen der größeren Auflösung der neuen Netzgeräte war mit einer verbesserten Strahlage-Stabilität zu rechnen.

Um das Vakuumsystem nicht zu überfordern, wurde der Maximalstrom mit fünf Bunchen auf 150 mA begrenzt. Wegen der durchgehend hohen Zuverlässigkeit von DORIS III wurde ein mittlerer gespeicherter Strom von über 100 mA erreicht. Der von HASYLAB genutzte integrierte Strahlstrom betrug 527 Ah, was eine Steigerung von etwa 25% gegenüber dem Vorjahr bedeutet.

Strahllebensdauer

Der diesjährige Betrieb startete mit den ausgezeichneten Strahllebensdauern, die Ende 1998 erreicht wurden (13 Stunden bei 130 mA, 22 Stunden bei 90 mA). Es zeigte sich in den ersten Wochen, dass dies ungefähr die maximalen Werte sind, die mit der gegenwärtigen Kammer-Pumpen-Konfiguration zu erreichen sind. Mitte Februar trat ein Vakuumleck an einem Injektionskicker auf. In der Service-Woche vom 15. bis zum 22. Juni wurde der Kicker repariert, was die Belüftung eines Viertels des DORIS III-Vakuumsystems erforderlich machte.

Bei Beginn der anschließenden Run-Periode waren die vorherigen Lebensdauern wieder erreicht. Voraussetzung dafür war eine ordnungsgemäße Belüftung mit trockenem Stickstoff.

Noch dreimal in diesem Jahr mussten Teilbelüftungen vorgenommen werden, um nötige Reparaturen an den Feedback-Cavities bzw. an einer Wiggler-Auslasskammer ausführen zu können. Der Zeitraum für die Erholung der Lebensdauern im Anschluss an die Belüftungen war für HASYLAB akzeptabel. Gegen Ende des diesjährigen Betriebes wurden folgende Werte erzielt: 15 Stunden bei 130 mA, 18 Stunden bei 110 mA und 23 Stunden bei 90 mA.

Gespeicherte Ströme

Im 5-Bunch-Betrieb wurden maximal 150 mA gespeichert, wobei an diversen Stellen der Vakuumkammer der Temperaturanstieg gemessen wurde, um sicherzustellen, dass keine kritischen Werte auftreten. Bei einem Strahlstrom von 150 mA erzeugt jeder Dipol (Länge 3.2 m) etwa 18 kW an Strahlungsleistung. Während der geplanten sechs Wochen Strahlzeit mit zwei Bunchen wurde der Strom auf 85 mA reduziert.

Strahllage-Stabilität

Die neue PC-basierte Strahllage-Regelung, die seit Juni läuft, hat sich ausgezeichnet bewährt. Die neue Software und der Einsatz der neuen Korrekturnetzgeräte haben zu einer deutlichen Verbesserung der Orbit-Stabilität in den geregelten Abschnitten von DORIS III beigetragen.

Weiterhin unverändert sind allerdings die horizontalen Orbit-Veränderungen in den Bögen des DORIS-Ringes, die von einer horizontalen Verschiebung diverser Quadrupole hervorgerufen werden. Das asymmetrische Erhitzen der Vakuumkammern durch das Synchrotronlicht ändert deren Krümmungsradius, was eine horizontale Verschiebung der mechanisch mit diesen Kammern verkoppelten Quadrupole zur Folge hat. Um dieses Problem zu lösen, werden in der geplanten Betriebsunterbrechung im Sommer 2000 alle Triplett-Kammern sowie alle Kicker ausgetauscht.

Wegen der Flexibilität der neuen Strahllage-Regelungssoftware konnte sowohl im Bypass als auch im Bogen Nord-Links (NL) die Strahllage-Stabilität weiter verbessert werden. Im Bypass werden neuerdings die Strahllage-Informationen sowohl vom Wiggler BW4 als auch vom Wiggler BW6 zu einer gemeinsamen Regelung zusammengefasst. Dadurch konnten Strahllage-Schwankungen in den Bypass-Beamlines besser ausgeglichen werden. Im Bogen NL wurde eine neue Regelung etabliert, die sich an den vertikalen Strahllagen der Fächer B und D bzw. E orientiert. Das hat zu einer Verringerung der vertikalen Strahllage-Schwankung im Fächer B um den Faktor vier geführt.

Betriebsergebnis 1999

Das Betriebsergebnis ergibt sich aus dem Verhältnis von 5919 Stunden geplanter Strahlzeit für HASYLAB und 9497 Stunden, in denen tatsächlich Synchrotronlicht geliefert werden konnte, was einer Betriebseffizienz von 92.2% entspricht.

Die Vorbeschleuniger

LINAC II und LINAC III

In den beiden vergangenen Jahren sind fünf der insgesamt zwölf Beschleunigerabschnitte vom S-Band-Typ ersetzt worden. Alle arbeiten sehr zuverlässig, so dass zur Zeit der Ersatz der übrigen sieben Abschnitte vorbereitet wird. Gemeinsam mit den Gruppen MVA und MHF werden vier Abschnitte für die kommende Betriebsunterbrechung im Sommer 2000 gefertigt, bezüglich ihrer Hochfrequenzeigenschaften vermessen und schließlich konditioniert. Die letzten drei Abschnitte sollen 2002 ausgetauscht werden.

Der im Vorjahr vorangetriebene Umbau des LINAC III Injektionssystems ist inzwischen abgeschlossen. Der wechselweise Betrieb von zwei verschiedenen H^- -Quellen ist vorgesehen: Die klassische cäsium-behaftete Magnetron-Quelle ist zur Zeit die Standardquelle des LINAC III, an der cäsium-freien Hochfrequenz-Quelle sind letzte Entwicklungen noch nicht abgeschlossen. Hier liegt der Schwerpunkt der Arbeiten bei der Erhöhung der Extraktionseffizienz. Beide Quellen sind mit einer eigenen LEBT („Low Energy Beam Transportline“) und einem eigenen RFQ („Radio Frequency Quadrupole“) ausgestattet. Das wechselseitige Zuschalten der jeweiligen Quelle erfolgt über eine im Vorjahr neu aufgebaute MEBT („Medium Energy Beam Transferline“).

Die klassische Magnetron-Quelle lief im Betriebsjahr 1999 ohne Störungen sehr zuverlässig.

DESY II

Im Berichtszeitraum lief DESY II mit gewohnter Zuverlässigkeit. Die Anpassung des Kontrollsystems an den Standard der anderen Beschleuniger hat zu einer übersichtlichen und schnelleren Kontrolle der einzelnen

Komponenten geführt. Die Dauer der Umschaltung von DORIS- auf PETRA-Betrieb ist auf etwa 30 s reduziert worden.

Im Positronen-Betrieb wurden etwa 1.2×10^{10} Teilchen pro Bunch an PETRA bei 7 GeV und etwa 8×10^9 Teilchen pro Bunch an DORIS bei 4.5 GeV geliefert. Die Gesamtausfallrate lag bei etwa 2.5%.

DESY III

Durch einen Transformatorausfall im Januar 1999 hat sich die Betriebszeit im Berichtszeitraum auf etwa 98% reduziert. Trotzdem hat sich im Jahresdurchschnitt ein mittlerer Strom von etwa 200 mA bei dem Maximalimpuls von 7.5 GeV/c eingestellt.

Die Umstellung des Kontrollsystems auf PC-Basis ist im Fluss, ein großer Teil ist bereits auf PC-Kontrollen umgestellt worden. Eine wesentliche Änderung an dem Wechselmechanismus der Strippingfolien hat zu einer deutlichen Senkung des Risikos einer Folienbeschädigung geführt.

PETRA II

Das Betriebsjahr 1999 war mit etwas über 300 Tagen, entsprechend etwa 7200 Betriebsstunden, sehr lang. Das Jahr lässt sich grob wie folgt einteilen: Nach einer kurzen Unterbrechung während des Jahreswechsels 1998/99 lief die Maschine bis Anfang Mai. Nach einer Unterbrechung von einem Monat folgte die zweite Betriebsperiode bis zum 20. Dezember. Die Verteilung der Zeit auf die einzelnen Betriebsmodi zeigt Abbildung 85. Die Ausfallzeit war trotz der langen Betriebszeit mit etwa 6% sehr gering. Es gab im Wesentlichen nur zwei

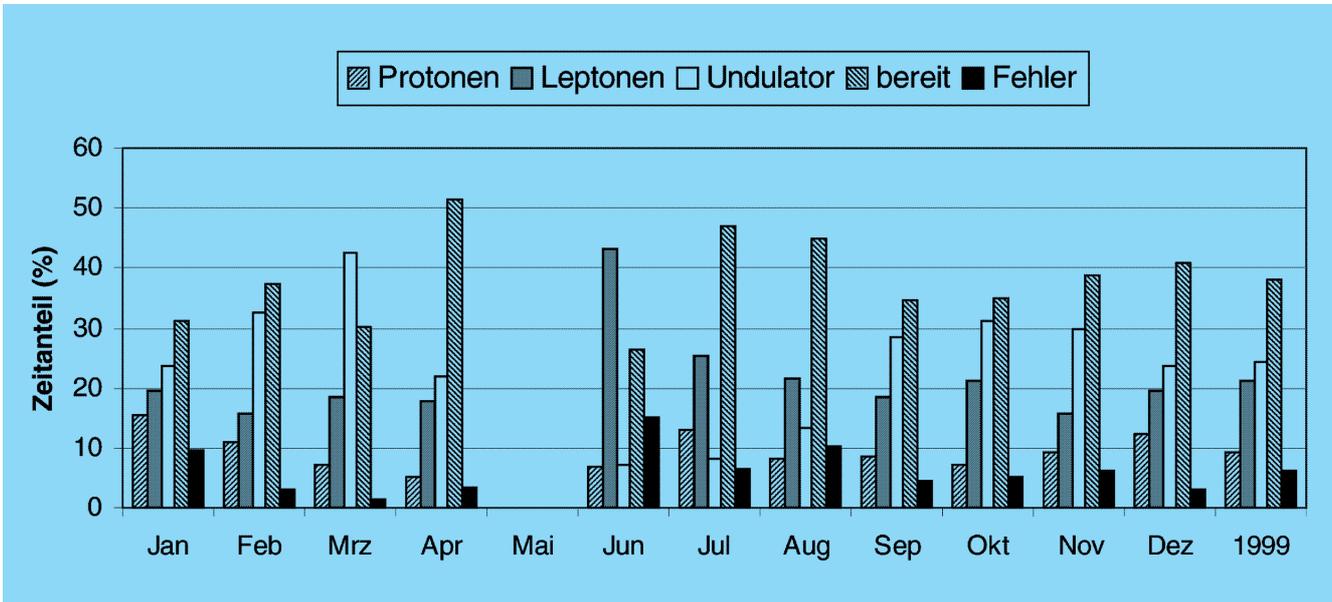


Abbildung 85: Aufteilung der PETRA-Betriebszeit 1999 auf die einzelnen Betriebsmodi: Vorbeschleunigerbetrieb: Leptonen und Protonen; Synchrotronstrahlungsbetrieb: Undulator; Maschine im Wartezustand: bereit.

größere Ausfälle. Zum einen brach ein Keramikfenster einer Abstimmungseinheit der Protonen-Hochfrequenz und zum anderen gab es Probleme mit den Kickern der Protonen-Ejektion. Die Ursache des Fensterbruchs konnte ermittelt werden. Die Konstruktion der Abstimmungseinheit wurde daraufhin leicht geändert und in der nachfolgenden Zeit gab es keine Schwierigkeiten mehr. Die Probleme mit der Protonen-Ejektion, die durch Verschleiß in der Fahrmechanik der Kicker verursacht wurde, konnten durch den Einbau neuer Kicker mit veränderter Fahrmechanik während der Unterbrechung im Mai beseitigt werden. Seitdem funktioniert die Mechanik der Fahrkicker einwandfrei. Der Betrieb im einzelnen sah wie folgt aus:

Vorbeschleunigung von Elektronen und Positronen

Am Betriebsverlauf wurde gegenüber 1998 nichts geändert. In der ersten Betriebsphase von Januar bis Mai wurden Elektronen für HERA zur Verfügung gestellt, und während des übrigen Jahres Positronen. Der

Elektronen-Betrieb für HERA verlief weitgehend störungsfrei.

Vorbeschleunigung von Protonen

Die wesentliche Änderung gegenüber dem Vorjahr bestand im Einbau eines dritten Kickers für die Protonen-Injektion im Mai. Damit war es erstmalig möglich, systematisch die Injektion zu verbessern. Daraufhin wurde ein Computer-Programm zur automatischen Einstellung der Injektion entwickelt und getestet. Wegen der positiven Ergebnisse der Tests soll dieses Programm demnächst routinemäßig eingesetzt werden.

Aufgrund der verbesserten Injektion war es auch möglich, bei vergleichbaren Bedingungen wie in den beiden zurückliegenden Jahren den Spitzenwert des Protonen-Stroms bei Injektionsenergie (7.5 GeV) zu erhöhen. Mit etwa 134 mA liegt er oberhalb des Entwurfswertes von 125 mA. Auch der Spitzenwert des Protonen-Stroms bei Ejektion (40 GeV) wurde gesteigert und er beträgt nun 118.5 mA, das heißt etwa 95% des Entwurfswertes. Der Betrieb zeichnete sich durch hohe Stabilität

aus. Während der Monate August bis November wurden an HERA im Mittel über 100 mA geliefert, ein bisher noch nicht erreichtes Ergebnis.

Betrieb als Synchrotronstrahlungsquelle

Bedingt durch den stabilen HERA-Betrieb im Jahr 1999 stand die Maschine in noch nie dagewesenem Umfang als Synchrotronstrahlungsquelle zur Verfügung, in manchen Wochen zu 50%. Wie aus Abbildung 85 ersichtlich, betrug die Messzeit im Mittel 24% der Zeit, und dieser Anteil hätte auch noch höher sein können, wenn die Zahl der Nutzer größer gewesen wäre. Die Maschine lief entweder mit Elektronen oder Positronen, abhängig davon, welche Teilchenart HERA benötigte. Die Maschinenparameter wurden den

Wünschen der Benutzer angepasst, das heißt die Maschine lief mit sehr wenigen (4) oder sehr vielen (80) Bunchen und die Energie variierte zwischen 11.3 und 12 GeV.

Ein Problem im Jahr 1999 war die Reinheit der Füllung für zeitauflösende Messungen. Aufgrund der Schwankungen des Dipolfeldes im Synchrotron DESY II werden nicht nur die gewünschten Buckets mit Teilchen gefüllt, sondern auch noch die benachbarten Buckets, wodurch die sogenannten Nebenbunche entstehen. Die Intensität dieser Nebenbunche soll auf Wunsch der Nutzer bestimmte Grenzen nicht überschreiten. Um Nebenbunche, die etwa 20 ns oder später hinter dem Hauptbunch folgen, zu beseitigen, wurde versucht, diese mit einem Kicker zu vernichten. Die Testergebnisse waren sehr positiv, so dass daran gedacht ist, dieses Verfahren im Jahr 2000 routinemäßig zum Beseitigen von Nebenbunchen einzusetzen.

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.

Fortführung der Studien zur Elektronenkühlung in PETRA

Eine Option für die längerfristige Zukunft von HERA besteht in der Kollision von unpolarisierten oder polarisierten Hadronen-Strahlen mit Elektronen bzw. Positronen. Um eine möglichst hohe Luminosität bei derartigen Kollisionen zu erreichen, ist die Kühlung der Hadronen-Strahlen von Interesse. In diesem Zusammenhang wird unter anderem auch die Elektronenkühlung von Hadronen in PETRA II seit einiger Zeit untersucht. Für eine effektive Kühlung ist ein „kalter“ intensiver gebunchter Elektronen-Strahl notwendig, das heißt ein Elektronen-Strahl mit kleiner Emittanz und hoher Ladung pro Bunch. Die bisherigen Untersuchungen konzentrierten sich auf die Beschleunigung eines solchen Strahls auf eine Energie von 5–10 MeV.

Es konnte gezeigt werden, dass ein Linac, in dem der Elektronen-Strahl mit Hilfe eines kontinuierlichen Solenoidfeldes fokussiert wird, damit die großen Raumladungskräfte aufgrund der hohen Ladungsdichte des Strahls die Emittanz nicht zu stark aufweiten, einen Elektronen-Strahl der gewünschten Qualität liefert.

Im Berichtszeitraum wurde untersucht, ob die Fokussierung auch mit Hilfe mehrerer kurzer Solenoide er-

reicht werden kann, da diese Lösung technisch leichter realisierbar ist als mit einem kontinuierlichen Solenoid. Diese Untersuchungen sind aber noch nicht abgeschlossen.

Die notwendige Verringerung der Energiebreite und die Verlängerung der Bunchlänge des Elektronen-Strahls auf die Länge des Hadronen-Strahls erfolgt in dem sogenannten Debuncher. Ein solcher Debuncher wurde in Form eines schwach-fokussierenden Speicherrings mit einem Umfang von etwa 12 m gefunden. Untersuchungen bezüglich Raumladungs- und nichtlinearer Effekte in diesem kleinen Ring sind noch erforderlich.

Die eigentliche Kühlung erfolgt dann in einer Kühlstrecke von etwa 40 m Länge. Um der Defokussierung des Elektronen-Strahls in der Kühlerstrecke entgegenzuwirken, ist ebenfalls eine Fokussierung mit Hilfe eines Solenoids notwendig. Darüber hinaus ist eine mehrfache Verwendung eines Elektronen-Bunches zur Kühlung wünschenswert, um die Repetitionsrate der Elektronenkanone (10 MHz) zu verringern. Dazu müssen die Elektronen-Bunche in einem sogenannten Rezipulator, der die Kühlstrecke enthält, für etwa 1000 Umläufe gespeichert werden. Die Auslegung eines solchen Rings wurde 1999 gefunden und es wurde festgestellt, dass die Anforderungen an die lineare Strahldynamik erfüllt werden können. Ähnlich wie im Falle des Debuncher stehen Untersuchungen bezüglich Raumladungskräften und nichtlinearer Effekte noch aus.

Spin-Polarisation

Polarisierte Positronen und Elektronen

Es wurden typische Polarisationsgrade von 50–60% bei Protonen-Strömen zwischen 80 und 100 mA erreicht. Das Vorzeichen der longitudinalen Polarisation

wurde regelmäßig im Rhythmus weniger Wochen umgekehrt, indem die vertikale Geometrie der Spinrotatoren und die horizontalen Rotatorfelder umgedreht wurden.

Durch Anwendung eines definierten, reproduzierbaren Satzes von Orbit-Korrekturen konnte nach jedem Umkehrprozess wieder ein hoher Polarisationsgrad erreicht werden, wodurch die Totzeit bei HERMES minimiert wurde. Es wurde ein spezielles Verfahren für die Benutzung der „harmonischen Beulen“ entwickelt, um kleinen Drifts des periodischen Orbits zu begegnen.

Im Rahmen der Vorbereitungen für die Luminositätssteigerung wurden linearisierte Berechnungen unter Einbeziehung einer vollständigen Beschreibung der überlappenden Felder von Solenoid, Dipolen und Quadrupolen in der Umgebung der Wechselwirkungszone Nord durchgeführt. Die Resultate deuten darauf hin, dass der verschlechterte „Spin match“ einen signifikanten Verlust an Polarisation, verglichen mit dem Wert ohne H1-Solenoid, zur Folge haben wird. Aus diesem Grund ist eine spezielle Form des „Spin match“ erforderlich und es werden geeignete Methoden des „Spin matching“ untersucht. Es wird an Berechnungsmodellen höherer Ordnung gearbeitet, um den Einfluss von Synchrotron-Seitenbändern einzubeziehen.

Da die Randfelder der Solenoiden von H1 und ZEUS nur näherungsweise bekannt sind, werden praktische Verfahren zur online-Optimierung der „skew“ Quadrupolströme untersucht. Der Effekt dieser Optimierung auf die Polarisation muss untersucht werden.

Es wurde eine Fokker-Planck-Gleichung für den Spin entwickelt, die es erlaubt, numerische Studien durchzuführen und konzeptionelle Einsicht in die Spindynamik der Nicht-Gleichgewichtsprozesse zu erlangen. Erste Studien des Effekts der Strahl-Strahl-Wechselwirkung auf die Polarisation lassen vermuten, dass bei voller Design-Intensität des Protonenstrahls die Polarisation der Elektronen/Positronen stark beeinträchtigt werden könnte. Deshalb wurde eine detaillierte theoretische und numerische Studie zur Strahl-Strahl-Depolarisation in Zusammenarbeit mit A. Valishev vom BINP in Novosibirsk (Russland) initiiert.

Polarisierte Protonen

Die Machbarkeitsstudien zur Polarisation von Protonen bei hoher Energie in HERA wurden fortgesetzt. Es wurde klar, dass selbst mit optimierten Kombinationen von „Sibirischen Schlangen“ unter der Prämisse der Praktikabilität ein gekühlter Strahl wünschenswert wäre.

Erste Studien zum Effekt von Magnet- und Aufstellungsfehlern zeigten, dass neue Methoden zur Kompensation des gestörten periodischen Orbits erforderlich sein werden. Außerdem wird über die Möglichkeit polarisierter Deuteronen nachgedacht.

Im Mai 1999 fand ein Workshop mit dem Titel „Polarised Protons at High Energies – Accelerator Challenges and Physics Opportunities“ mit über 100 Teilnehmern statt.

Seit die korrekte Berechnung des „Spin Tunes“ für Teilchen, die Synchro-Betatron-Oszillationen ausführen, möglich ist (siehe Jahresbericht 1998, Seite 198), konnte beobachtet werden, dass der „Spin Tune“ bei Annäherung an eine Spin-Orbit Resonanz diese plötzlich überspringt, das heißt er ist dort eine diskontinuierliche Funktion der Parameter. Außerdem kann die Änderung der Polarisation, verursacht durch eine Veränderung der Systemparameter, bei der eine Spin-Orbit Resonanz gekreuzt wird, mit Hilfe einer Formel, analog zur Froissart-Stora-Formel, beschrieben werden. Die Froissart-Stora Formel wird seit langem erfolgreich zur Beschreibung der Änderung der Polarisation im Niederenergiebereich, das heißt im Grenzfall isolierter Resonanzen, verwendet. Die Verallgemeinerung der Froissart-Stora-Formel auf den Fall dicht liegender Resonanzen, das heißt im Hochenergieregime, ist erstmalig am DESY gelungen! Durch Optimierung der „Orbit Tunes“ konnte die Spin-Akzeptanz, das heißt der Bereich im Orbit-Phasenraum, in dem ein polarisierter Strahl unter Beschleunigung nicht signifikant depolarisiert, deutlich gesteigert werden.

Die Erwartung, dass die Projektion eines Spinvektors auf sein lokales „invariantes Spinfeld“ eine adiabatische Invariante unter langsamer Veränderung der Systemparameter ist, wurde am DESY mit Hilfe der Methode der Mittelung theoretisch belegt.

Ein „Orbit Tune“ kann als Frequenzparameter, der einen Eigenmode charakterisiert, angesehen werden, wenn

man die Lösung der Orbit-Bewegungsgleichungen in Floquet-Form darstellt. Analog dazu konnte am DESY gezeigt werden, dass der „Spin Tune“ eine zusätzliche Frequenz darstellt, die die Lösungen der Spin-Bewegungsgleichungen längs eines integrablen Orbits beschreibt, wenn man sie in verallgemeinerter Floquet-Form darstellt. Dies stellt eine Vereinheitlichung des Floquet'schen Konzepts für Spin und Orbit dar.

Es wurde jetzt am DESY gezeigt, dass die empirisch bekannte Tatsache, dass in „flachen“ Beschleunigern ohne Aufstellungsfehler nur ungerade Spin-Orbit Resonanzen höherer Ordnung auftreten, eine Konsequenz der Symmetrie-Eigenschaften der Felder, speziell der Mittelebenensymmetrie, ist.

Rechenprogramme zur Lösung der Maxwell'schen Gleichungen

DESY setzt die Zusammenarbeit mit den Technischen Universitäten Darmstadt und Rostock fort, das Programmpaket MAFIA zur Lösung der Maxwell'schen Gleichungen neu und weiter zu entwickeln.

Im Berichtsjahr wurde an besseren Diskretisierungsmethoden und algebraischen Algorithmen gearbeitet, die es erlauben, eine größere Klasse von Problemstellungen zu untersuchen. Das Statikprogramm umfasst nun auch thermische Anwendungen und die Elektro-Quasistatik. Außerdem wird weiter daran gearbeitet, Computer-Kapazitäten besser zu nutzen und auszulasten. So können dank flexiblerer Datenstrukturen wesentlich komplexere Modelle von resonanten Strukturen in Beschleunigern berücksichtigt werden. Bei DESY Zeuthen wird die parallele Berechnung großer Eigenwertprobleme unter Ausnutzung der Architektur von APE-Parallelrechnern untersucht.

Für das Projekt der Luminositätserhöhung von HERA wurden zahlreiche Berechnungen von Impedanzen und Wake-Feldern gemacht, die durch neue oder geänderte Komponenten, wie zum Beispiel Strahlrohre in den Wechselwirkungsbereichen und Kollimatoren, bedingt sind. Auch für die Entwicklung der Komponenten anderer Systeme (TTF, TESLA, H1, ZEUS, HERMES und HERA-B) waren die MAFIA-Programme ein wertvolles Hilfsmittel.

Das Programm TraFiC4, das bei DESY entwickelt wurde und in Zusammenarbeit mit der TU Rostock erweitert werden soll, berechnet Raumladungsfelder und kohärente Strahlungsfelder von Ladungspaketen auf gekrümmten Bahnen und deren Wirkung auf die Strahldynamik. Derartige Effekte müssen zum Beispiel in den Bunch-Kompressoren der TESLA Test Facility (TTF) für den FEL-Betrieb berücksichtigt werden. Der Energieverlust in den Ablenkmagneten des Kompressors aufgrund von kohärenter Synchrotronstrahlung variiert sowohl longitudinal als auch transversal innerhalb des Bunches und erzeugt eine Emittanz-Vergrößerung. Solche Effekte werden von TraFiC4 durch numerische Integration der physikalischen Grundgleichungen erfasst. Eines der Resultate solcher Simulationen ist, dass die transversale Emittanz empfindlich von den Strahlparametern am Anfang des Kompressors abhängt.

Arbeiten der technischen Gruppen

Über viele Arbeiten der technischen Gruppen wurde bereits in den Abschnitten über die Beschleuniger (Seite 177 ff, 183 ff und 185 ff) berichtet. Weitere Arbeiten der Gruppen werden hier beschrieben. Die Aktivitäten im Rahmen der Linearcollider-Studien finden an entsprechender Stelle Erwähnung (Seite 215).

Es sei hier darauf hingewiesen, dass sich alle Gruppen am Schichtbetrieb der Beschleuniger oder an Rufbereitschaft beteiligen.

Injektion/Ejektion – MIN –

Die Gruppe MIN-Injektion ist für den Betrieb und die Weiterentwicklung der Injektionsbeschleuniger LINAC II, LINAC III und PIA verantwortlich, ferner für die Strahltransportwege zu den Vorbeschleunigern DESY II und DESY III, für alle Injektions- und Ejektionselemente in allen Beschleunigern und Speicherringen, und für die sogenannten „Beam-Dumps“ in allen Speicherringen und Synchrotrons. In zunehmendem Maß übernimmt MIN weiterhin Aufgaben in Zusammenhang mit dem Betrieb des TESLA Test Facility Linac.

Elektronen/Positronen LINAC II

Die am LINAC II verwendeten Modulatoren sind über 30 Jahre alt, so dass zunehmend mit Ausfällen und längeren Reparaturzeiten zu rechnen ist. Aus diesem Grund wurde im vorletzten Jahr ein Modulator versuchsweise umgerüstet und kann seitdem mit einem neuen Lade-netzgerät und neuer SPS-Steuerung betrieben werden. Nach den Erfahrungen im Langzeitbetrieb kann nun ein sukzessiver Umbau aller Modulatoren durchgeführt werden, der aus betriebstechnischen Gründen über die kommenden drei Jahre verteilt durchgeführt werden soll.

Auch wenn im Berichtszeitraum kein Wechsel der Kanoneneinheit notwendig war, so ist doch der vereinfachte Wechsel in Vorbereitung. Hierzu wurde eine austauschbare Einheit mit Anodenflansch und Vakuumventil für einen schnellen Kanonenwechsel berechnet, konstruiert und gefertigt. Weiterhin werden zur Zeit alle Strahlführungselemente zwischen der Kanone und dem ersten Beschleunigerabschnitt mit in neuer CF Vakuum-Dichttechnik realisierten Anschlüssen gefertigt. Nach dem Test auf einem separaten Teststand sollen alle Komponenten (Kanone, Plattensystem und Prebuncher) in der Betriebsunterbrechung im Sommer 2000 im LINAC II eingebaut werden.

LINAC III

Im Zusammenhang mit den Modifikationen im Bereich der H^- -Quellen wurden im Vorjahr ein neues Plattensystem in der Strahlführung, ein RFQ für 35 keV Eintrittsenergie und ein „Rebuncher“-Resonator neu installiert und in Betrieb genommen. Ein neu aufgebauter 10 kW-Sender einschließlich Amplituden- und Phasenregelung ist ebenfalls Teil des Systems. In vielen Betriebsstunden konnten gute Erfahrungen gesammelt werden.

Die Senderansteuerung ist in Teilen erneuert worden. Im Zusammenhang mit der im Vorjahr erneuerten PC-Steuerung wurden weitere Verbesserungen vorgenommen. Für eine verbesserte Strahldiagnose werden zur Zeit neue Diagnoseboxen mit Harfen gefertigt, die im Sommer 2000 einbaubereit sein werden.

Kicker

Für die Protonen-Ejektion von PETRA II nach HERA wurden im Sommer 1998 die vorhandenen sogenannten Fahrkicker durch eine neue Generation von Kickermagneten ersetzt, die sich seitdem im Betrieb sehr gut bewährt haben. Im Bereich der Injektion von Protonen in PETRA II hinein wurde ein zusätzlicher dritter Kickermagnet installiert. Auch er konnte ohne Ausfälle betrieben werden.

Zur Zeit wird sowohl ein Kickermagnet für den HERA Elektronen-Dump entwickelt als auch ein sogenannter Feedback-Kicker, der an der TESLA Test Facility im Rahmen von Studien für den TESLA Linearcollider erprobt werden soll.

In zunehmendem Maße werden Röhren durch Halbleiterpulser ersetzt. Dies spiegelt sich in der noch laufenden Entwicklung neuer Pulser für Kickermagnete bei DESY II, PETRA II und HERA wider.

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, die zweite, MHF-s, 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 –

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

Strahlbetrieb	1999 e ⁺ /e ⁻	1998 e ⁻
Dauer des Lumi-Betriebes in Monaten ⁽¹⁾	8	4
Anzahl der Lumi-Runs	317	137
Integrierte Luminosität	45 pb ⁻¹	9 pb ⁻¹
Mittlere Anzahl der Lumi-Runs pro Monat	39	34
Mittlere Dauer eines Lumi-Runs	8.4 h	5.4 h
Mittlere Zeit zwischen zwei Lumi-Runs ⁽²⁾	10.4 h	16.1 h
Mittlerer Anfangsstrom eines Lumi-Runs	30.6 mA	25 mA
Mittlerer Strom während der Lumi-Runs	18 mA	14 mA
Über den gesamten Betriebszeitraum gemittelter Strom ⁽³⁾	11 mA	6 mA
HF-Betrieb		
Mittlere Leistung pro HF-System zu Beginn eines Lumi-Runs	750 kW	710 kW
Gesamtzahl der Strahlverluste ⁽⁴⁾ durch Störungen der HF-Systeme	139	26
Gesamtzahl der Strahlverluste bezogen auf die integrierte Luminosität	3.1 pb	2.9 pb

⁽¹⁾ Anzahl der Wochen mit Lumi-Betrieb $\times 7 / 30.5$

⁽²⁾ $30.5 \times 24 \text{ h/Monat} / 39 \text{ Runs}$ – mittlere Run-Dauer

⁽³⁾ inklusive Ströme außerhalb der Lumi-Runs

⁽⁴⁾ Definition von Strahlverlust: $\Delta I_B > 10\%$

Tabelle 5: Strahl- und HF-Betrieb der HERA-e Maschine.

bestehen aus 16 Senderanlagen mit insgesamt 28 Dauerstrich-Klystrons. Davon sind 20 800 kW-Klystrons, vier 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 etwa 3.2 km Hohlleiter auf etwa 120 normalleitende und 16 supraleitende Cavities verteilt.

Gegenüber dem Vorjahr, welches durch Elektronenbetrieb mit relativ schlechtem Strahlvakuum, kurze Runs und niedrige Strahlströme gekennzeichnet war, konnte die relative Betriebssicherheit beim HERA-e HF-Betrieb wieder etwas gesteigert werden. Die Anzahl der HF-bedingten Strahlverluste, bezogen auf die integrierte Luminosität, ist zwar nahezu konstant bei etwa 3 pb geblieben, die Betriebsbedingungen für die HF-Systeme waren aber deutlich härter als im Vorjahr, wie Tabelle 5 zeigt:

- Die mittlere Run-Dauer verlängerte sich um 55%,
- der mittlere Anfangsstrom der Luminositäts-Runs vergrößerte sich um 22%,

- die mittlere Senderleistung bei Run-Beginn vergrößerte sich um 6%.

Zur Auswertung wurden die Ursachen von Störungen der HF-Systeme in fünf Kategorien aufgeteilt:

- HV: Sender-Gleichrichteranlage, Klystronschutz,
- Sender: Senderanlage inklusive Klystrons, Zirkulator, Modulator, Luft- und Wasserkühlung,
- Cavity: Hohlleitersystem mit Absorbern und Cavities inklusive Vakuum-Überwachung, Kühlung und Frequenzabstimmung,
- Sonstiges: Fehlbedienung, Phasing, SLC-Kryogenik, Netzwechsler usw.
- Unbekannt: Verursacher konnte nicht eindeutig ermittelt werden.

Der größte Anteil aller Störungen entfällt mit 40% auf die Rubrik „Cavity“, dann folgen HV-Probleme mit 24% und Sender mit 17%.

Etwa 2/3 der Cavity-Störungen fallen in den Bereich „Cavity-Vakuum“. Nahezu alle waren in einem eng begrenzten Leistungsbereich von etwa 70 kW/Cavity aufgetreten, der für „Multipacting“ bekannt ist. Allerdings war der Vakuum-Druck bei diesen Ereignissen überraschenderweise nie über einige 10^{-7} mbar hinausgegangen. Bedingt durch elektronische Effekte wurde dieser an sich harmlose Druckanstieg fehlinterpretiert, was zum Abschalten führte. Erste Maßnahmen zur Verhinderung derartiger Störungen wurden in den letzten Betriebswochen bereits getroffen.

Außer den direkt mit dem Beschleunigerbetrieb in Zusammenhang stehenden Tätigkeiten wurden von MHF-e noch weitere Projekte durchgeführt:

- HF-Leck-Interlock: Ein von MHF-e entwickeltes HF-Leck-Interlock-System für 500 MHz wurde an allen Speicherringen installiert und in Betrieb genommen. Im Bereich aller 500 MHz-HF-Komponenten wurden insgesamt 300 Leck-Sensoren mit einer Ansprechempfindlichkeit von $< 500 \text{ mW/m}^2$ installiert. Die Positionierung der Sensoren wurde so gewählt, dass jedes Leck mit einer Leckleistung $> 100 \text{ W}$ automatisch zur Senderabschaltung führt. Zur Lecküberwachung der beiden 1 GHz-HF-Systeme bei HERA und DORIS III werden gegenwärtig entsprechende Sensoren entwickelt. Die Installation ist für den kommenden Shutdown geplant.
- Neuer HV-Raum für 1 GHz-Feedback-System bei DORIS: Im vergangenen Jahr musste die letzte noch in Betrieb befindliche clophen-gefüllte Senderstromversorgung bei DORIS III außer Betrieb genommen und durch eine neue Anlage ersetzt werden. In diesem Zusammenhang wurde in der Senderhalle DORIS-NR ein neuer HV-Raum errichtet und für das 1 GHz-Feedback-System in Betrieb genommen.
- Modernisierung des Cavity-Teststandes in Halle 2a: Zur Rationalisierung anstehender Abnahmetests von neu produzierten 500-MHz-Cavities wurde der Cavity-Teststand mit moderner Sensorik und einer SPS ausgestattet. Konditionierprozesse und Abnahmemessungen können jetzt voll- bzw. halbautomatisch durchgeführt werden.
- Erfolgreiche Abnahmetests von neuen 5-zelligen 500 MHz-Cavities der Firma ACCEL: Der Prototyp und das erste Serien-Cavity bestanden erfolg-

reich die Abnahmetests. Weitere 19 Cavities werden im Laufe des Jahres 2000 folgen. Mindestens zwei dieser neuen Cavities werden im kommenden Shutdown bei HERA installiert.

- Erfolgreiche Inbetriebnahme neuer 500 MHz-800 kW-Klystrons der Firmen CPI und EEV: Nach der überraschenden Produktionseinstellung des langjährigen Klystron-Lieferanten PHILIPS und der Auslieferung des letzten Klystrons im Januar 1998 konnten die ersten Klystrons der neuen Lieferanten erfolgreich in Betrieb genommen werden. Derzeit sind zwei CPI-Klystrons am HF-System HERA-WL und ein EEV-Klystron am Sender HERA-SR in Betrieb.

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, die aus jeweils vier Zellen bestehen. Sie sind aus dem Metall Niob gefertigt, welches bei 9.2 K supraleitend wird. Die Betriebstemperatur der supraleitenden Resonatoren ist 4.2 K, die Temperatur des flüssigen Heliums bei Normaldruck. Eine detaillierte Beschreibung der supraleitenden Beschleunigungsstrecke ist in den früheren Jahresberichten gegeben worden.

Um Zerstörungen im Einkoppler durch einen möglichen starken elektrischen Überschlag zu vermeiden, muss beim Auftreten von „Multipacting“ (siehe DESY Jahresbericht 1996, Seite 188) die Klystronleistung abgeschaltet werden. Als Folge hiervon geht meistens der gespeicherte Strahl wegen der dann zu geringen Umlaufspannung verloren.

Simulationsrechnungen und Versuche an Testaufbauten haben gezeigt, dass „Multipacting“ durch Anlegen einer Gleichspannung zwischen dem koaxialen Innen- und Außenleiter unterdrückt werden kann.

Während der Wartungsperiode 1998 wurden erstmals die 16 Einkoppler so umgerüstet, dass eine Gleichspannung von 3.5 kV angelegt werden kann. Danach traten im Betriebsjahr 1998 keine Abschaltungen mehr durch Kopplerprobleme auf. Während der Betriebszeit 1999

musste eine durchgeschlagene Isolierfolie an einem Einkoppler ausgetauscht werden. Abgesehen von dieser kleinen Reparatur, die während einer regulären Wartungsperiode durchgeführt werden konnte, traten keine Probleme an den Einkopplern mehr auf. Dies ist besonders bemerkenswert, da im Betriebsjahr 1999 im Vergleich zum Vorjahr der Speicherring HERA mit höheren Strömen und somit auch mit höheren Cavity-Leistungen betrieben wurde.

Langfristig soll die Kühlung der Einkoppler von kaltem Helium-Gas auf Luft umgestellt werden, so dass die kritische Hochspannungsisolierung der bislang benutzten kalten Helium-Gas-Transferleitung entfallen kann.

Hauptaufgabe der Gruppe MHF-sl war weiterhin die Entwicklung supraleitender Resonatoren für TESLA. Die Entwicklungsschwerpunkte waren

- Design und Prototypbau der „Superstruktur“, die vier 7-zellige supraleitende Resonatoren zu einer Hochfrequenzeinheit verbindet,
- Fertigung und Messungen von weiteren 9-zelligen supraleitenden Niob-Resonatoren,
- Weiterentwicklung der Einkoppler für TESLA-Resonatoren,
- Aufbau und Betrieb einer Apparatur zum Bedampfen von Al_2O_3 -Keramikfenstern mit TiN. Durch eine etwa 100 Å dicke Schicht wird das Auftreten von Überschlügen weitgehend unterbunden.
- Vorversuch zum Einsatz von NEG („Non Evaporable Getter“)-Schichten im Vakuumbereich von HF-Einkopplern. Durch eine etwa 10 µm dicke NEG-Schicht wird eine wirksame Pumpleistung in situ installiert. Weiterhin wird durch die NEG-Schicht die Multiplikation freier Ladungsträger unterbunden. Diese Arbeiten werden in Zusammenarbeit mit CERN durchgeführt.

Anlagen zur Beschleunigung von Protonen – MHF-p –

Im Berichtszeitraum arbeiteten die Hochfrequenzsysteme zur Beschleunigung von Protonen in den Ringbeschleunigern weitgehend problemlos. Das größte Problem stellte das gelegentliche Ausloggen der

Tuner-Regelung der 208 MHz-Hochfrequenzsysteme bei HERA dar, das bei der Strahlinjektion oder der Strahlbeschleunigung hauptsächlich bei hohen Strahlintensitäten zu beobachten war. Verursacht wurde es durch eine zu ungenaue Phaseneinstellung der 208 MHz Systeme relativ zu den 52 MHz-Systemen und relativ zum Strahl. Durch eine genaue Phaseneinstellung und durch eine neu eingebaute automatische Phasenkorrektur während der Strahlbeschleunigung konnte das Problem behoben und für einen reibungslosen Betrieb gesorgt werden.

Während der HERA Betriebsunterbrechung im Mai konnten neu entworfene HF-Module in das HERA-p Hochfrequenzsystem integriert werden. Diese erlauben es, Referenzsignale hoher Qualität und Einkoppelpunkte für die Korrektursignale für eine zukünftige zusätzliche Regelung bereitzustellen. Diese Einheiten funktionierten auf Anhieb zuverlässig. Im November wurde die Detektion der komplexen 52 MHz-Fourierkomponente der longitudinalen Bunchsignale fertiggestellt. Später sollen damit die Beam-Loading-Transienten vorausberechnet werden. Mit dieser Einheit gelang es zum ersten Mal, Multibunch-Schwingungen von Protonen-Bunchen in HERA nachzuweisen, die zum Beispiel während der Strahlbeschleunigung auftreten. Mit Hilfe dieser Messapparatur ist es auch möglich, die Synchrotronfrequenz während der Strahlbeschleunigung aufzuzeichnen. Abbildung 86 zeigt Multibunch-Schwingungen in HERA-p, die mit dieser Messeinrichtung aufgenommen wurden.

Die größte Umbaumaßnahme stellte der Einbau einer kapazitiven Frequenzabstimmung am 52 MHz-System B bei PETRA II anstelle der vorhandenen Ferritabstimmung dar. Dieses neue Konzept hatte sich bereits bei System A im letzten Jahr bewährt. Durch den größeren Abstimmbereich des neuen Systems kann auf die zusätzlichen Abstimmplatten in den Resonatoren verzichtet werden, an denen in der Vergangenheit manchmal Vakuumlecks aufgetreten waren.

Bei DESY III wurde der Bau eines Ersatzresonators vorangetrieben, um ihn im nächsten langen Shutdown in DESY III einbauen und testen zu können.

Die Gruppe MHF-p ist auch für die Hochfrequenzversorgung der TESLA Test Facility (TTF) und für die Entwicklung von Hochfrequenzkomponenten für

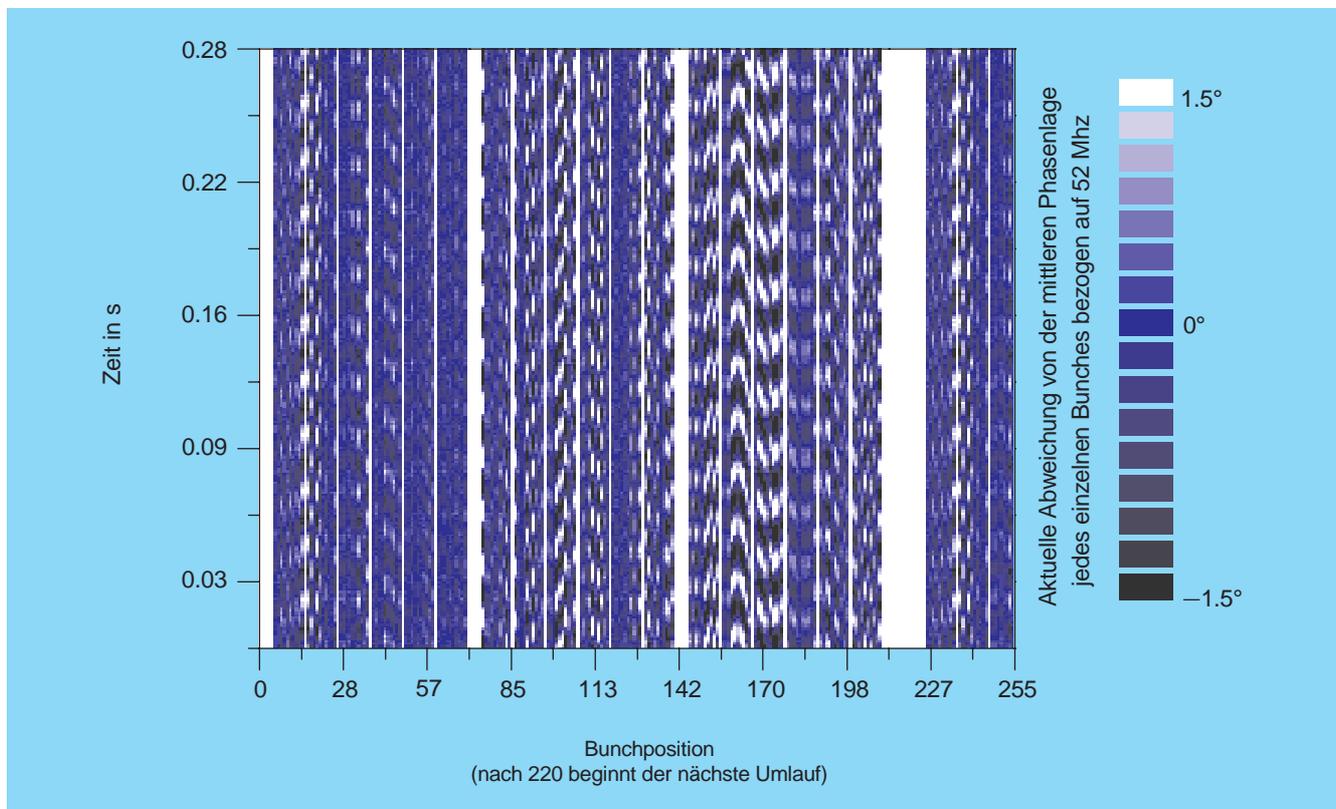


Abbildung 86: *Multibunch-Schwingungen von Protonen in HERA. Die Beobachtungszeit von 0.28 s entspricht etwa elf Schwingungsperioden der Bunche um ihre jeweilige Sollphase. Je nach der aktuellen Differenz zur Sollphase wurde in der Darstellung eine andere Färbung gewählt. So lassen sich bei Bunchposition 160 deutlich Bunche erkennen, die miteinander schwingen. Die Bunche um die Position 205 schwingen, verglichen dazu, gegeneinander.*

TESLA verantwortlich. Dazu gehören die Kleinsignal-Hochfrequenzkomponenten, die Hochspannungsmotoren, die Klystrons, die Hochfrequenzverteilung für TTF und die mit diesen Systemen verbundenen Entwicklungsarbeiten für TESLA. In Zusammenarbeit mit der Gruppe MKK wurde begonnen, eine neu entwickelte Regelung in einen Modulator zu installieren mit dem Ziel, die von den Modulatoren verursachten Netzstörungen zu minimieren und die Ausgangsleistung der Modulatoren bei Netzschwankungen besser zu regeln. Aufträge zur Fertigung von drei weiteren Modulatoren und deren Untersystemen wurden an Industriefirmen erteilt. Ein wichtiger Entwicklungsschritt war der erfolgreiche Test eines Prototyps des neu entwickelten 10 MW-Multibeamklystrons bei 10 MW Pulsleistung, der Folgefrequenz 30 Hz und der Pulsdauer 500 μ s beim Hersteller. Er steht nun bereit, um bei

DESY in einem Modulator, der eine Pulsdauer von 1.3 ms bei der Folgefrequenz von 10 Hz ermöglicht, getestet zu werden. Studien zur Massenproduktion von Klystrons und Modulatoren für TESLA wurden ausgeschrieben.

Die Hochfrequenzregelung der TTF, die für die Regelung der Vektorsumme von 24 supraleitenden Resonatoren ausgelegt ist und die zur Zeit die 16 Resonatoren ansteuert, hat sich im mehrere Monate dauernden Strahlbetrieb als sehr zuverlässig erwiesen. Der Betrieb der Hochfrequenzregelung wurde durch vereinfachte Benutzeroberflächen und Reduktion der notwendigen Eingabeparameter für Feedback, Feedforward und Strahlkompensation sehr erleichtert. Die Diagnostik zur Kalibrierung der Resonatorfelder mittels strahlinduzierter Transienten wurde verbessert und kann nun routinemä-

Big zum Einstellen der individuellen Resonatorphase eingesetzt werden, sofern das Produkt aus Anzahl und Ladung der Strahlpulse mindestens 100 nC beträgt.

Software und Technik zur Kontrolle von Beschleunigern – MST –

Die Gruppe MST entstand Mitte 1999 durch die Aufteilung der ehemaligen Gruppe MKI (Kontrolle und Instrumentierung) in die drei unabhängigen Gruppen MST, MDI und MSK.

Die Aufgaben der Gruppe MST sind

- Entwicklung und Betreuung von Software zur Kontrolle von Beschleunigern,
- Betreuung und Administration der Rechnernetzwerke im Bereich der Beschleunigerkontrolle,
- Betreuung der notwendigen Rechnerhardware,
- Entwicklung bzw. Betreuung spezieller Interface- und Servicemodule sowie der Betrieb des Beschleunigerkontrollraums,
- Entwicklung und Betreuung prozessorgesteuerter Elektronik,
- Betreuung und Weiterentwicklung des Personeninterlocks und der damit verbundenen Serviceeinrichtungen sowie Betreuung und Weiterentwicklung der HERA-Zugangskontrolle.

Die Arbeiten im Bereich der Software-Entwicklung konzentrierten sich hauptsächlich auf die Beschleuniger HERA und DORIS III sowie auf die Vorbeschleuniger. Bei HERA wurde das 1998 eingeführte, auf PCs basierende Kontrollsystem konsequent weiterentwickelt. Der Entwicklungsschwerpunkt lag einerseits in der Entwicklung von Programmen, die eine optimierte Bedienung und eine verbesserte Fehlersuche erlauben; Beispiele hierfür sind ein ereignisgesteuertes Archiv von Maschinenparametern, verbesserte Möglichkeiten, archivierte Daten zu visualisieren oder das zentrale Alarmierungssystem. Andererseits wurde daran gearbeitet, auch noch die letzten Teile des Beschleuniger-Kontrollsystems, die nicht unter PC-Kontrolle sind, umzustellen. Dies betrifft vor allem den

komplizierten Vorgang des Transfers der Teilchenstrahlen zwischen PETRA II und HERA. Bei DORIS III wurde die Lageregelung der Synchrotronstrahlen auf PC-Kontrolle umgestellt. Eine Kompensation der Einflüsse des PETRA-Betriebs auf den DORIS-Betrieb und die Einführung einer vertikalen Synchrotronstrahlregelung verbesserte die Experimentierbedingungen an den HASYLAB-Messplätzen und erhöhte deren Attraktivität. In Zusammenarbeit mit der Gruppe MPY entstand ein neuer Optikserver. Das zugehörige Bedienungsprogramm, das auch bei PETRA II und HERA Verwendung findet, wurde überarbeitet. Im Bereich der Vorbeschleuniger LINAC II, DESY II und DESY III wurde die Umstellung auf PC-Kontrolle weitgehend abgeschlossen. Die Umstellung geschah parallel zum Beschleunigerbetrieb, ohne dass dieser davon beeinträchtigt gewesen wäre. Zur Zeit erfolgt im Wesentlichen nur noch die Kontrolle der H⁻-Quelle sowie die Magnetsteuerung bei DESY III in der althergebrachten Form.

Es ist das Ziel der Gruppe MST, auch im Bereich der TTF mitzuwirken. Es wurde kurzfristig eine Elektronen-Strahllagemessung im Bereich des TTF-Undulators realisiert. In diesem Zusammenhang stehen Entwicklungsarbeiten, auch Funktionen und Strukturen des bei TTF eingesetzten Kontrollsystem-Standards in das bei HERA eingesetzte Kontrollsystemprotokoll TINE („Trifold Integrated Networking Environment“) einzuarbeiten.

Die Arbeiten an der Software-Entwicklung und -Umstellung waren begleitet von Umbauarbeiten der Bedienungskonsolen im Beschleunigerkontrollraum und Wartung und Ersatz der benötigten Rechner, Rechnerperipherie sowie Netzwerk- und Feldbuskomponenten. Es wurde zum Beispiel ein neues Interface-Modul entwickelt, das die Verbindung zwischen einem PC und dem DESY Feldbus-Standard SEDAC darstellt, sowie die notwendige Interfacesoftware bereitgestellt. Parallel hierzu begannen Vorbereitungsarbeiten, um in Zukunft auch CAN- und Profibus als Standard-Feldbus neben SEDAC im Kontrollsystem zu unterstützen.

Prozessorgesteuerte Elektronik kommt im Bereich der Beschleunigerkontrollen in großer Stückzahl zum Einsatz. So mussten im Berichtsjahr über 3000 Controller gewartet und gegebenenfalls repariert werden. Neben diesen zeitaufwendigen Servicearbeiten fand eine Reihe von Weiter- und Neuentwicklungen statt. Der

Schwerpunkt lag hierbei bei der Ausrüstung der 60 neuen DORIS III Korrekturnetzgeräte mit neuen Netzgerätekontrollern. Auch durch die Umstellung der Vorbeschleunigerkontrollen war eine Änderung der Programme der entsprechenden Netzgerätekontroller notwendig geworden. Außerdem begannen die Vorbereitungsarbeiten im Zusammenhang mit der für das Jahr 2000 geplanten Luminositätserhöhung bei HERA. Es werden weit über 200 neue Controller benötigt.

In Zusammenarbeit mit der Gruppe MKK begann die Entwicklung einer neuen 18-Bit-Istwerterfassung, die in Zukunft in die Elektronik der Hauptnetzgeräte integriert werden kann. Es werden dann zwischen dem Netzgerät und dem Controller nur noch digitale Informationen galvanisch getrennt übertragen, wodurch die Möglichkeit von Störungen verringert und die Genauigkeit der Messung erhöht werden wird.

Ein weiterer Aufgabenbereich der Gruppe MST ist die Ausrüstung, Betreuung und Weiterentwicklung des gesetzlich vorgeschriebenen Personen-Interlocks aller Beschleuniger bei DESY. Der Schwerpunkt der Arbeiten lag einerseits bei der Verbesserung der akustischen und optischen Warneinrichtungen. Eine wichtige Teilaufgabe war hierbei die Entwicklung einer Überwachung der Durchsagentexte in Abhängigkeit vom Maschinenzustand. Andererseits wurden die Entwicklungsaufgaben für ein neues Türeninterlock mit zwangsgesteuerten Relais und integriertem Rechner-Interface fortgesetzt, die bereits im Vorjahr begonnen worden waren.

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, Strahlstrom, Strahlprofil und Strahlpolarisation 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. Das Bereitstellen präziser Messungen des mittleren Strahlstroms und des Stroms in den einzelnen Teilchenpaketen liefert eine schnelle und zuverlässige Diagnose

über die zeitliche Entwicklung des störenden „Coasting Beam“ in HERA.

Die Zusammenarbeit mit anderen Instituten auf dem Gebiet der Strahlinstrumentierung wurde intensiviert. So sind acht „Wire-Scanner“ vom LEP-Typ (CERN) erfolgreich bei TTF installiert und in Betrieb genommen worden. Diese können, neben einer präzisen Emittanzmessung, auch die Strahlposition relativ zu einem externen Referenzsystem mit einer Genauigkeit von etwa 10 μm bestimmen und damit die Strahlpositionsmonitore kalibrieren.

Zusammen mit Mitarbeitern vom CERN wurde bei HERA erfolgreich ein Messaufbau zur Bestimmung der Strahl-Chromatizität getestet. In Zusammenarbeit mit IHEP (Moskau) wurde eine gleichzeitige Auslese der Schirmmonitore in den Protonen-Transportwegen sowie eine verbesserte Auslese des Synchrotronstrahlungs-Monitors in HERA-e fertiggestellt.

Eine Zusammenarbeit mit dem Hahn-Meitner-Institut in Berlin zur Entwicklung eines neuartigen Strahlverlustmonitor-Systems für TTF/TESLA wurde sehr erfolgversprechend gestartet. Die kontinuierliche Neu- und Weiterentwicklung vieler Messsysteme ging erfolgreich voran. So konnte zum Beispiel innerhalb kürzester Zeit eine provisorische Auslese der Strahlage-Monitore in den TTF-Undulatoren in Betrieb genommen werden. Mit deren Hilfe konnten einige Schwierigkeiten im Strahltransport durch die Undulatoren gelöst werden. Die endgültige Auslese-Elektronik sowie ein neues Strahlage-monitor-System in DESY III stehen kurz vor der Vollendung.

Für das Luminositätserhöhungs-Projekt bei HERA hat MDI einige Aufgaben übernommen. Dazu zählen, neben der Installation neuer Kollimatoren, Strahlage- und Strahlverlustmonitore, auch die Entwicklung neuer Synchrotronstrahlungs-Monitore (zusammen mit IHEP und CERN) und die Entwicklung eines Positioniersystems von supraleitenden Quadrupolen in den Experimenten. Der ständige Ausbau, die Wartung und die Dokumentation der Lichtleiter-, Koaxial- und Steuerkabelnetze in allen Beschleunigeranlagen wurden von MDI in Zusammenarbeit mit einigen externen Firmen zuverlässig weitergeführt.

Strahlkontrollen – MSK –

Die Aufgaben der Gruppe MSK umfassen diverse Kontroll- und Instrumentierungs-Aktivitäten, die insbesondere strahldynamische Belange beinhalten:

- Transfersteuerung und Synchronisation bei der Teilchen-Injektion,
- Markersysteme und Triggererzeugung,
- HF-Ansteuerung der Vorbeschleuniger und HERA,
- Strahl-Feedback an allen Beschleunigern,
- Bunchmessung zur longitudinalen Strahl diagnose,
- Messung longitudinaler Strahlschwingungen zur Phasen Anpassung beim Transfer,
- Messung der Q-Werte (Arbeitspunkte) durch Analyse transversaler Strahlschwingungen,
- Magnetstrom-Steuerung für DESY II und DESY III,
- Frequenz-Steuerung der Protonen-Kreisbeschleuniger.

Die Schwerpunkte der Arbeit lagen im Berichtsjahr bei folgenden Aktivitäten:

- Inbetriebnahme einer neuen Transfersteuerung für Elektronen bei HERA im Zuge der Umstellung auf VME-Bus basierende Hardware für Transfer- und Frequenzsteuerung.
- Inbetriebnahme eines Protonen-Feedback zur Dämpfung transversaler Multibunch-Instabilitäten in PETRA; es wurden Dämpfungszeiten von etwa 100 μ sec für beide Schwingungsebenen erzielt.
- Zur Erweiterung und Verbesserung der Feedback-Systeme wurden Signalprozessoren DSP durch programmierbare Logik PLD ersetzt.
- Bereitstellung einer resonanten transversalen Anregung der Protonen in der Dump-Lücke zur Beseitigung des CB („Coasting Beam“) in HERA.
- Zur Messung des CB wurde ein Schottky-Signal-Detektor entwickelt, der die spektrale Verteilung des CB in der Umgebung des gebunchten Strahles darstellen soll.
- Durchführung von Arbeiten an einer Prototyp-Hardware für ein schnelles TTF-Feedback.

Quenchüberwachung – MQP –

Die Projektgruppe MQP besteht aus Mitgliedern der M-Bereichsgruppen MST, MDI und MKS sowie der F-Bereichsgruppe FEB. Die Aufgabe der Gruppe besteht darin, das Quenchüberwachungssystem des HERA-Protonen-Rings weiter zu entwickeln und zu betreuen. Von einem Quench spricht man, wenn ein supraleitender Magnet, zum Beispiel durch einen Energieeintrag bei einem Strahlverlust, schlagartig in den normalleitenden Zustand übergeht. 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.

Schon im Jahr 1998 war die HERA-Protonen-Strahlenergie von 820 GeV auf 920 GeV erhöht worden. Auch im Jahr 1999 wurde HERA bei der höheren Strahlenergie betrieben, ohne dass es zu einer größeren Anzahl strahlinduzierter Quenche gekommen wäre. In jedem Fall wurden alle Schnellabschaltungen der supraleitenden Magnete, zum Beispiel bei einem Quench, sicher beherrscht. Das Quenchüberwachungssystem erwies sich während der gesamten Zeit als unauffällig und weitgehend störungsfrei. Dieses gute Resultat wurde, wie auch schon in den vergangenen Jahren, durch konsequente Beseitigung erkannter Fehler und durch regelmäßige, vorbeugende Wartung erreicht.

Vakuum – MVA –

Mit Ausnahme der Vakuumsysteme des Protonen-Rings von HERA und DESY III werden alle anderen Maschinen-Vakuumsysteme von MVA entworfen, weiterentwickelt und betrieben. Neben den allgemeinen Arbeiten und den Reparaturarbeiten lagen die Schwerpunkte der Tätigkeiten 1999 in der Inbetriebnahme und Abnahme des umgebauten Vakuumsystems mit NEG-Pumpen und neuen PC-Kontrollen, bei der Fertigung des noch einzubauenden 400 m langen Vakuumsystems der Spinrotatoren für die Experimente ZEUS und H1, bei der Konstruktion und Fertigung der Vakuumkomponenten für die Luminositätserhöhung von HERA, bei Konstruktionsarbeiten zur mechanischen

Entkoppelung der Vakuumkammern von den Magneten in DORIS III, bei der Modernisierung der Vakuumkontrollen in PETRA II sowie bei der Entwicklung von Komponenten und Fertigungsprozessen für das TESLA-Projekt.

HERA

Der problemlose und störungsfreie Betrieb des neuen Vakuumsystems mit NEG-Pumpen konnte auch im Jahr 1999 fortgesetzt werden. Insgesamt hat das Vakuumsystem einen großen Teil seiner durch „Strahlwaschen“ während der vergangenen Betriebsjahre erreichten „Sauberkeit“ beibehalten. Entsprechend sind die Pumpen mit geringeren Gasmengen belastet worden als erwartet. Die daraus resultierenden Regenerierungsintervalle der Pumpen wurden auf einen Zeitraum von mehr als einem Betriebsjahr ausgedehnt.

Nach einer Belüftung des Vakuumsystems reicht schon eine Strahlstromdosis von 1 Ah anstatt der üblichen 30 Ah, um Elektronen oder Positronen bei einem Druck von einigen 10^{-9} mbar in HERA zu speichern und eine Strahllebensdauer von über fünf Stunden zu erreichen. Der Betrieb des HERA-Vakuumsystems wurde wesentlich erleichtert durch die neuen Vakuumkontrollen auf PC-Basis. Damit ist es nunmehr möglich, das System über PCs von verschiedenen Orten zu kontrollieren.

Eine der Hauptaufgaben von MVA im Jahr 1999 war die Neuentwicklung des Vakuumsystems der HERA-Wechselwirkungszonen für das im kommenden Jahr anstehende Luminositätssteigerungs-Projekt. Die Konstruktion des etwa 300 m langen Systems (pro Wechselwirkungszone, gemeinsames und exklusives Elektronen-System) wurde in enger Zusammenarbeit mit der Konstruktion durchgeführt.

Die Hauptprobleme bei diesem Projekt bestehen in der sicheren Handhabung von etwa 25 kW Strahlungsleistung, die in den supraleitenden Magneten der Detektoren erzeugt werden, sowie in der Gefahr eines höheren bremsstrahlungs-induzierten Untergrunds in den Detektoren. Dementsprechend ist das innere Vakuumsystem der Wechselwirkungszonen mit mehreren Absorbieren und Kollimatoren sowie einer hohen installierten Pumpleistung zur Erzielung eines verbesserten Restgasdruckes recht kompliziert aufgebaut. Die Vakuum-

kammern sind oft mit kleinen Toleranzen dem MagnetInnenraum angepasst. An vielen Stellen sind parallel laufende NEG-Pumpen angebracht. Es war erforderlich, gleichzeitig mit der Konstruktion dieser Komponenten die entsprechenden Fertigungsverfahren im Bereich der Umform-, Beschichtungs- und Füge-technik zu entwickeln und zu testen.

Darüber hinaus wurde ein neuer Typ von verteilten NEG-Pumpen entwickelt und erfolgreich getestet. Diese Pumpen sind nunmehr in der Lage, das erforderliche hohe Saugvermögen bei niedrigen Aktivierungs- und Regenerierungstemperaturen zu liefern. Letztere Bedingung war notwendig, um inakzeptable Durchbiegungen der eng tolerierten, langen Vakuumkammern in den Magneten während der Aktivierung der Pumpen zu vermeiden.

Die Fertigung und die Abnahme der Vakuum-Komponenten für das 400 m lange Vakuumsystem der zwei Spinrotatoren von Zeus und H1 wurden Ende 1999 abgeschlossen. Alle Vakuumkammern sind mit der entsprechenden Bleiabschirmung versehen und in den dazugehörigen Magneten eingebaut. Sie stehen bereit zum Einbau in HERA während des nächsten Shutdown im Jahre 2000.

PETRA II

Im Zuge der Modernisierung des PETRA II-Vakuumsystems sind im Wesentlichen die Vakuumkontrollen umgebaut, erneuert und den allgemeinen Standards angepasst worden. Außerdem war es erforderlich, die durch Strahlung beschädigte Verkabelung der Ionenzerstäuberpumpen neu zu installieren sowie die dazugehörigen veralteten Hochspannungsgeräte und Vakuummessgeräte für die Überwachung und Sicherheit des Betriebs mit denen des HERA-Typs zu ersetzen. Damit ist nunmehr ein zuverlässiger und störungsfreier Betrieb des PETRA II-Vakuumsystems für die nächsten Jahre gewährleistet.

DORIS III

Durch die einseitige Belastung der DORIS III-Vakuumkammern mit Synchrotronstrahlung entstehen radiale Temperaturgradienten, die zu stromabhängigen

Durchbiegungen der Vakuumkammern und Bewegungen der Magnete führen. Die damit verbundenen Orbitstörungen des Strahles bewirken unerwünschte Bewegungen des vom Strahl ausgesandten Synchrotronlichts in den Experimenten. Zur Vermeidung dieser Nachteile wurden bereits die Vakuumkammern im Bereich des Bypass und der Injektionsstrecke neu konstruiert und erfolgreich ausgetauscht. Eine weitere Stabilisierung des Synchrotronlichtes wird bei einer mechanischen Entkopplung von Magneten und Vakuumkammern in den restlichen Bögen von DORIS III erwartet. Der Entwurf dieser Vakuumkammern ist damit abgeschlossen und mit ihrer Konstruktion wurde begonnen.

LINAC II

Um einen ausreichenden Vorrat an Ersatzkanonen für den LINAC II zu gewährleisten, ist im Jahre 1999 ein Programm zur Reparatur von alten Kanonen sowie zur Herstellung von karborierten Ersatzkathoden gestartet worden. Insgesamt wurden im Laufe des Jahres vier Kanonen repariert und mehrere Kathodenheizer karboriert. Damit ist der Betrieb des Injektors für die nächste Zeit gesichert.

Der Teststand zum Konditionieren der reparierten Elektronen-Kanonen und die Umgebung des Einbauortes der Kanone im LINAC II wurden entsprechend modifiziert, um den Umtausch von Kanonen ohne Belüftung zu erlauben. So wird es in Zukunft möglich sein, die Wiederanlaufzeit des LINAC II nach einem Kanonenwechsel von bisher einer Woche auf einige Stunden zu reduzieren.

Im Zuge der Erneuerung der Beschleunigungsstrukturen des LINAC II sind im Jahre 1999 vier weitere Strukturen gefertigt und getestet worden. Insgesamt wurden bisher zehn neue S-Band-Strukturen bei MVA gefertigt. Für die Modernisierung des LINAC II werden insgesamt – inklusive Reserve – 14 Strukturen benötigt.

TTF-FEL-Projekt

Im Jahr 1999 hat die Vakuum-Gruppe MVA nach Abschluss der Entwicklungsarbeiten für den S-Band-Linac auch mit der Bearbeitung von Aufgaben im Rahmen des TTF-FEL-Projekts begonnen. Nach Abschluss

der Konstruktion eines normalleitenden L-Band Resonators zur Beschleunigung der Elektronen des FEL-Photoinjektors wurden zwei dieser Resonatoren gebaut und erfolgreich getestet. Für das Feedback der Elektronen im FEL wurde die Vakuumkammer eines 30 MHz-Kickers konstruiert und die dazugehörigen Fertigungstechniken entwickelt und erprobt. Die Vakuumkammer des Kickers besteht aus einem Keramikrohr, versehen mit den entsprechenden metallischen Abschlüssen. Das Keramikrohr ist innen beschichtet mit einer dünnen Schicht aus nichtrostendem Stahl, die einerseits das von außen eindringende 30 MHz-Feld des Kickers nur unwesentlich abschwächt und andererseits eine Aufladung der Keramik-Innenfläche vermeidet sowie die Leitung von Spiegelströmen erlaubt. Sowohl die Lötprobleme zur Herstellung der Keramik/Metall-Übergänge, als auch die Beschichtung der Innenoberfläche mit Hilfe einer Glimm- oder Gasentladung wurden entwickelt und erfolgreich in einer Prototypkammer angewandt. Darüber hinaus hat MVA mit zusätzlichen Entwicklungsaufgaben für die Fertigung der supraleitenden Strukturen des TESLA-Projekts begonnen. In diesem Zusammenhang werden Untersuchungen zum Glanzwalzen, Glanzziehen, Elektropolieren von Niob sowie EB-, Kaltpressschweißen und Niob-Plattieren durchgeführt.

Protonen-Vakuum – MVP –

Die Gruppe MVP ist für die Vakuumsysteme des Protonenrings von HERA einschließlich der Isoliervakuumsysteme für die Helium-Transferleitung und die supraleitenden Magnete des Protonenrings von DESY III und die Vakuumsysteme der TESLA Test Facility im Rahmen des Linearbeschleuniger-Projekts verantwortlich. Diese werden von der Gruppe entworfen, gebaut, weiterentwickelt und betrieben. Im Berichtsjahr bereitete der Betrieb dieser Systeme keinerlei Probleme.

Neben den allgemeinen Wartungs- und Reparaturarbeiten konzentrierten sich die Aufgaben der Gruppe vor allem auf die Vorbereitungen für den Umbau des HERA-Vakuumsystems in den beiden Wechselwirkungszonen Nord und Süd im Rahmen der Luminositätserhöhung, auf die Weiterentwicklung und den Ausbau der Vakuumsysteme für die TESLA Test Facility (TTF) sowie auf die Vorbereitungen für den Aufbau von

60 weiteren, fernbedienbaren Vakuum-Pumpständen. Weiterhin ist die Gruppe maßgeblich an der Entwicklung und dem Betrieb des TTF-Kontrollsystems beteiligt.

HERA und DESY III

In der Wartungsperiode 1999 wurden bei HERA im Bereich des HERA-B Experiments die für den endgültigen Aufbau notwendigen Modifikationen am Vakuumsystem des Vertex tanks durchgeführt. Die Elektronik für die Pumpstände des Sekundär-Vakuumsystems, das die Vertexdetektoren enthält, wurde an eine Position mit geringerer Strahlungsbelastung verlegt. Für den in der Wartungsperiode 2000 geplanten Umbau der Wechselwirkungszonen Nord und Süd zur Luminositätssteigerung bei HERA müssen rund 320 m des Protonen-Vakuumsystems modifiziert werden. Hierfür wurde im Berichtszeitraum zunächst das Konzept vervollständigt. Soweit möglich werden existierende Vakuumkammern wiederverwendet bzw. an die neue Geometrie angepasst. Die Konstruktion der neuen Komponenten wurde nahezu abgeschlossen und mit deren Fertigung wurde begonnen.

Für die Vakuumkammern werden verschiedene ellipsoförmige Querschnitte benötigt, die mit Hilfe von entsprechenden Umformwerkzeugen aus runden Rohren in der gruppeneigenen Werkstatt hergestellt wurden. Aufgrund der sehr kompakten Anordnung der Magnete können an vielen Stellen keine Standardlösungen für die Pumpenanordnungen eingesetzt werden. Daher wurden sehr platzsparende und aufwendig zu fertigende Pumpköpfe konstruiert. Die Fertigung der Einzelteile ist nahezu abgeschlossen, die Schweißarbeiten werden gruppenintern durchgeführt.

Die konzeptionelle Auslegung des Isoliervakuumsystems für die neuen supraleitenden Magnete GG und GO, die sich innerhalb der beiden Detektoren H1 und ZEUS befinden, konnte ebenfalls abgeschlossen werden. Das Vakuumkontrollsystem von HERA und das TTF-Kontrollsystem werden von einem Rechnercluster von über 80 UNIX-Systemen betrieben, das im Berichtszeitraum auf eine Jahr-2000-fähige Version umgestellt wurde. Dabei war es für HERA auch notwendig, die Hardware-Anbindung auf einen moderneren Rechner umzurüsten.

Bei DESY III wurden die für die Erneuerung des CERN-Protonenresonators im Shutdown 2000 notwendigen Vakuumkomponenten gefertigt und aufgebaut.

Neue Linearbeschleuniger

Im Rahmen der Entwicklungsarbeiten für den neuen Linearbeschleuniger wurden 1999 große Teile des Vakuumsystems des supraleitenden Linearbeschleunigers der TESLA Test Facility umgebaut. Hierzu gehörten der Einbau diverser Monitore im Injektorbereich, der Aufbau der Kollimator- und Undulatorstrecke sowie der Umbau des Experimentierbereichs einschließlich dem Aufbau der Photonen-Diagnose.

Hierfür wurden zunächst alle neuen Vakuumkomponenten im Reinraum mit ähnlichen Prozeduren wie die supraleitenden Kavitäten gereinigt, um Staub und andere Partikel zu entfernen. Monitore wurden ebenfalls unter Reinraumbedingungen zusammengebaut. Die Installation der Vakuumkammern in den Beschleuniger erfolgte mit kleinen mobilen Reinräumen. Beim Betrieb des TTF-Beschleunigers bereitete das Vakuumsystem keinerlei Probleme.

Weiterhin wurden die Vakuumsysteme für den zweiten Vertikalkryostaten sowie für zwei weitere Einsätze in der Preparation der Kavitäten angefertigt, aufgebaut und in Betrieb genommen. Die Teststrahlführung für die FEL-HF-Elektronenkanone wurde im Beschleunigertunnel so versetzt, dass ein Betrieb dieser Kanone parallel zu Umbauarbeiten am Beschleuniger gefahrlos möglich ist. Die Planungen für den Bau von 60 weiteren, fernbedienbaren Pumpständen wurden durchgeführt und mit dem Bau der elektronischen Komponenten wurde begonnen.

Für das TTF-Kontrollsystem wurden im Berichtszeitraum neue Analog-Digital-Wandler (ADC) in Zusammenarbeit mit DESY Zeuthen entwickelt und installiert. Diese neuen VME-Karten erlauben es, Messwerte mit 10 MHz bei 14 bit Auflösung umzusetzen.

Zur Automatisierung der Abläufe in TTF wurde ein Softwaresystem entwickelt, das ein grafisches Design von Zustandsmaschinen erlaubt. Aus den damit erzeugten Diagrammen werden durch Knopfdruck lauffähige C++ Programme erzeugt. Erste Testserver konnten mit

dieser neuen Software erzeugt und in TTF getestet werden.

Aufgrund der vielen neu eingebauten bzw. umgebauten Komponenten, besonders im Bereich des Undulators und des Kollimators, war es notwendig, viele Parameter neu zu konfigurieren. Weiterhin mussten aber auch neue Geräte-Server für das Kontrollsystem geschrieben werden, und es konnten durch die Einbindung des TINE-Protokolls von HERA einige neue Strahlmonitore integriert werden. Darüber hinaus wurde das komplette TTF-Timingsystem, das für einen synchronen Ablauf der Hochfrequenz, der Strahlerzeugung und der Datennahme sorgt, auf 9 MHz umgestellt.

Neben der Weiterentwicklung der Hard- und Software des Beam-Interlock-Systems des TTF-Beschleunigers wurden auch Komponenten zum Schutz des Undulators vor Strahlverlusten („Very Fast Protection System“) sowie eine Elektronik zum Schutz der Detektoren in der Photonen-Diagnose entwickelt, aufgebaut und in Betrieb genommen.

Kryogenik und Supraleitung – MKS –

HERA Kältebetrieb

Das HERA-Kältesystem zur Versorgung der supraleitenden Protonenring-Magnete, der Experimente und der supraleitenden Kavitäten mit Helium lief durchgängig. Um die supraleitenden Magnete bei der erhöhten Protonen-Energie von 920 GeV mit gleicher Quenchsicherheit zu betreiben, wurde der Protonen-Ring bei einer abgesenkten Temperatur von 4.0 K betrieben. Die Verfügbarkeit der geforderten Kälteleistung betrug in diesem Jahr 99.16%, gemittelt über eine Betriebszeit von 52 Wochen. Dabei trug die Kälteanlage selbst im Mittel nur mit 0.01% Ausfallzeit bei (1.4 Minuten/Woche, 1 Ausfall), das Verteilungssystem mit 0.05% (5.4 Minuten/Woche, 3 Ausfälle), 9 HERA-Quenche mit 0.17% (17.4 Minuten/Woche), die Stromversorgung mit 0.29% (29.4 Minuten/Woche, 7 Ausfälle) und die Kryokontrollen mit 0.35% (34.8 Minuten/Woche, 5 Ausfälle).

Neben dem Kältebetrieb der Ringmagnete wurden die supraleitenden Kavitäten des Elektronenringes, das

HERMES-Experiment und die Magnete der Experimente H1 und ZEUS bei 4.4 K gekühlt. Zusätzlich wurden für HASYLAB und den Laborbetrieb insgesamt 35 m³ Flüssig-Helium in Kannen abgegeben.

Im Bereich der Anlagenwartung und -erhaltung wurden in Abstimmung mit dem Heliumkompressoren-Hersteller hochpräzise Positionsmonitore (Abb. 87) zur Messung und Überwachung der Gleitlager installiert und in Betrieb genommen.

Für die kryogenische Versorgung der im Rahmen des Luminositätserhöhungs-Programms von HERA neu zu installierenden supraleitenden Quadrupole GO und GG im Bereich der Wechselwirkungszonen von H1 und ZEUS wurden die benötigten Vorkühlerboxen und Transferleitungen spezifiziert und ausgeschrieben bzw. bestellt. Darüber hinaus wurden Vorbereitungen getroffen, die insgesamt sechs von BNL (USA) gebauten supraleitenden Magnete GO und GG nach ihrer Ankunft bei DESY und vor ihrem Einbau in HERA in der Magnetstalle kalt zu testen. Dazu wurden kryogenische Komponenten von MKS konstruiert und gebaut, so dass die vorhandenen HERA-Magneteststände mit nur geringen Änderungen für die Kälteversorgung der neuen Magnete benutzt werden können.

Die in Gebäude 47a vorhandene 300 Watt Kälteanlage (CTA), die seinerzeit zum Test der supraleitenden HERA Beschleunigungsstrecken benutzt wurde, ist mit einem neuen Kontrollsystem ausgestattet und als Helium-Verflüssiger für Kannenabfüllungen wieder in Betrieb genommen worden.

HERA Kältekontrollen

Für die bereits im letzten Jahr vorbereitete Umstellung des Kontrollsystems der HERA-Kälteanlage wurden die nächsten Schritte vollzogen:

- Zeitanpassung beim bestehenden Kontrollsystem: In der Wartungsperiode im Mai wurde das alte Kontrollsystem (D/3) vom DESY Computernetz getrennt. Um einen begrenzten Datenaustausch zu gewährleisten, wurde eine „Ethernet Bridge“ eingebaut. Diese filtert alle Pakete, welche Zeitinformationen enthalten können, heraus. So vorbereitet wurden die Rechner in diesem abgetrennten Netz in eine

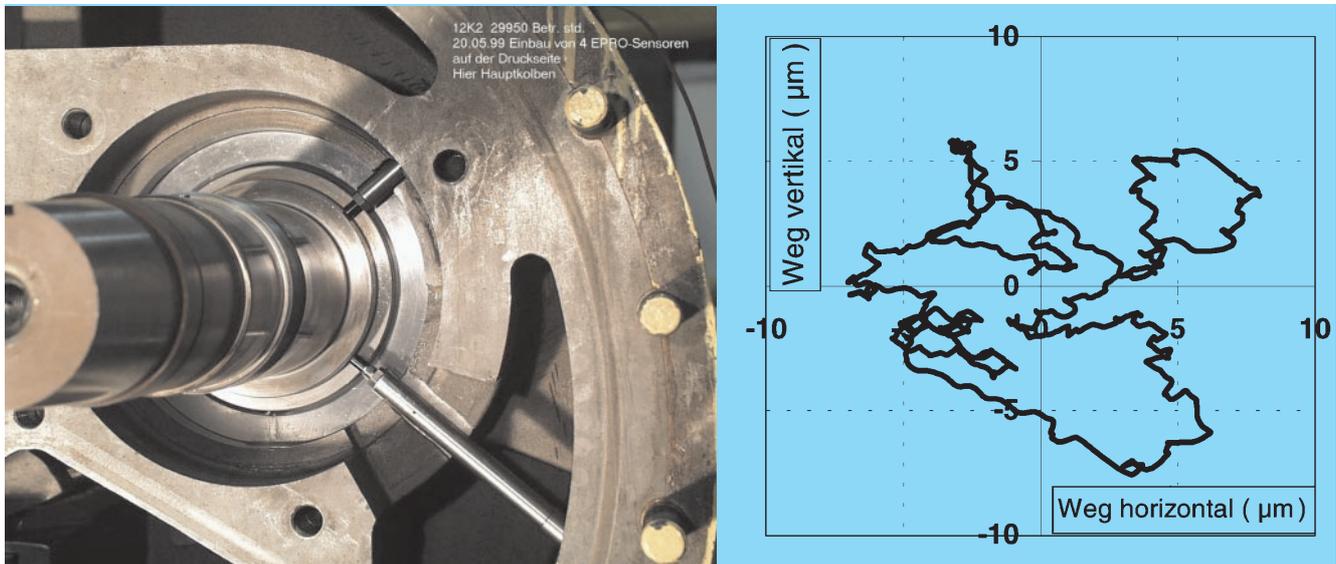


Abbildung 87: Links: Anordnung der Positionsmonitore am Hauptkolben des Verdichters Typ VMY 536. Rechts: Orbit des Hauptkolbens (eine Umdrehung) relativ zum Mittelwert des Orbits.

um vier Jahre zurückliegende Zeit versetzt. Diese Lösung erlaubt den Betrieb der Rechner bis in das Jahr 2000 hinein, obwohl die dort installierte Software nicht für das Jahr 2000 geeignet ist. Diese Rechner sollen im Sommer 2000 durch das neue Kontrollsystem ersetzt werden.

- Neues Kontrollsystem für die Kälteanlagen: Nach einer intensiven Vorbereitung im vorangegangenen Jahr wurde im März das neue Kontrollsystem ausgeschrieben. Die Firma ORSI mit ihrem Produkt „Cube“ hat als günstigster Bieter den Zuschlag erhalten. „Cube“ kann sowohl als DCS-System („Distributed Control System“) als auch als SCADA-System („Supervisory Control and Data Acquisition“) eingesetzt werden. Das System wird in der Kryogenik bei HERA, der Magnetesthalle, CTA und TTF Anwendung finden. Im Vordergrund stehen bei der Umstellung die hohe Betriebszuverlässigkeit der jeweiligen Anlage, die Funktionalität innerhalb der einzelnen Applikationen und die Integrationsmöglichkeiten in andere DESY-Kontrollsysteme. Der Auftrag an ORSI umfasst neben der System-Software und -Hardware auch die Umstellung der vorhandenen Software (Kontrollen, Ablaufsteuerungen, Batch, Graphiken, Alarmierung, Trends) der genannten Anlagen und Bereiche. Nur so kann

das ehrgeizige Ziel erreicht werden, die Umstellung in der Wartungsperiode im Sommer 2000 durchzuführen. Um frühzeitig mit den Tests des neuen Systems beginnen zu können, ist eine Teillieferung (Magnetesthalle) für Dezember 1999 vorgesehen.

- Umstellung auf neue Rechnerplattformen: Im Zusammenhang mit der Umstellung von dem bestehenden D/3 Kontrollsystem auf das neue System (Cube) werden auch die VMS-Workstations durch neue Systeme ersetzt. Für den Office-Bereich werden zunehmend NT-Workstations eingesetzt, welche auch für das neue Kontrollsystem benötigt werden. Über X-Emulationen kann auch auf UNIX-Applikationen zugegriffen werden. Die VMS-Applikationen (wie zum Beispiel die Archivierung) werden auf das UNIX-Cluster portiert, um eine ausfallsichere Archivierung von Prozessdaten auch in Zukunft gewährleisten zu können. Mehrere Gigabyte Daten wurden von VMS nach UNIX konvertiert.
- Umstellung auf das Jahr 2000: Um den Betrieb der Rechner auch im Jahr 2000 zu gewährleisten, wurde bei einer Vielzahl von Rechnern neue Software installiert. Die Umstellung umfasst von Netzwerkkomponenten über Frontend-Rechner bis zu den UNIX- und VMS-Clustern insgesamt etwa 50 Systeme.

Magnetmessungen

Bei den supraleitenden Referenzmagneten von HERA wurden detaillierte Magnetfeldmessungen durchgeführt mit dem Ziel, das Signal-zu-Rausch Verhältnis bei den dort eingesetzten NMR-Proben zu optimieren. Weiterhin wurde die Jahr-2000-Sicherheit der Messgeräte und der Computer überprüft bzw. hergestellt.

Für den für Mai 2000 geplanten Umbau der Wechselwirkungszonen von HERA im Rahmen der Luminositätserhöhung werden etwa 50 normalleitende Quadrupolmagnete und sechs supraleitende Magnete be-

nötigt. Der Bau der supraleitenden Magnete bei BNL (USA) wurde von DESY aus betreut. Für ihre Messungen wurden Vorbereitungen getroffen. Die ersten von etwa 50 normalleitenden Quadrupolen für die Luminositätserhöhung bei HERA wurden magnetisch vermessen. Dafür wurde ein neuer Messstand mit neuer Elektronik aufgebaut. Mit einer Drehschleife können die Multipole der Magnete vermessen werden. Außerdem kann ein gespannter Draht mittels präziser Verfahrtschleife horizontal und vertikal verfahren werden. Dabei wird die induzierte Spannung aufgezeichnet, aus deren Verlauf man die magnetische Mitte, den Verdrehwinkel und den integralen Gradienten von Quadrupolmagneten bestimmen kann.



Abbildung 88: Modul 3 zur Vorbereitung des integralen Lecktests.

Beschleunigerentwicklung (TESLA und TTF)

Im Laufe des Jahres wurde das dritte Kryo-Modul (Abb. 88) für den Einbau in den Testbeschleuniger fertig gestellt und gegen das erste Modul ausgetauscht. Von den im ersten Modul befindlichen Kavitäten waren fünf durch einen Fertigungsfehler auf Beschleunigungswerte von 12–13 MV/m begrenzt. Drei der acht Kavitäten wurden mit neuen Flanschen ausgerüstet und zusammen mit den aus der ersten Resonator-Produktion stammenden Kavitäten neu behandelt. Sie zeigten maximale Beschleunigungsfelder zwischen 25.5 und 28 MV/m und werden für den Einsatz in Modul 1 vorbereitet. Das dritte Modul, dessen Resonatoren mit der neuen Flansch-Technologie und auf Fehlstellen untersuchtem Material ausgestattet sind, erzeugt im Strahlbetrieb eine mittlere Spannung von 23 MV/m.

Nach etwa fünfjährigem Dauerbetrieb wurde Ende 1998 die Chemie- und Präparationsanlage einer Generalüberholung unterzogen. Ab Februar 1999 zeigte sich eine Verbesserung der Einsatzfeldstärke der Feldemission und hiermit verbundene höhere maximale Beschleunigungsfelder. Seit Beginn des Jahres 1999 wurden 99 chemische Behandlungen durchgeführt. 48 Kavitäten wurden für vertikale Tests präpariert und montiert. Im Mittel erreichten diese Kavitäten Beschleunigungsfelder von 24.2 MV/m. Die Einsatzschwelle für Feldemission lag im Mittel bei 20 V/m (Abb. 89).

Seit Anfang des Berichtsjahres befindet sich eine Qualitätssicherung im Aufbau. Sie beruht auf der Filtration

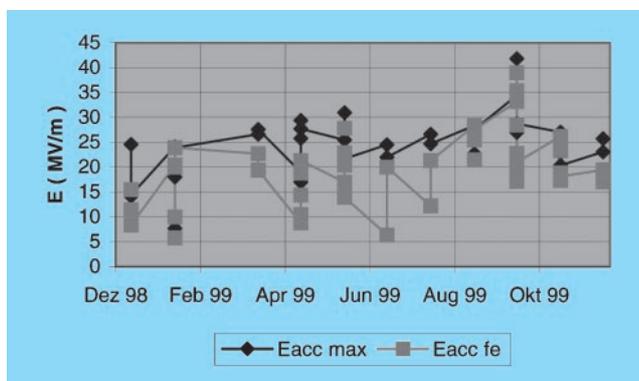


Abbildung 89: Entwicklung der Feldgradienten in den TESLA-Resonatoren im Jahr 1999: Maximales Beschleunigungsfeld und Einsetzen der Feldemission.

des Ablaufwassers der Hochdruckspüle, der Entnahme von Feldemissionsproben zur Überwachung von Partikelkontamination im Prozess und der Neuentwicklung eines Online-Verfahrens zur Bestimmung der Säurequalität über Spektralanalyse.

Die im Reinraum verwendete Hochdruckspüle muss auf eine neue Prozess-Software umgestellt werden. Hier wurde ein neues Konzept entwickelt. Basierend auf einer SPS Steuerung wird die Prozess-Visualisierung jetzt mit Visual Basic realisiert. Um dieses auch entsprechend testen zu können, wurde ein Simulationssystem erstellt, mit dem alle Betriebszustände realitätsnah nachempfunden werden konnten. Die ursprünglich von CERN gelieferte Kontroll-Hardware und -Software wird bei nächster Gelegenheit ausgetauscht.

Die Helium-Kälteversorgung des TTF-Linearbeschleunigers (mit zwei TTF-Kryomodulen) und des TTF-Kältelabors wurde gewährleistet. Dabei wurde der Kältebetrieb des TTF-Linearbeschleunigers in zwei Betriebsperioden für insgesamt 7 1/2 Monate durchgehend aufrechterhalten.

Für die erweiterte Helium-Kälteversorgung des TTF/FEL-Linearbeschleunigers mit einem Anschluss an die HERA-Helium-Kälteanlage wurden eine HERA-FEL-Transferleitung und eine FEL-Vorkühler- und Verteilerbox bei Industriefirmen gefertigt, installiert und mit einem Probelauf erfolgreich getestet. Die zur Anbindung an die HERA-Kälteanlage benötigte Warmgasverrohrung wurde ebenfalls von Fremdfirmen bis zu den Übergabepunkten an der bestehenden TTF-Helium-Kälteanlage fertiggestellt.

Die Verlängerung der bestehenden TTF-Transferleitung zur FEL-Vorkühler- und Verteilerbox wurde spezifiziert und in Auftrag gegeben. Weiterhin wurde der Auftrag zum Bau eines zweiten Helium-Kompressorsystems erteilt, das zur Entkopplung der Kälteversorgung des TTF-Linearbeschleunigers und des TTF-Kältelabors und zur Kapazitätserweiterung benötigt wird.

Für den weiteren Ausbau des TTF/FEL-Linearbeschleunigers werden spezielle kryogenische Komponenten benötigt, die unter anderem den Übergang zu einem überarbeiteten Kryomodul-Design ermöglichen. Zu diesen Komponenten gehören eine 24 m lange Bunchkompressor-Bypass-Transferleitung

mit neun Prozessrohren, eine Neuauslegung der Modul-Verbindungsstücke und eine dem neuen Moduldesign angepasste Endbox. Für diese Komponenten wurden Konstruktionsentwürfe erarbeitet.

Ein Entwurf für die Anbindung des beim Forschungszentrum Karlsruhe in Fertigung befindlichen supraleitenden Energiespeichers (SMES) an das erweiterte Helium-Verteilungssystem wurde fertiggestellt. In Zusammenarbeit mit dem National High Magnetic Field Laboratory der Florida State University wurde ein in den TTF-Linearbeschleuniger integriertes Experiment zur Messung des zweiphasigen Heliums betreut.

Der Aufbau eines zusätzlichen Teststandes für ein- und mehrzellige Cavities unter Verwendung der 300 W-Anlage wurde in Angriff genommen. In Vorbereitung des „Technical Design Report“ für den TESLA-Linearbeschleuniger wurden Prozessberechnungen durchgeführt, die unter anderem den zweiphasigen Heliumfluss und Ausnahmestände während des kryogenischen Betriebs untersuchen. Ein erstes Konzept für den Aufbau einer Testanlage für TESLA-Kryomodule wurde entworfen. Die Arbeiten an Konzepten für die Kryoversorgung von TESLA wurden fortgesetzt.

Zur Analyse der an den supraleitenden Kavitäten für TTF gemessenen Daten wird die chronologische Abfolge der Arbeiten und die Verfügbarkeit der wichtigsten Anlagen zur Präparation und zum Test der Resonatoren in einer Datenbank festgehalten. Zusätzlich werden die wichtigsten Daten der visuellen und mechanischen Eingangskontrolle der Kavitäten, die Prozedur und Ergebnisse ihrer chemischen Behandlungen und Messungen bei Zimmertemperatur und 2 K in dieser Datenbank gespeichert. Es musste eine Vielzahl von SQL-Prozeduren entwickelt werden, um die anfallende Datenmenge zu filtern und für die Datenbank aufzubereiten. Um den Zugriff auf diese Daten zu erleichtern, wurde ein umfangreiches graphisches Benutzer-Interface zur Datenbank erstellt, das die wichtigsten Ergebnisse in Form von Tabellen und Graphen zur Verfügung stellt. Das Benutzer-Interface wurde mit dem ORACLE Developer Server ins WEB migriert, so dass die Datenbank dynamisch ins Internet eingebunden ist.

DORIS III

Im Rahmen der Jahr-2000-Umstellung wurde das Magnetinterlock von DORIS III überarbeitet. Dabei wurden das Betriebssystem der PCs auf WindowsNT umgestellt, die Hardware der Vernetzung ausgetauscht und umfangreiche Änderungen an der Visualisierungssoftware durchgeführt.

Energieversorgung – MKK –

Die Gruppe MKK betreibt die Energieversorgung bei DESY. Die Stromversorgung beginnt bei den drei 110kV/10kV-Großtransformatoren, die die 10kV-Schaltstationen für die Energieverteilung speisen, die bis zu den Niederspannungsanlagen für die Gebäude geht. 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.

Einige wesentliche Aktivitäten der Gruppe sollen im Folgenden dargestellt werden:

Stromversorgung

Die 10 kV-Station und die Niederspannungsanlagen des neuen Laborgebäudes 3 mussten instandgesetzt werden, nachdem DESY das Gebäude von der Biologischen Anstalt Helgoland übernommen hatte. Die Mittelspannungsanlagen wurden überholt, um die Betriebssicherheit zu erhöhen. Die Schaltanlagen für die DORIS-Wasserkühlung wurden neu projektiert und als Vorhaben angemeldet sowie ausgeschrieben. Die elektrische Versorgung für die Erweiterung der Halle III wurde projektiert und beschafft. Die Erweiterungen für die zusätzlichen Klystron-Modulatoren sind in Planung. Nach der Öffnung des Strommarktes hat DESY mit den anderen Mitgliedern der Helmholtz-Gemeinschaft die Belieferung von Strom europaweit ausgeschrieben.

Magnetstromversorgung

Das neue Netzgerät für den HERA-Protonenring lief zuverlässig, nachdem die Auslöseschwellen hochgesetzt

wurden und das Steuerprogramm überarbeitet wurde. Die für die Luminositätserhöhung neu benötigten Netzgeräte wurden geplant und ausgeschrieben. Die Choppernetzgeräte wurden hierfür weiter entwickelt. Die Regel-Elektronik wurde überarbeitet und für die Ansteuerung von IGBT-Transistoren angepasst. Die neuen Choppernetzgeräte sind deutlich einfacher und wartungsfreundlicher aufgebaut. Sie wurden erfolgreich getestet.

Es wurde ein 800 A-Polwender neu konstruiert. Die Steuerung erfolgt mit einem programmierbaren Steuerbaustein und die Polwendung wird mit zwei magnetisch verlinkten Schützen gemacht. Die Vorteile sind kurze Umpolzeiten und ein flexiblerer und kompakterer Aufbau.

Die Netzgeräte aller Beschleuniger wurden in eine ORACLE-Datenbank aufgenommen. Die Datenbank umfasst die gesamte Versorgung von der Hochspannungseinspeisung über die Schaltanlagen, Netzgeräte und Kabel bis zu den Magneten und deren Standorten. Das neu eingeführte elektronische MKK-Logbuch im BKR hat Zugriff auf diese Datenbank. Damit können Störungen direkt und zentral den Anlagen zugeordnet werden.

Senderstromversorgung

Die beiden neuen Feedback-Senderstromversorgungen für DORIS III und HERA wurden in Betrieb genommen. Damit sind alle Senderstromversorgungen jetzt PCB-frei.

Die RC-Filterkondensatoren für den Wellenwiderstandsabschluss der Hochspannungs-Gleichstromkabel wurden neu konstruiert, so dass über den Durchführungen nur noch die halbe Spannung ansteht. Das Kondensatorgehäuse wurde mit Potentialsteuerringen ausgestattet, um die Koronaeffekte weiter zu unterdrücken. An der bisherigen Konstruktion traten deutlich sichtbare Spuren von Sprühentladungen an den Isolierstrecken auf.

Ladegeräte für Klystronmodulatoren

Die Ladegeräte für die Speicherkondensatoren verursachen durch den langsamen Pulsbetrieb Rückwirkungen

auf das Stromversorgungsnetz, die sich auch bei dem HERA-Dipolnetzgerät bemerkbar machten, weil die Synchronisierspannungen für die Dipolnetzgeräte beeinflusst wurden. Die Störungen des Dipolstroms lagen im ppm-Bereich.

Zur Lösung des Problems werden zwei Wege verfolgt:

- Entwicklung eines Schaltnetztes, das konstante Leistung aus dem Versorgungsnetz entnimmt,
- Einsatz eines thyristorgesteuerten Netzgerätes in Verbindung mit einer digitalen Regelung.

Die erste Lösung ist wesentlich teurer als die zweite. Um die Lösungen vergleichen zu können, wurde ein Prototyp in Auftrag gegeben und parallel dazu wird eine digitale Regelung für die vorhandenen thyristorgesteuerten Ladegeräte entwickelt. Als weitere Option ist eine Kombination der beiden Lösungen möglich.

Überwachung und Kontrollen

Der MKK-Alarmhandler wurde weiter ausgebaut. Für die einzelnen Nutzergruppen wurden dedizierte Alarmhandler eingerichtet. Die Vernetzung der Klimaanlage wurde stark ausgebaut. Die Neuanlagen werden grundsätzlich an die Kontrollen angeschlossen und in den Alarmhandler integriert. Die PCs wurden alle auf WindowsNT umgestellt. Die Daten des CAD-Programms T2000 wurden auf AutoCAD übertragen, da T2000 ab dem Jahr 2000 nicht mehr unterstützt werden soll.

Wasserkühlung, Heizungs- und Klimaanlage

Die Erneuerung der DORIS III-Wasserkühlung wurde als Vorhaben angemeldet. Die Planungen sind abgeschlossen und die Beschaffung läuft. Die Instandsetzung soll im Shutdown 2000 erfolgen. Die Erweiterung der Wasserkühlung für die zweite Stufe des Testlinacs TTF-FEL wurde projektiert und beschafft.

Die Verhandlungen mit den HEW über eine Fernwärmeversorgung von DESY wurden erfolgreich abgeschlossen. Im Herbst wurde der Fernwärmeanschluss

zwischen der Notkestrasse und dem Kesselhaus hergestellt. Gleichzeitig wurde die marode Heizungsleitung zum Laborgebäude 3 erneuert.

Die Kaltwassererzeugung für die Klimaanlage des Rechenzentrums wurde erneuert und auf ein umweltfreundliches Kältemittel umgestellt. Die Vernetzung und die Ausrüstung der Klimaanlage mit der Leittechnik wurden stark ausgebaut. Die Anlagen wurden in den Alarmhandler aufgenommen.

Die Klimaanlage für die Expo-Halle wurde projektiert und ausgeschrieben.

Kollaborationen

Vom Physikinstitut in Yerevan (YerPhI) wurden fünf Stromversorgungen gebaut und geliefert. Sie sind für die Luminositätserhöhung von HERA vorgesehen. Die Geräte werden zur Zeit in Betrieb genommen.

Das Institut für Hochspannungstechnik an der TU Darmstadt entwickelt einen streufeldfreien Rohrleiter für die Stromversorgung des TESLA-Tunnels. Die Konstruktion und die Berechnungen wurden durchgeführt und ein Prototyp ist im Aufbau.

Beschleunigerplanung – MPL –

Die Gruppe MPL ist zuständig für die Planung und Aufstellung von Beschleunigerstrukturen in Tunneln und Experimentierhallen und die Koordination von Beschleunigeraufstellungen. Zudem arbeitet die Gruppe an der Entwicklung nahtloser supraleitender Resonatoren aus Niob.

Für die geplante HERA-Luminositätserhöhung wurden die Entwürfe der Magnetträger im Bereich der Experimente H1 und ZEUS auf thermische Formstabilität im Betrieb untersucht und samt Stellelementen fertig konstruiert. Für vier weitere Magnettypen wurden Unterbauten konstruiert. Die Zeichnungen und Koordinatenlisten der Magnetstruktur wurden entsprechend den zwischenzeitlich erfolgten Optikänderungen aktualisiert.

Für DORIS III wurden für drei Quadrupoltypen Unterbauten konstruiert. Für TTF wurden neue Unterbauten für das Kryomodul in der Halle III und im Tunnel entworfen.

Entwicklung von nahtlosen supraleitenden Niob-Resonatoren

Aus durch Drücken aus Blech erzeugten Niob 100-Rohren wurden bei DESY zwei TESLA-Monozellen, 1K2 und 1K3, durch Innenhochdruckumformung (IHU) gefertigt. 1K2 wurde bereits bei DESY und dem Jefferson Laboratory (Newport News, USA) behandelt und getestet und erreichte etwa 27 MV/m bei relativ hoher Güte von 2.5×10^{10} . Eine weitere Monozelle wurde aus tiefgezogenem Niob 270-Rohr der Firma W. Butting ebenfalls durch IHU gefertigt und erreichte 22.3 MV/m bei der Güte von 1×10^{10} .

Auf der apparativen Seite wurde eine neue 1300 bar IHU-Matrize für TESLA-Monozellen gebaut und in Betrieb genommen, mit der auch der sehr steife Iris-Bereich kalibriert werden kann. Eine mit zwölf Führungsleisten ausgestattete neuartige IHU-Matrize wurde konstruiert und befindet sich im Bau. Sie soll die besonders bei dünnwandigen Rohren beobachteten Form-Anomalien sowie das dadurch bedingte Platzen des Werkstücks während der Umformung verhindern.

Die Rechnersteuerung des Umformvorgangs wurde verfeinert, um unter anderem die neuartige IHU mit gepulstem Druck optimal und vollautomatisch anwenden zu können.

Zwei neue Varianten der Rohrherstellung wurden in Angriff genommen. Die erste ist, ein dickwandiges Kupfer-Rohr mit Niob 300 innen zu sprengplattieren und dann auf etwa 4 mm Gesamtdicke durch Drückwalzen abzustrecken. Die zweite Variante beinhaltet, aus gemahlenem Niob-Pulver mit relativ hohem Gasgehalt ein Rohr unter Gasverlust zu sintern und dann durch Abstrecken weiter zu verdichten.

Ziel beider Varianten ist es, den Rohrpreis zu senken und die IHU-Tauglichkeit zu verbessern durch dominierenden Einfluss des problemlos umformbaren Kupfers bzw. des feinen untexturierten Korns beim Sinterrohr. Von beiden Werkstoffen liegen bereits Proben vor und werden untersucht.

Weitere Untersuchungen an Resonatoren

Es wurde der Frage nachgegangen, wie der jetzige TESLA-Resonator für einen Hochfrequenzspannungsgradienten von 40 MV/m tauglich zu machen ist. Die Optimierung mittels Rechnersimulation ergab, dass ein Resonator mit nur 2 mm Wandstärke am Äquator mittels einer es umspannenden, demontierbaren und helium-transparenten 6 mm dicken Titanschale so versteift wird, dass auch bei 40 MV/m die Lorentzkraft-Verstimmung auf akzeptable 200 Hz begrenzt bleibt. Die Minderung der Titan-Kosten relativ zum gegenwärtigen TESLA-Resonator kann etwa die Kosten der Schale decken, so dass der Gesamtpreis unverändert bleibt.

Dem Ziel, mit TESLA bei unveränderter Länge die Endenergie von 800 GeV zu erreichen, dient neben der schon erwähnten Feldstärke-Erhöhung im Resonator auch eine Erhöhung des Füllfaktors der Beschleunigungsstrecken.

Zu diesem Zweck wurde ein neues Feinabstimmerkonzept vorgestellt, wobei der Feinabstimmer in den Helium-Tank integriert wird und so keine Beschleunigerlänge verbraucht, und zu einer Konstruktion geführt. Versuche damit sind im Jahr 2000 vorgesehen. Der Füllfaktor im Resonatormodul erhöht sich dadurch bei der jetzigen TESLA-Struktur von 0.75 auf 0.81.

Die „Superstruktur“ hat einen solchen Feinabstimmer als notwendige Voraussetzung. Für den jetzigen Feinabstimmer am Ende des Resonators wäre bei nur einer halben Hochfrequenzwellenlänge zwischen Resonatoren kein Platz.

Verschiedene Werkstoffe wurden bezüglich ihrer Eignung als Flanschmaterial erprobt. NbZr1 erscheint optimal und wird zum Beispiel an 1K2-Flanschen erprobt. Es ist für Resonatoren trotz guter Umformbarkeit nicht geeignet, weil das Restwiderstandsverhältnis mit 13 zu klein ist.

Werkstoffuntersuchungen

Das Metallographielabor wurde an anderem Ort mit dem Chemielabor zusammengelegt. Eine Vorrichtung zur Messung der Wärmeleitfähigkeit bei Flüssig-Helium-Temperatur ist im Aufbau.

Mit Partnern an anderen Instituten und in der Industrie sind die Möglichkeiten für die Defektsuche in Niob-Halbzeugen fortgeführt und weiter ausgebaut worden, wie zum Beispiel mittels SQUID-Gradiometer bei der Firma FIT.

Es wurden in Zusammenarbeit mit den DESY Gruppen ZMS, MHF-sl und MVA sowie Firmen und anderen Instituten Werkstoffuntersuchungen an Bedampfungs-, Sputter- und Schweiß-, Sinter- und Sprengplattierungsproben durchgeführt – auch für andere Projekte als TESLA.

Gefüge- und andere Werkstoffuntersuchungen wurden an bei verschiedenen Temperaturen geglühten Niob-Proben durchgeführt, auch in Abhängigkeit vom Umformgrad vor der Glühung.

Die Fertigung samt Glühbehandlung der für die TTF- und IHU-Projekte erforderlichen Niob-Halbzeuge wurden betreut und deren Erprobung bei DESY durchgeführt bzw. verantwortlich betreut.

Strahlenschutz

Die Hauptaufgabe der Strahlenschutzgruppe ist die Umsetzung von Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) und Röntgenverordnung (RöV) zur Sicherheit der Mitarbeiter. Dazu sind eine Reihe von Maßnahmen (unter anderem Abschirmung der Beschleuniger, Interlocksysteme, Kontrolle radioaktiver Stoffe) getroffen worden, die von der Strahlenschutzgruppe angeordnet und regelmäßig überprüft werden. Es werden Personen- und Ortsdosen gemessen, um die Wirksamkeit dieser Maßnahmen zu überwachen. Die Messwerte dürfen die in den Verordnungen festgelegten Grenzwerte nicht überschreiten, sie müssen außerdem, den jeweiligen Umständen entsprechend, so niedrig wie möglich gehalten werden. Die Strahlenschutzgruppe kontrolliert deshalb die Tätigkeiten in den verschiedenen Arbeitsgruppen und in den bei DESY tätigen Kollaborationen hinsichtlich der Strahlenschutzvorschriften. Sie wirkt ferner darauf hin, dass jeder Mitarbeiter seine eigene Verantwortung beim Umgang mit ionisierender Strahlung erkennt und akzeptiert.

Ortsdosimetrie

Auf dem gesamten DESY-Gelände (das sind Kontroll- und Überwachungsbereiche, Bereiche, die keine Strahlenschutzbereiche sind sowie Geländegrenzen) werden Ortsdosen gemessen, die von Photonen oder Neutronen herrühren können. Dazu werden zwei Messsysteme mit verschiedenen Eigenschaften verwendet. Das eine System besteht aus Festkörperdosimetern, die an sehr vielen Messpunkten angebracht sind, und die die Dosis in einem Zeitraum von einem Monat aufsummieren. Die Dosimeter werden im Labor der Strahlenschutzgruppe ausgewertet. Dieses System ist zur Überwachung des Geländes geeignet. Resultate erhält man erst nach Ablauf der Messperiode. Um eine sofortige Eingriffsmöglichkeit im Falle zu hoher Dosisleistungen zu haben,

existiert ein zweites System, bestehend aus aktiven Detektoren, das in der Lage ist, bei Überschreitung eines bestimmten Wertes der Dosisleistung in den Beschleunigerbetrieb einzugreifen. Diese Detektoren sind vorwiegend an Stellen positioniert, an denen eine erhöhte Dosisleistung möglich erscheint. Das Gelände wird derzeit an 224 Stellen mit integrierenden Dosimetern und an 85 Positionen mit aktiven Geräten überwacht. Alle Messwerte werden für das jeweils zurückliegende Jahr in einem Internen Bericht veröffentlicht. Gegenüber den Werten von 1998 haben sich die gemessenen Ortsdosen im Berichtszeitraum nur unwesentlich verändert. Sie sind nach wie vor sehr niedrig; Kontrollbereiche mussten nur an wenigen Stellen ausgewiesen werden.

Personendosimetrie

Die Messung der Personendosen erfolgt für Photonen seit 1999 mit Festkörperdosimetern. Diese Methode zeichnet sich gegenüber der bisherigen, die auf der Schwärzung von Filmen beruhte, durch höhere Zuverlässigkeit und Genauigkeit aus. Ihre Einführung durch die amtliche Messstelle der Behörde für Arbeit, Gesundheit und Soziales bedeutete für die Strahlenschutzgruppe eine grundlegende Umstrukturierung ihrer Datenorganisation. Personendosen, die von Neutronen herrühren, werden nach wie vor mit Kernspurfilmen registriert, die am CERN ausgewertet werden. Beide Dosimeter werden von den DESY-Mitarbeitern zwei Monate lang getragen. Derzeit werden regelmäßig 921 Personen überwacht. Dazu kommen noch etwa 430 Gäste, die nur kurzzeitig bei DESY arbeiten.

Insgesamt werden in zwei Monaten etwa 1100 Dosimeter verteilt und deren Auswerte-Ergebnisse in einer Datenbank archiviert. Im Zeitraum November 1998 bis Oktober 1999 betrug die höchste Personendosis 0.5 mSv pro zwei Monate. Insgesamt wurden auf 25 Dosimetern (von etwa 6400) Dosen registriert, die über

der amtlichen Schwelle von 0.2 mSv lagen. Die maximal zugelassene Dosis für beruflich strahlenexponierte Personen beträgt 50 mSv pro Arbeitsjahr. Damit liegen auch die Personendosen bei DESY weit unterhalb der zugelassenen Grenzen.

Arbeiten für den Linearcollider TESLA

Zur Beurteilung der Umweltverträglichkeit des Linearcollider-Projekts wurde in den Jahren 1997 und 1998 von der Strahlenschutzgruppe eine Reihe von Studien angefertigt, die das Ziel hatten, mit den bis dahin vorliegenden Daten den radiologischen Einfluss auf die Umwelt abzuschätzen. Es konnte gezeigt werden, dass das Projekt vom Standpunkt des Strahlenschutzes aus realisierbar ist und dass es Möglichkeiten gibt, Streustrahlung und radioaktive Emissionen so klein zu halten, dass alle gesetzlichen Grenzwerte weit unterschritten werden.

Zur Verwendung dieser Daten bei einer behördlichen Prüfung wurden zwei Gutachten in Auftrag gegeben mit dem Ziel, die Arbeiten unabhängig von ihren Autoren zu bewerten. Die beiden Gutachter waren der Technische Überwachungsverein Nord (TÜV) in Hamburg und das Öko-Institut in Darmstadt. Die beiden Gutachten wurden Anfang 1999 fertiggestellt. Beide kommen unabhängig voneinander zu dem Schluss, dass dem Projekt keine radiologischen Probleme entgegen stehen.

Die geplanten Kryohallen waren Gegenstand weiterer Untersuchungen. Es wurde gezeigt, dass bei geeigneter Abschirmung der Schacht der Hallen für Arbeiten und Installationen auch während des Beschleunigerbetriebs zugänglich ist, und dass außerhalb der Hallen nicht mit der Entstehung eines Strahlenschutzbereiches zu rechnen ist.

Das bisher verfolgte Konzept, Kollimatoren unabgeschirmt im Tunnel zu betreiben, wird dagegen hinsichtlich der Zugangsmöglichkeit nach Abschalten des Beschleunigers auf Schwierigkeiten stoßen. Rechnungen haben gezeigt, dass die induzierte Radioaktivität und die daraus resultierende Dosisleistung so hoch sind, dass die Einrichtung eines Sperrbereichs notwendig ist.

In einer weiteren Arbeit wurde untersucht, inwieweit bei Strahlverlusten im Kühlmittel Helium das Isotop

Tritium produziert wird. Dabei wurde mit konservativen Annahmen berechnet, dass nach einer Betriebszeit von 20 Jahren (die Halbwertszeit von ^3H beträgt etwa 12 Jahre) im Kühlmittel eine Aktivitätskonzentration von 70 Bq/g erreicht wird. Das liegt noch unter der Konzentration von 100 Bq/g, ab der die Strahlenschutzverordnung eine Umgangsgenehmigung verlangt.

Kollaboration mit dem INP Krakau

Die Kollaboration mit dem Institute of Nuclear Physics in Krakau/Polen wurde fortgesetzt. Eine Arbeit, die aus Messungen von Teilchenfluenzen und -dosen im HERA-Tunnel und aus interpretierenden Rechnungen besteht, wurde abgeschlossen.

Zur Konzeption von Abschirmmaßnahmen an hochenergetischen Elektronen-Beschleunigern werden Daten benötigt, die bis jetzt nicht für genügend viele Parameter und mit ausreichender Genauigkeit verfügbar sind. Mit Hilfe des Monte Carlo-Programms FLUKA wurden Daten dieser Art systematisch berechnet. Dabei wurden für die sekundären Pionen, Neutronen und Protonen die Winkelverteilung ihrer Emission und ihre Absorptionskoeffizienten in Beton berechnet. Diese Untersuchungen wurden für Strahlenergien zwischen 1 und 250 GeV und für die wichtigsten Targetmaterialien und -abmessungen durchgeführt. Die Rechnungen sind fertiggestellt; an der Auswertung wird noch gearbeitet.

Weitere Arbeiten

Im Jahr 1998 sind in Zusammenarbeit mit dem Institut für Kernphysik am Forschungszentrum Jülich Arbeiten durchgeführt worden, die es ermöglichten, den Beitrag von Myonen aus der durch Photonen erzeugten Paarbildung zur Dosis an der Erdoberfläche beim Betrieb des Linearcolliders TESLA zu berechnen. Diese Arbeiten sind 1999 abgeschlossen worden, und der wissenschaftliche Teil wurde publiziert. Mittlerweile sind Bemühungen im Gange, diesen Mechanismus der Myonpaarbildung durch Photonen in das Programm FLUKA zu implementieren.

Am CERN wurde eine Untersuchung durchgeführt, inwieweit bei einer geplanten Erhöhung der Strahlenergie des Beschleunigers LEP die Synchrotronstrah-

lung zur Erzeugung induzierter Radioaktivität im Inventar des Beschleunigerraums führen könnte. Ein mit dem Programm FLUKA vertrauter Mitarbeiter der Strahlenschutzgruppe hat an der Studie teilgenommen.

Bei DESY Zeuthen ist der Bau einer Testeinrichtung für einen Hochfrequenz-Photoinjektor geplant, der für TESLA von großer Bedeutung ist. Dieses Projekt erfordert eine Errichtungs- und eine Betriebsgenehmigung nach der Strahlenschutzverordnung.

Zur Erstellung des dazu notwendigen Sicherheitsberichtes hat die Strahlenschutzgruppe beigetragen. Sie hat die Abschirmung dimensioniert und die beim Betrieb der Anlage eventuell entstehende Radioaktivität in Luft und Boden berechnet.

Es werden Überlegungen angestellt, einen Elektronen-Speicherring zu errichten, der ausschließlich der Angiographie zu Verfügung stehen soll (Arbeitsname: Speicherring ARI). Für dieses Projekt wurden die Abschirmmaßnahmen konzipiert.

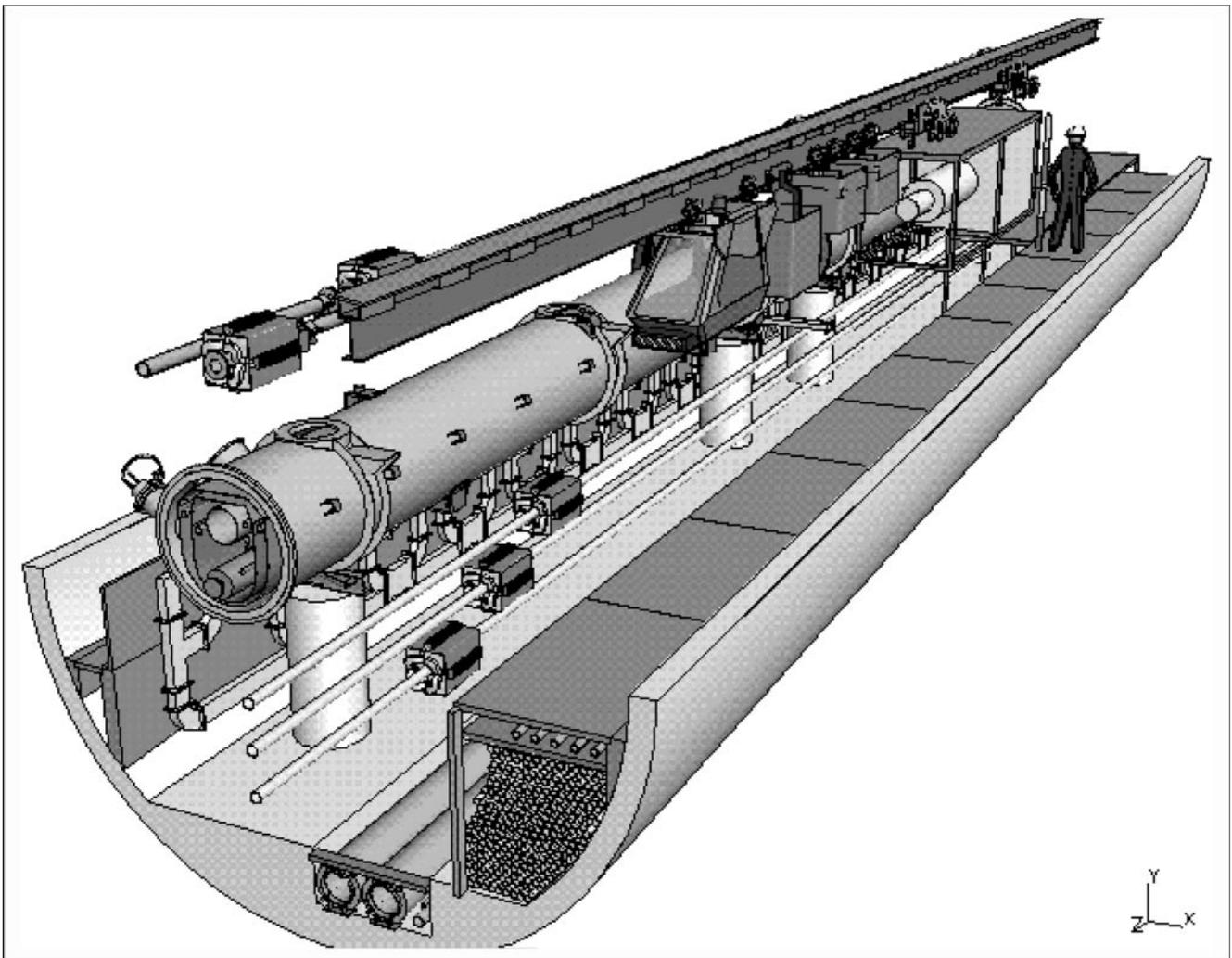


Abbildung 90: Anordnung des Linearbeschleunigers in einem Tunnel mit 5 m Durchmesser.

Voruntersuchungen zum TESLA Linearcollider-Projekt

Seit mehreren Jahren werden weltweit an verschiedenen Teilchenforschungs-Instituten Planungen für den Bau eines linearen Elektron-Positron-Colliders im Energiebereich von 500–1000 GeV vorangetrieben. Eine solche Maschine wäre komplementär zu dem im Bau befindlichen Proton-Collider LHC beim CERN und wird von einer breiten Mehrheit der Teilchenphysiker als das als nächstes zu realisierende Großprojekt der Hochenergiephysik favorisiert.

Im Rahmen der bei DESY koordinierten internationalen TESLA-Kollaboration, in der mehr als 30 Institute aus acht Ländern mitarbeiten, wird für den Linearcollider ein technisches Konzept verfolgt, welches eine außerordentlich hohe Leistungsfähigkeit der Anlage, gemessen an der Luminosität (der Kollisionsrate am Wechselwirkungspunkt) verspricht und deshalb gute Chancen hat, sich gegenüber konkurrierenden, auf konventioneller Technologie basierenden Konzepten durchzusetzen.

Bei TESLA werden supraleitende Beschleunigungsstrecken verwendet, mit denen aufgrund sehr kleiner Hochfrequenzverluste in der Wand der Resonatoren sehr hohe Strahlleistungen erzeugt werden können. Gleichzeitig ist die erzielbare Qualität des Strahls (kleine Emittanz und Energiebreite) optimal, um einen extrem kleinen Strahlquerschnitt am Kollisionspunkt zu erreichen. Da die Luminosität, etwas vereinfacht, als Quotient von Strahlleistung und -querschnitt gegeben ist, wirken sich diese Vorteile des TESLA-Konzepts quasi „doppelt“ aus.

Die hohe Strahlqualität in TESLA ist ebenfalls optimal geeignet, um den supraleitenden Linearbeschleuniger als Treiber für eine Free Electron Röntgen-Laser Anlage mit extrem hoher Brillanz im Wellenlängenbereich bis herunter zu einem Angström zu verwenden.

Die Integration einer solchen Anlage, die von Wissenschaftlern aus vielen verschiedenen Fachgebieten genutzt werden kann (von der Biologie bis zur Festkörperphysik), ist ein wesentlicher Bestandteil des TESLA-Konzepts.

Die technischen Herausforderungen bei TESLA liegen im Erreichen eines hohen Beschleunigungsfeldes in supraleitenden Resonatoren und in einer Reduktion der Kosten für diese anspruchsvolle Technologie. Um die technische Machbarkeit zu demonstrieren und eine zuverlässige Basis für die Berechnung der Kosten für die zukünftige TESLA-Anlage zu bekommen, wurde die „TESLA Test Facility“ (TTF) aufgebaut, in der während des Berichtszeitraums weitere wichtige Meilensteine erreicht werden konnten.

Fortschritt der Design-Arbeiten

Ein erster vollständiger Entwurf der TESLA-Anlage wurde im Frühjahr 1997 fertiggestellt und in einem umfangreichen Bericht dokumentiert. Im Berichtsjahr wurden die Arbeiten zur weiteren Optimierung des Linearcollider-Designs vorangetrieben (Abb. 90). Im Vordergrund stand dabei die detaillierte Untersuchung aller Subsysteme, insbesondere im Hinblick auf die bei TESLA erreichbare maximale Luminosität. Im Linearbeschleuniger kann die Beschleunigungs-Effizienz durch eine verbesserte Anordnung der Resonatoren, sogenannte Superstrukturen, weiter verbessert werden. Dabei werden die Resonatoren in Gruppen zusammengefasst, was nicht nur die „Packungsdichte“, den Anteil aktiver Strukturen in der Gesamtlänge, erhöht, sondern auch durch Reduktion der Anzahl von HF-Eingangskopplern zur Kostenersparnis beiträgt. Bei gleicher Gesamtlänge des Beschleunigers lässt sich die angestrebte Kollisionsenergie von 500 GeV mit einem

kleineren Gradienten erreichen (22 statt 25 MV/m). Außerdem führt diese Maßnahme zu einer Verringerung der HF-Verluste in den Resonatoren, so dass die erforderliche Leistung der kryogenischen Anlage reduziert wird. Bei gleicher Gesamt-Anschlussleistung trägt dies zu einer möglichen Erhöhung der Strahlleistung und damit der Luminosität bei. Der Einfluss strahlinduzierter Felder („Higher Order Modes“) wurde mit Computer-Simulationen untersucht; er bleibt auch in dieser geänderten Anordnung beherrschbar. Weitere Untersuchungen zur Strahldynamik betrafen die von sehr kurzen Teilchenpaketen (einige Zehntel Millimeter für den Collider, einige hundertstel Millimeter für den FEL) erzeugten Störfelder („Wake Fields“). Durch aufwendige numerische Rechnungen konnte gezeigt werden, dass der Hochfrequenzanteil (im Tera-Hertz Bereich) der Wake Fields und damit auch der Leistungsverlust in den supraleitenden Resonator-Wänden deutlich kleiner ist als in einer ersten Abschätzung angenommen.

Die Strahloptik und die Betriebsenergie für die Dämpfungsringe wurden optimiert mit dem Ziel, das Problem sehr starker Raumladungsfelder bei der angestrebten kleinen Strahlemittanz zu verringern. Zur weiteren detaillierten Untersuchung des Einflusses von Raumladung auf die Strahldynamik wurde ein Simulationsprogramm entwickelt. Weitere Arbeiten betrafen die für den Linearcollider benötigten Strahlquellen. Für die Elektronen-Quelle wurde ein neues Konzept entwickelt, welches die Erzeugung eines „flachen“ Strahls, bei dem die vertikale Emittanz klein ist verglichen mit der horizontalen, erlaubt, wie er für den Collider benötigt wird. Diese neuartige Quelle basiert auf dem gleichen Konzept wie die für den FEL vorgesehene HF-Kanone mit Photokathode, verwendet aber zusätzlich noch einen strahloptischen „Trick“, um den runden Strahlquerschnitt in einen flachen zu transformieren. Es besteht die Möglichkeit, dass mit dieser Quelle der Elektronen-Dämpfungsring eingespart werden könnte, falls sich die ersten, sehr viel versprechenden Simulationsergebnisse durch weitere theoretische und auch experimentelle Studien bestätigen lassen.

Die TESLA-Positronenquelle basiert auf der Erzeugung von Elektron-Positron Paaren durch Bestrahlung eines Targets mit hochenergetischen Photonen. Der Photonen-Strahl wird dabei vom 250 GeV Elektronen-Strahl in einem Wiggler-Magneten generiert. Im bisherigen Konzept wurde dazu der „verbrauchte“ Strahl,

also hinter dem e^+e^- -Wechselwirkungspunkt, verwendet. Die große Energiebreite und Emittanz des Strahls nach der Wechselwirkung erfordern eine Kollimierung im Strahlführungssystem vor dem Wiggler. Genauere Untersuchungen ergaben, dass die mit der Kollimierung verbundenen Strahlungsprobleme (Aktivierung, Komponenten im Tunnel, Abschirm-Maßnahmen) schwer beherrschbar sind. Der Wiggler für die Photonen-Erzeugung wurde daher in das Strahlführungssystem für den einlaufenden Elektronen-Strahl verlegt, so dass sich die Positronen-Quelle jetzt strahlaufwärts vom Wechselwirkungspunkt befindet. Die genannten Probleme lassen sich damit weitgehend beseitigen, allerdings wird durch den Wiggler die Energie des einlaufenden Elektronen-Strahls verringert, so dass man eine Reduktion der Kollisionsenergie von etwa einem Prozent in Kauf nehmen muss.

Für einen effizienten Experimentierbetrieb mit geringem Untergrund im Detektor muss der Strahl frei von Halo-Teilchen bei großen transversalen Amplituden sein. Um den bei TESLA ohnehin schon geringen Halo-Anteil weiter zu verringern, ist ein Kollimatorsystem vorgesehen. Die Auslegung dieses Systems wurde optimiert und durch eine Energie-Kollimierung, basierend auf einer nichtlinear-dispersiven Strahloptik, ergänzt. Die für eine hohe Luminosität erforderlichen extrem kleinen Strahldimensionen von wenigen Nanometern am Kollisionspunkt erfordern eine präzise Steuerung der Strahllagen. Dies geschieht bei TESLA mit Hilfe eines schnellen Orbit-Rückkopplungssystems, welches kleinste Abweichungen von der Sollbahn entdeckt und innerhalb eines Bruchteils der Strahlpuls-Länge ausregelt. Die Auslegung dieses Systems wurde vervollständigt und durch Simulationsrechnungen detailliert untersucht. Dabei wurde auch die für bestimmte Experimente interessante Option von Elektron-Elektron Kollisionen mit einbezogen.

Untersuchungen zu einer $\gamma\gamma$ und γe Wechselwirkungszone bei TESLA

Durch Rückstreuung von Laser-Photonen an hochenergetischen Elektronen oder Positronen können $\gamma\gamma$ und γe mit Energien und Luminositäten, die den bei der Kollisions-

sion von e^+e^- oder $e\mu$ erreichbaren Werten vergleichbar sind, zur Kollision gebracht werden. Diese Option ist in den „Conceptual Design Reports“ verschiedener Linearcollider-Projekte enthalten. Der nächste Schritt sind die „Technical Design Reports“. Ein Photon-Collider bei TESLA zeichnet sich hinsichtlich vieler Parameter und geringerer technischer Probleme gegenüber anderen Linearcollider-Projekten aus. Das physikalische Interesse der $\gamma\gamma$ - und γe -Physik liegt in ihrer Komplementarität zur e^+e^- - oder $e\mu$ -Physik.

Eine der Herausforderungen dieses Projekts ist der erforderliche Hochleistungslaser. Eine mögliche Lösung ist ein dioden-gepumpter, aus mehreren Halbleiterlasern bestehender Hochleistungslaser. Wegen des bei TESLA, verglichen mit anderen Linearbeschleunigerprojekten, um bis zu hundertfach größeren Zeitabstandes zwischen den Elektronen-Pulsen kann die Pumpleistung für den Laser hier entsprechend niedriger sein. Eine alternative Lösung besteht aus einem Zug von niederenergetischen Laserpulsen, die in einem externen passiven optischen Resonator verstärkt werden. Bei jeder der vielfachen Reflexionen der Laserpulse in dem optischen Resonator findet eine Kollision mit einem Elektronenbunch, der den Resonator durchquert, statt. Diese Technik, die noch vieler Studien bedarf, könnte die benötigte Laserleistung um bis zu drei Größenordnungen reduzieren. Da das Problem der Beamstrahlung in $\gamma\gamma$ Kollisionen nicht existiert, kann insbesondere die horizontale Emittanz des Elektronen-Strahls sehr viel kleiner sein als bei e^+e^- -Kollisionen.

Die Erzeugung eines polarisierten Elektronenstrahls mit sehr kleiner Emittanz ist von großem Interesse. Hierzu ist zunächst die Optimierung der Dämpfungsringe erforderlich. Mit Hilfe neuer Methoden wie Laserkühlung der Elektronen-Strahlen könnte eine beträchtliche Erhöhung der $\gamma\gamma$ -Luminosität erreicht werden. Das Hauptproblem wäre in diesem Fall die große Laserleistung, die wieder in einem optischen Resonator aufgebaut werden könnte.

Zur Zeit wird in verschiedenen Arbeitsgruppen, der DESY-ECFA-Studie in Europa und in weltweiten Studien zur Physik und den Detektoren für Linearbeschleuniger an Konzepten für Photon-Collider gearbeitet. Kürzlich wurde eine internationale Kollaboration begonnen. Der „International Workshop on High Energy Photon Colliders“ wird vom 14.–17. Juni 2000 bei DESY in Hamburg stattfinden.

DESY als möglicher Standort für TESLA

Als koordinierendes Labor in der TESLA-Kollaboration hat DESY die Aufgabe übernommen, die Möglichkeit einer Errichtung der Anlage in der Nähe des DESY-Geländes detailliert zu prüfen. Dazu gehören sowohl die Klärung bautechnischer Fragen als auch die Vorbereitung auf das genehmigungsrechtliche Verfahren. Der insgesamt 32.8 km lange Linearbeschleuniger kann entlang einer Trasse in nordnordwestlicher Richtung, ausgehend vom DESY-Gelände, angeordnet werden (Abb. 91). Dabei wird die Richtung genau tangential an den Abschnitt West des HERA-Rings angenommen, um eine mögliche spätere Option von Elektron-Proton Kollisionen mit zu berücksichtigen. Auf halber Strecke, südlich des Dorfes Ellerhoop, befindet sich das Experiment (optional ist eine zweite Wechselwirkungszone vorgesehen) für die Teilchenphysik sowie die Röntgenlaser-Anlage. Der Beschleuniger befindet sich in einem unterirdischen Tunnel, sehr ähnlich dem existierenden HERA-Tunnel. In insgesamt sieben oberirdischen und durch Schächte mit dem Tunnel verbundenen Versorgungsstationen entlang der Trasse sind die Helium-Kälteanlagen und die Leistungsversorgung für das Hochfrequenzsystem untergebracht. In einem Staatsvertrag zwischen den Bundesländern Hamburg und Schleswig-Holstein wurde ein Planfeststellungsverfahren als Genehmigungsverfahren für den Bau von TESLA festgelegt. Die Planfeststellungsbehörde ist das Oberbergamt in Clausthal-Zellerfeld. Bei einem Scoping-Termin wurde unter der Leitung des Oberbergamts der Untersuchungsrahmen für die Umweltverträglichkeitsstudie (UVS) definiert. Eine Reihe von für die UVS erforderlichen Fachgutachten wurde im Berichtszeitraum durchgeführt.

TESLA Test Facility

Linac Betrieb

Abbildung 92 zeigt einen Blick in den Tunnel der TESLA Test Facility.

Im Dezember 1998 wurde der bei FNAL (Batavia/USA) gebaute RF-Photoinjektor installiert. Dieser In-

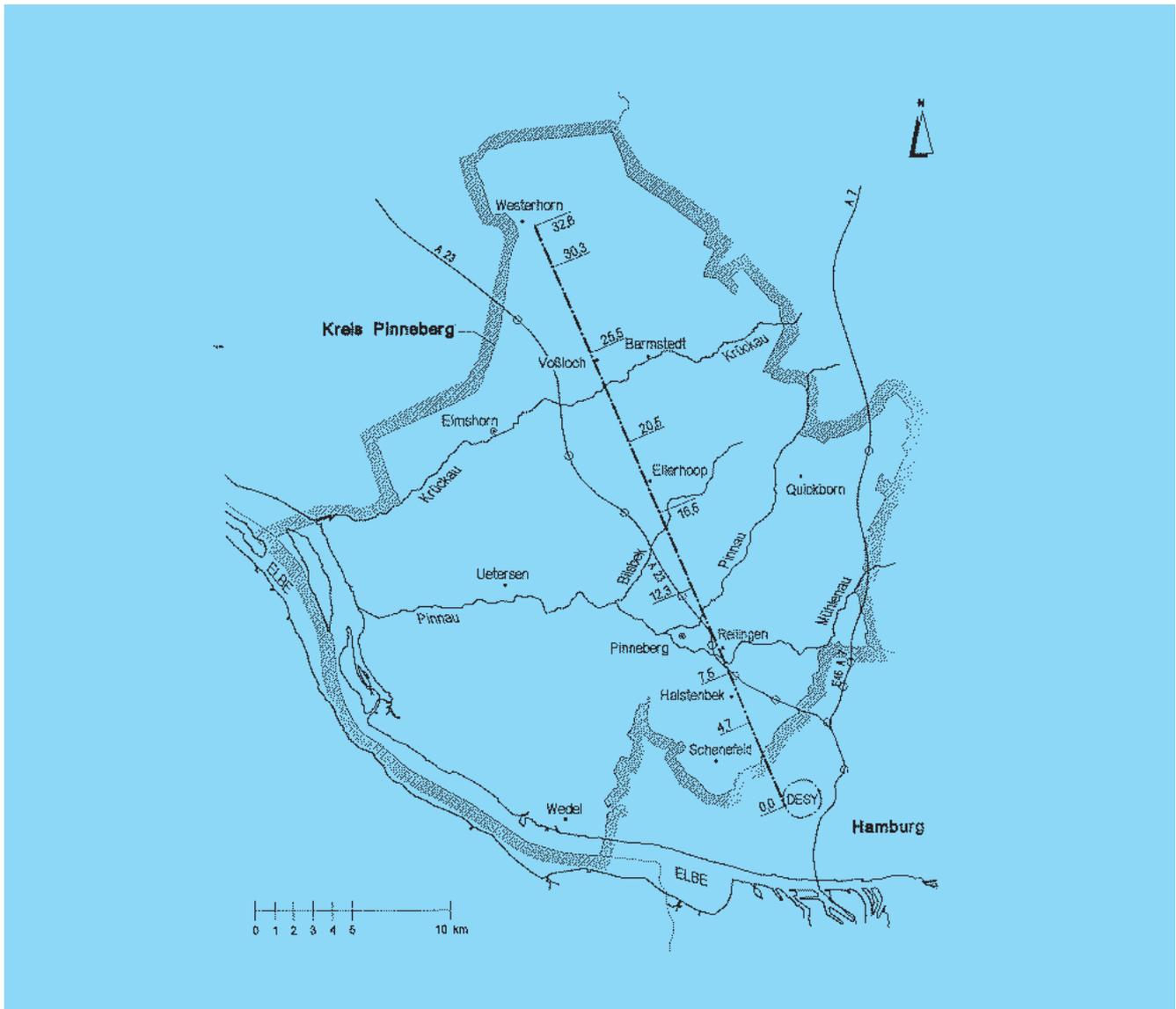


Abbildung 91: Die TESLA Trasse nordnordwestlich des DESY-Geländes.

jektor erlaubt Betriebsbedingungen identisch mit denen am geplanten 500 GeV TESLA-Beschleuniger.

Die Quanteneffizienz der Photokathode (INFN Milano) entsprach mit etwa 1% voll den Erwartungen. Es konnten Bunchzüge von 30 Bunchen mit jeweils 8 nC bei einem Feldgradienten von 35 MV/m erzeugt werden, wobei eine Optimierung der Betriebsparameter noch erfolgen muss. Nach der Beschleunigung in der „Capture Cavity“ (IN2P3 Orsay) erreichte der Strahl eine Energie von 16 MeV. Da das Beschleunigungsfeld des bisher

benutzten ersten Kryomoduls durch Resonatoren mit Fertigungsfehlern (Gradient 13 MV/m) begrenzt war, wurde ein Austausch gegen ein neues Modul vorgenommen. Des Weiteren wurde ein zweites Kryomodul im Linac installiert. Das ausgebaute Modul soll durch Ausrüstung mit besseren Resonatoren aus späterer Fertigung einen Gradienten von 25 MV/m erreichen, was dem TESLA Entwurfswert für 500 GeV Energie entspricht. Es erfolgten Tests im ersten und zweiten Beschleunigermodul, wobei im zweiten Modul zunächst Gradienten von 18 MV/m erzielt werden konnten. Bei

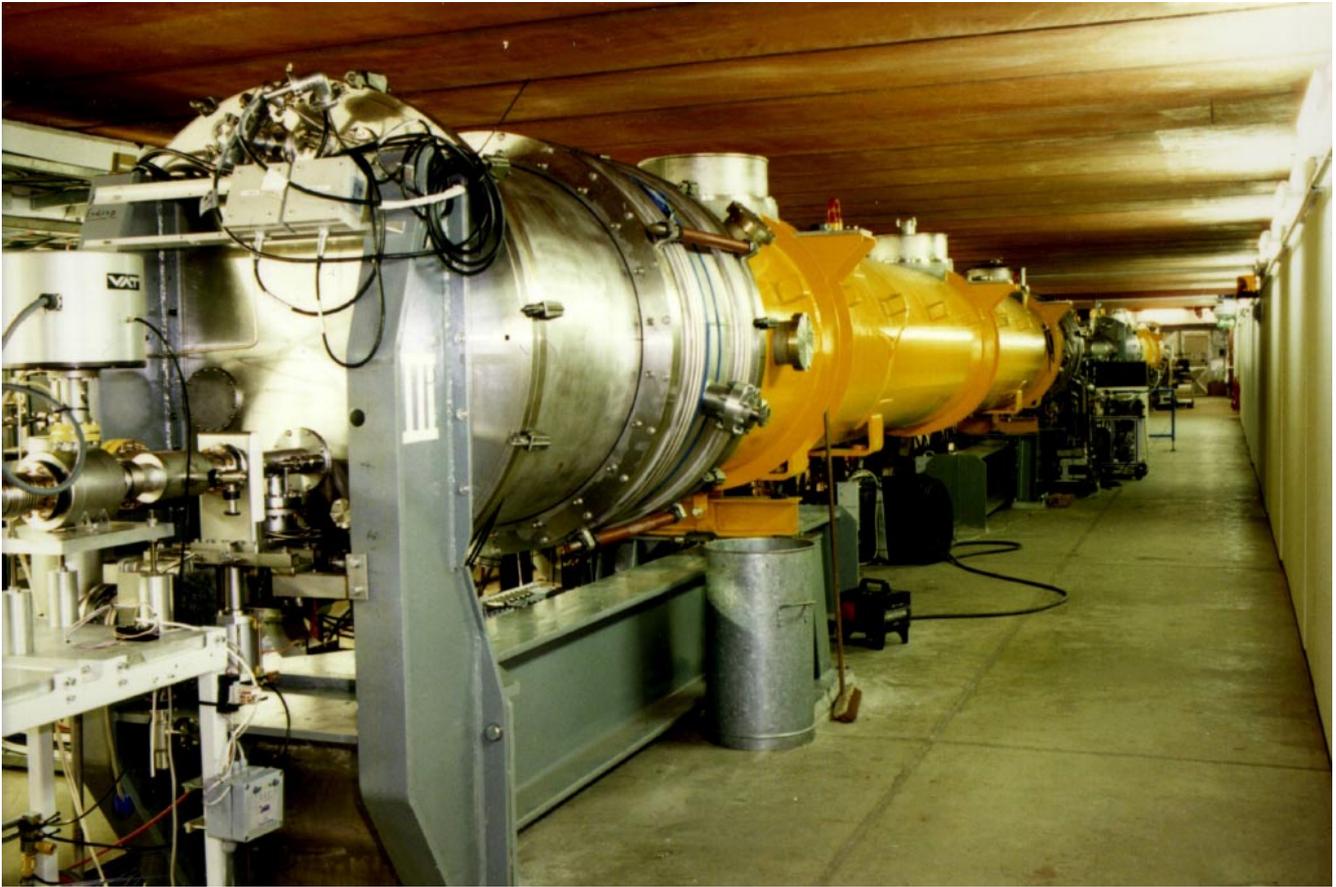


Abbildung 92: TESLA Test Facility Linearbeschleuniger – Blick in den Tunnel.

den Messungen höherer Feldmoden zeigte sich erneut der bereits früher beobachtete, nur unzureichend bedämpfte Dipolmode bei 2.85 GHz. Hier sind weitere Untersuchungen erforderlich.

Nach dem Konditionieren der supraleitenden Resonatoren konnten dann im zweiten Modul Beschleunigungsfelder von knapp 23 MV/m erreicht werden.

Neben den Messungen an den supraleitenden Kryomodulen war die Inbetriebnahme des Undulators für den FEL-Betrieb von grosser Bedeutung. Ziel war zunächst eine möglichst gute Übereinstimmung der gemeinsamen Achse von Beschleunigungsstrukturen und Undulatoreinheiten, so dass mit Hilfe von Korrekturspulen der Strahl mit einer Abweichung von weniger als 100 μm entlang dem Linac bis zum Undulator eingeschossen werden kann. Die zur Kontrolle der

Strahlage erforderlichen Monitore wurden erfolgreich in Betrieb genommen, wobei aber noch eine weitere Optimierung der Betriebsparameter vorzunehmen ist. Außerdem wurde zum Schutz des Undulators vor zu hohen Strahlverlusten eine Spoiler-Kollimator-Strecke installiert und in Betrieb genommen.

In der Regel konnten in einem 24-Stunden-Betrieb durchschnittlich an fünf Tagen pro Woche Messungen am TTF-Linearbeschleuniger durchgeführt werden.

Dabei erwies sich der für den Betrieb des Injektors erforderliche Laser (Max-Born-Institut Berlin) als äußerst zuverlässig mit einer Verfügbarkeit von nahezu 100%. Die Regelung von Phase und Amplitude ist ähnlich der HF-Regelung für die Module. Durch ein Feedback-System konnte die Phase zwischen Laser- und RF-Gun auf besser als 1 ps konstant gehalten werden.

Strahldiagnose

Der Aufbau eines Prototyps des „Beam-Trajectory-Monitors“ (BTM) für den FEL-Betrieb erforderte sowohl die Testmessungen des Silizium-Pixeldetektors sowie die Konstruktion und den Bau einer Vakuumkammer, als auch die Entwicklung einer hochpräzisen Lochblendenstruktur.

Die erste Inbetriebnahme des neuentwickelten Detektors fand am Halbleiterlabor der Max-Planck-Gesellschaft in München statt. Am DESY wurde ein Laser-Teststand aufgebaut und die Genauigkeit der Ortsmessung zu $0.2\ \mu\text{m}$ ermittelt. Am Synchrotronstrahlungslabor HASYLAB wurde die Quanteneffizienz im Energiebereich der Vakuumultraviolett-(VUV-)Strahlung zu 20% bestimmt. Schließlich erfolgte ein Test zur Strahlenhärte in einem Rasterelektronenmikroskop.

Die Konstruktion und der Bau der Vakuumkammer für den BTM erfolgten in Zusammenarbeit mit der TESLA-Gruppe DESY Zeuthen und den dortigen Werkstätten. Die Herausforderungen hierbei waren eine Fertigungsgenauigkeit im Bereich von $1/100\ \text{mm}$ und der Aufbau einer im Mikrometerbereich reproduzierbaren Kammerjustierung unter gleichzeitiger Erfüllung der Anforderungen, die durch den Einsatz im Ultrahochvakuum (UHV) gesetzt sind. Auch beim Bau der Elektronik-Komponenten mussten die UHV-Anforderungen berücksichtigt werden. Hinzu kam eine geforderte Platziergenauigkeit der Detektor-Chips von $5\ \mu\text{m}$. Hochpräzise Lochblenden mit $80\ \mu\text{m}$ Durchmesser konnten mit Unterstützung des Instituts für Halbleitertechnik an der TU Harburg auf photolithographischem Weg hergestellt werden.

Im Linac-Bereich machten der Einbau eines zweiten Kryomoduls, der Kollimator- und Undulatorstrecke sowie der Photonen-Diagnostik umfangreiche Umbauten des Vakuumsystems erforderlich. Hinzu kamen die Installation der Test-Strahlführung des DESY-Photoinjektors an einem neuen Standort sowie Fertigung und Aufbau des Vakuumsystems für einen zweiten Vertikal-Kryostaten, der den Durchsatz der supraleitenden Resonatoren beim Helium-Kältetest deutlich verbessern soll.

Im Rahmen des Kontrollsystems sind insbesondere Entwicklung, Installation und Einbindung von schnellen

ADCs für Strahllage-monitore (gemeinsam mit DESY Zeuthen) sowie die Umstellung des Timing Systems auf 9 MHz zu erwähnen.

Hochfrequenzversorgung und -regelung

Ein wichtiger Beitrag im Berichtszeitraum war die Inbetriebnahme des dritten bei Fermilab (USA) gebauten Hochspannungsmodulators zusammen mit einem 5 MW-Klystron. Dieses System wird nun hauptsächlich zur Versorgung des TTF-Guns mit Hochfrequenz verwendet, während eines der beiden bestehenden Modulator-Klystron-Systeme die TTF-Cavities mit Hochfrequenz versorgt und das andere zum Testen von Hochfrequenzkomponenten und zur Konditionierung neuer Cavities oder Hochfrequenzkoppler verwendet wird.

Von Bedeutung war auch der erfolgreiche Test eines Prototyps des neu entwickelten 10 MW-Multibeamklystrons bei 10 MW Pulsleistung, einer Folgefrequenz von 30 Hz und einer Pulsdauer von $500\ \mu\text{s}$ beim Hersteller. Dieses Klystron, das über eine deutlich höhere Effizienz (etwa 70%) verfügt als die bisher verwendeten Typen (etwa 45%), steht nun bereit, um bei DESY in einem Modulator, der eine Pulsdauer von 1.3 ms bei einer Folgefrequenz von 10 Hz ermöglicht, getestet zu werden.

Die Hochfrequenzregelung des TTF-Linac, die für die Regelung der Vektorsumme von 24 supraleitenden Resonatoren ausgelegt ist und zur Zeit die vorhandenen 16 Resonatoren ansteuert, wurde mehrere Monate betrieben und hat sich dabei als sehr zuverlässig erwiesen. Die Flexibilität der digitalen Regelung erlaubte dabei wahlweise TTF- oder FEL-Betrieb, bei dem wegen des zwischen den beiden Kryomodulen installierten Bunchkompressors nur die Vektorsumme der vor dem Bunchkompressor installierten acht Resonatoren stabilisiert wurde. Der Betrieb der Hochfrequenzregelung wurde durch vereinfachte Benutzeroberflächen und Reduktion der notwendigen Eingabeparameter für Feedback, Feedforward und Strahlkompensation stark erleichtert. Die Diagnostik zur Kalibrierung der Resonatorfelder mittels strahlinduzierter Transienten wurde verbessert und kann nun bei einer Ladung von mindestens 100 nC

im Strahlpuls routinemäßig zum Einstellen der individuellen Resonatorphase eingesetzt werden. Erste Versuche zur Automatisierung der Hochfrequenzregelung mittels einer im DOOCS-Kontrollsystem integrierten Software für die automatische Zustandssteuerung verliefen erfolversprechend. Außerdem fanden erste Tests zur Automatisierung des Linac-Betriebes mit Hilfe einer „State Machine Software“ statt und es wurden umfangreiche Verbesserungen am Beam-Interlock-System (BIS) vorgenommen.

Infrastruktur

Nach etwa fünfjährigem Dauerbetrieb wurde Ende 1998 die Chemie- und Präparationsanlage einer Generalüberholung unterzogen. Ab Februar 1999 zeigten sich eine Verbesserung der Einsatzfeldstärke der Feldemission und hiermit verbundene höhere maximale Beschleunigungsfelder.

Seit Beginn des Jahres 1999 wurden 99 chemische Behandlungen durchgeführt, 48 Kavitäten wurden für vertikale Tests präpariert und montiert. Im Mittel erreichten diese Kavitäten Beschleunigungsfelder von 24.2 MV/m. Die Einsatzschwelle für Feldemission lag im Mittel bei 20 MV/m. Die im Reinraum verwendete Hochdruckspüle muss auf eine neue Prozess-Software umgestellt werden. Hierfür wurde ein neues Konzept entwickelt. Basierend auf einer SPS Steuerung wird die Prozess-Visualisierung jetzt mit Visual Basic realisiert. Um dieses auch entsprechend testen zu können, wurde ein Simulationssystem erstellt, mit dem alle Betriebszustände realitätsnah nachempfunden werden konnten. Die ursprünglich von CERN gelieferte Kontroll-Hardware und -Software wird bei nächster Gelegenheit ausgetauscht. Fernerhin befindet sich eine Qualitätssicherung im Aufbau. Sie beruht auf der Filtration des Ablaufwassers der Hochdruckspüle, der Entnahme von Feldemissionsproben zur Überwachung von Partikelkontamination im Prozess und der Neuentwicklung eines Online-Verfahrens zur Bestimmung der Säurequalität über Spektralanalyse.

Die Helium-Kälteversorgung des TTF-Linearbeschleunigers mit zwei TTF-Kryomodulen und des TTF-Kältelabors wurde gewährleistet. Dabei wurde der Kältebetrieb des TTF-Linearbeschleunigers in zwei Be-

triebsperioden für insgesamt 7 1/2 Monate durchgehend aufrechterhalten.

Für die erweiterte Helium-Kälteversorgung des TTF/FEL-Linearbeschleunigers mit einem Anschluss an die HERA-Helium-Kälteanlage wurden eine HERA-FEL-Transferleitung und eine FEL Vorkühler- und Verteilerbox bei Industriefirmen gefertigt, installiert und mit einem Probelauf erfolgreich getestet.

Die zur Anbindung an die HERA-Kälteanlage benötigte Warmgasverrohrung wurde ebenfalls von Fremdfirmen bis zu den Übergabepunkten an der bestehenden TTF-Helium-Kälteanlage fertiggestellt.

Die Verlängerung der bestehenden TTF-Transferleitung zur FEL-Vorkühler- und Verteilerbox wurde spezifiziert und in Auftrag gegeben. Weiterhin wurde der Auftrag zum Bau eines zweiten Helium-Kompressorsystems erteilt, das zur Entkopplung der Kälteversorgung des TTF-Linearbeschleunigers und des TTF-Kältelabors und zur Kapazitätserweiterung benötigt wird.

Für den weiteren Ausbau des TTF/FEL-Linearbeschleunigers werden spezielle kryogenische Komponenten benötigt, die unter anderem den Übergang zu einem überarbeiteten Kryomodul-Design ermöglichen: Zu diesen Komponenten gehören eine 24 m lange Bunchkompressor-Bypass-Transferleitung mit neuen Prozessrohren, eine Neuauslegung der Modul-Verbindungsstücke und eine dem neuen Modul-Design angepasste Endbox. Für diese Komponenten wurden Konstruktionsentwürfe erarbeitet.

Ein Entwurf für die Anbindung des beim Forschungszentrum Karlsruhe in Fertigung befindlichen supraleitenden Energiespeichers (SMES) an das erweiterte Helium-Verteilungssystem wurde fertiggestellt.

Der Aufbau eines zusätzlichen Teststandes für ein- und mehrzellige Cavities unter Verwendung der 300 W-Kälteanlage wurde in Angriff genommen.

Zur Analyse der an den supraleitenden Kavitäten für TTF gemessenen Daten wird die chronologische Abfolge der Arbeiten und die Verfügbarkeit der wichtigsten Anlagen zur Präparation und zum Test der Resonatoren in einer Datenbank festgehalten. Zusätzlich werden die wichtigsten Daten der visuellen und mechanischen Eingangskontrolle der Kavitäten, die Prozedur

und Ergebnisse ihrer chemischen Behandlungen und Messungen bei Zimmertemperatur und 2 K in dieser Datenbank gespeichert. Vom Linac über die Module kann direkt auf die Daten der Resonatoren zugegriffen werden, die im TTF-Linac installiert sind. Dazu musste eine Vielzahl von SQL-Prozeduren entwickelt werden, um die anfallende Datenmenge zu filtern und für die Datenbank aufzubereiten. Um den Zugriff auf diese Daten zu erleichtern, wurde ein umfangreiches graphisches Benutzer-Interface zur Datenbank erstellt, das die wichtigsten Ergebnisse in Form von Tabellen und Graphen zur Verfügung stellt. Das Benutzer-Interface wurde mit dem ORACLE Developer Server ins WEB migriert, so dass die Datenbank dynamisch ins Internet eingebunden ist.

Superstruktur

Ein wichtiger Schritt zur Kostenreduzierung des TESLA-Projekts ist das Konzept der Superstruktur. Dabei werden einige mehrzellige Resonatoren über ein kurzes Strahlrohr direkt miteinander verkoppelt. Es ergeben sich drei wesentliche Vorteile:

- es wird nur ein einziger Einkoppler für die gesamte Gruppe benötigt,
- es wird nur ein Dämpfungskoppler zwischen jeweils zwei Strukturen benötigt – gegenüber zwei notwendigen Dämpfungskopplern bei dem Standardkonzept,
- bei gleicher aktiver Beschleunigungslänge verkürzt sich die gesamte Baulänge um etwa 15% oder der Beschleunigungsgradient reduziert sich um den gleichen Betrag bei unveränderter Baulänge.

Die elektrischen Eigenschaften einer Superstruktur wie Einschwingverhalten, Abstimmung in Beschleunigungsmoden und Verkopplungen bei höheren Moden sind mit Rechnermodellen untersucht worden und lassen keine besonderen Schwierigkeiten erwarten. Allerdings ist es notwendig, die berechneten Eigenschaften an Cu-Modellen zu überprüfen. Hierzu wurden acht siebenzellige Resonatoren gebaut. Jeweils vier dieser

Resonatoren können zu einer Superstruktur verbunden werden. An dieser Superstruktur wurden folgende Messungen durchgeführt:

- Abstimmung der Beschleunigungsmoden in Hinblick auf Frequenz und Anregungsamplitude,
- Bestimmung der Frequenzspektren und der Anregungsamplitude der dominanten höheren Moden,
- Optimierung der Dämpfungskoppler.

Diese Messungen waren in guter Übereinstimmung mit den vorher durchgeführten Berechnungen und haben auch keine unerwarteten Probleme aufgezeigt. Als nächster Schritt soll der Prototyp einer Superstruktur im TTF-Linac betrieben werden. Hierzu wurde das Design einer solchen Struktur aus Niob erarbeitet und ein Fertigungsauftrag für sechs siebenzellige Niob-Resonatoren vergeben. Der Strahltest ist für das Frühjahr 2001 geplant. Wegen des verkürzten Abstandes zwischen den Resonatoren ist ein neuer Tuner zur Frequenzabstimmung erforderlich, dessen Konstruktion abgeschlossen werden konnte.

Materialforschung

In Zusammenarbeit mit der Bundesanstalt für Materialforschung in Berlin ist ein Prüfverfahren für Niob-Bleche entwickelt und angewendet worden. Hierbei wird mit einer Eddy-Strom-Sonde die Oberfläche der Niob-Bleche gescannt. Abweichungen der elektrischen Leitfähigkeit durch Fremdeinschlüsse oder mechanische Defekte können entdeckt und lokalisiert werden. Damit können frühzeitig „defekte“ Niob-Bleche ausgesondert werden, die bei Weiterverarbeitung zu einem kompletten Niob-Resonator dessen supraleitende Eigenschaften reduzieren würden. Diese Apparatur konnte weiter verbessert werden. Bei insgesamt 750 gescannten Niob-Blechen lag die Defektrate bei 5%.

Bezüglich des Resonator-Entwicklungsprogramms standen zwei Aspekte im Vordergrund. Um die Energie des geplanten TESLA-Beschleunigers bei unveränderter Länge von 500 GeV auf etwa 800 GeV zu erhöhen, muss, selbst bei einer Verbesserung des Füllfaktors von bisher 67% auf 75–80%, der Beschleunigungsgradient

über die bisher erreichten etwa 25 MV/m hinaus deutlich erhöht werden. Gemeinsam mit CERN wurde daher ein anderes Verfahren für die Behandlung der Oberfläche der Niob-Resonatoren getestet, nämlich die sogenannte Elektropolitur. Damit gelang es, in einzelligen Resonatoren Beschleunigungsfelder von 40 MV/m zu erreichen (Abb. 93). Für die Übertragung dieser Resultate auf mehrzellige Resonatoren sind allerdings noch weitere Untersuchungen notwendig. Außerdem sind zusätzliche Versteifungsmaßnahmen erforderlich, um die Frequenzverschiebung durch Lorentz-Kräfte bei höheren Feldstärken auf ein tolerables Maß zu reduzieren. Hier wurden erste Vorschläge erarbeitet.

Der zweite Aspekt betrifft das Bestreben, durch andere Herstellungsverfahren die aufwendigen Elektrodenstrahl-Schweißverbindungen innerhalb eines Resonators weitgehend zu reduzieren. Hierzu wurde das Verfahren der Innenhochdruckumformung entwickelt, mit

der aus Niob-Rohren nahtlose Einzeller hergestellt werden konnten, die bereits bis zu 27 MV/m erreicht haben. Auch hier sind sicherlich weitere Entwicklungsarbeiten erforderlich.

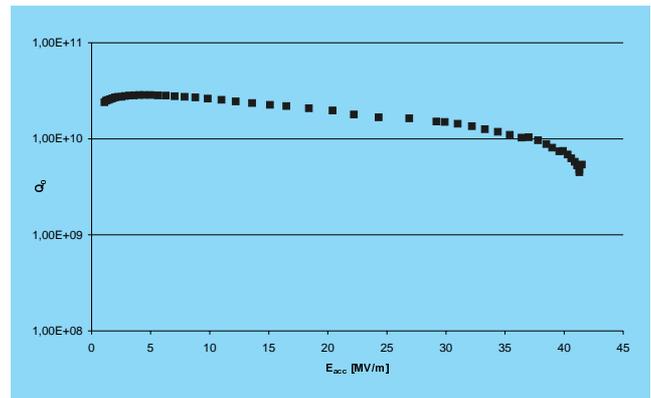


Abbildung 93: Messresultat eines einzelligen Resonators nach Elektropolitur.

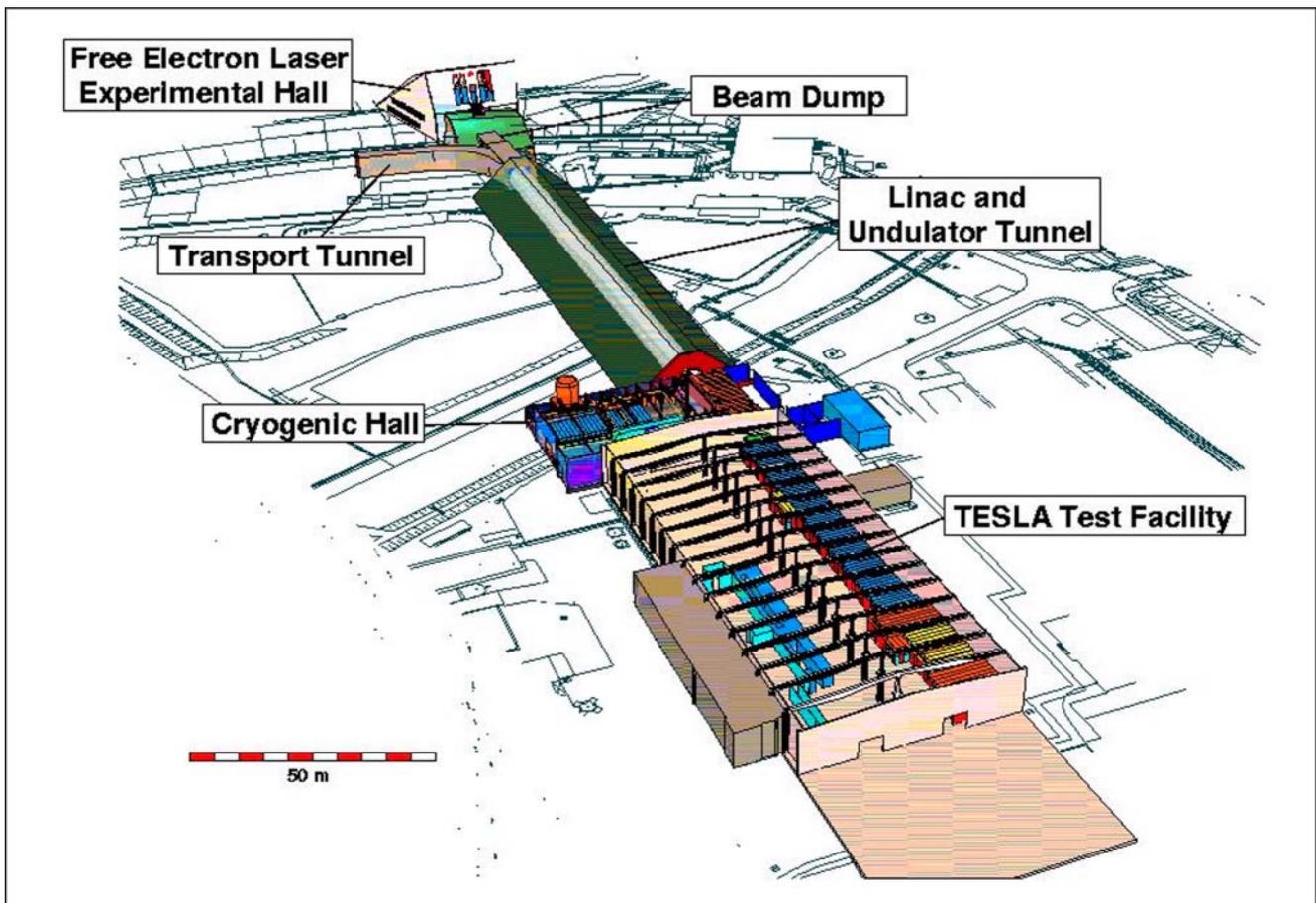


Abbildung 94: Der SASE FEL für sehr kurze Wellenlängen nach Erweiterung der TESLA Test Facility (TTF FEL Phase 2).

Entwicklung eines Freie-Elektronen-Lasers für sehr kurze Wellenlängen

Das Prinzip des Freie-Elektronen-Lasers (FEL) ermöglicht es, mit sehr großer Effizienz Bewegungsenergie eines Elektronenstrahls in elektromagnetische Strahlung umzuwandeln. Durch das Prinzip der selbst-verstärkten spontanen Emission („Self-Amplified Spontaneous Emission“ SASE) und durch den Einsatz eines Linearbeschleunigers mit exzellenter Strahlqualität sollte sich ein FEL auch im VUV- und Röntgenbereich betreiben lassen. Dies verspricht gegenüber derzeitigen Synchrotronstrahlungsquellen eine Verbesserung der Photonenstrahl-Qualität, die in einigen Aspekten acht bis zehn Größenordnungen beträgt.

Das Grundprinzip und die wichtigsten Komponenten wurden im DESY Jahresbericht 1995 beschrieben. Der SASE FEL bei DESY wird an der TESLA Test Facility (TTF) installiert, weil dieser Linearbeschleuniger als idealer Treiber für einen FEL angesehen wird. Die Realisierung erfolgt in zwei Stufen: Die erste Phase verfolgt das Ziel eines sogenannten „Proof of Principle“, das heißt den Nachweis, dass das SASE-Verfahren bei Wellenlängen im Bereich zwischen 70 und 140 nm so funktioniert wie erwartet und dass die erforderliche Elektronenstrahl-Qualität technisch realisierbar ist. In der zweiten Ausbaustufe soll der TTF-Linac durch Installation von mindestens fünf weiteren Linac-Abschnitten auf über 1 GeV Strahlenergie erweitert und der Undulator auf etwa 30 m verlängert werden. Diese Anlage wird weniger als 6 nm Wellenlänge erreichen und soll Nutzern zur Verfügung stehen.

Die ganze Entwicklung erfolgt unter maßgeblicher Unterstützung von Wissenschaftlern aus 37 Instituten aus elf Nationen. Abbildung 94 gibt einen Überblick über beide Phasen der im Bau befindlichen Anlage.

Die Arbeiten im Berichtszeitraum konzentrierten sich auf den Einbau und die Inbetriebnahme der

Komponenten für Phase 1, den Rohbau für Phase 2 sowie auf die Studien zu einem Höchstleistungs-FEL im Sub-Nanometer-Bereich, der als integraler Bestandteil des TESLA-Projekts geplant wird.

Aufbau der Komponenten für Phase 1

Das Herzstück eines FELs ist der Undulator, der das alternierende magnetische Feld erzeugt, in dem der FEL-Prozess ablaufen kann. Für die Phase 1 wurde ein 14 m langer Undulator gebaut, der aus drei je 4.5 m langen Abschnitten besteht, zwischen denen jeweils ein etwa 30 cm langer Block zur Strahldiagnose eingebaut wurde. Nach der sehr genauen Einmessung der Magnete auf einer hochpräzisen Granitbank wurde der Undulator in den vorgesehenen klimatisierten Abschnitt des Beschleunigers eingebaut. Dort wurden die Undulatorabschnitte mit einem speziell entwickelten Laserinterferometrischen Aufbau relativ zueinander auf etwa 20 µm genau ausgerichtet. Anschließend wurde die Vakuumkammer eingelegt, die ein Kollaborationsbeitrag des Argonne National Laboratory (USA) ist und in die 30 Strahllagemonitore sowie ebenso viele Korrekturmagnete integriert sind. Abbildung 95 zeigt die fertige Installation.

Da der Beschleuniger für eine sehr hohe mittlere Strahlleistung (etwa 30 kW in Phase 1) ausgelegt ist, wurde ein Kollimatorsystem aufgebaut, welches den Undulator davor schützt, von unkontrollierten Teilen des Elektronenstrahls getroffen zu werden. Abbildung 96 zeigt diesen Abschnitt des Beschleunigers nach Abschluss des Aufbaus. Die weiteren für den FEL wesentlichen Baugruppen, nämlich der sogenannte Bunch-Kompressor, die Photon-Diagnostik und die Elektronenquelle wurden bereits in früheren Jahresberichten beschrieben.



Abbildung 95: Der Undulator für den TTF FEL nach seinem Einbau in den Beschleuniger. Die Vakuummkammer für den Elektronen-Strahl befindet sich in der Mittelebene, zu erkennen an den vielen Signal- und Stromversorgungskabeln, die dort hinein- und herausführen.

Teststand für Elektronenquellen

Die Elektronenquelle ist die kritischste Komponente für SASE FELs und es ist absehbar, dass noch einige Jahre intensiver Forschung und Entwicklung notwendig sind, bevor diese sogenannten Photoinjektoren routinemäßig diejenigen Strahlparameter erreichen, die für FELs im Nanometer-Bereich erforderlich sind. Damit die erforderlichen Tests nicht am TTF-Beschleuniger durchgeführt werden müssen und dadurch das dortige Forschungsprogramm behindern, wurde ein separater Teststand entworfen. Aus dem „Vernetzungsfonds“ der Helmholtz-Gemeinschaft HGF wurden 1999 Sondermittel genehmigt, um im Rahmen einer Kollaboration mit dem Max-Born-Institut Berlin, BESSY Berlin und der TU Darmstadt einen solchen Teststand bei

DESY Zeuthen aufzubauen. Vom INFN Milano wurde im Berichtsjahr ein neues, verbessertes Vakuumsystem zum Transport, zur Manipulation und zum Einbau der Photokathoden (Cs_2Te) beigesteuert.

Inbetriebnahme

Nach Abschluss der Aufbauarbeiten konnte im August 1999 die Inbetriebnahme beginnen. Das wichtigste Ziel der Inbetriebnahmephase war es, schnell einen Elektronen-Strahl durch den gesamten Beschleuniger inklusive Undulator zu fädeln, damit möglichst viele Komponenten quasi gleichzeitig am Strahl getestet werden konnten. Dies gelang innerhalb weniger Tage. Es stellte sich heraus, dass eine Reihe von Verbesserungen



Abbildung 96: Das Kollimatorsystem schützt den Undulator vor unkontrollierten Teilen des Elektronen-Strahls. Im Hintergrund ist die Klimakammer für den Undulator zu erkennen.

erforderlich waren, um einen Test des SASE-Prinzips zu ermöglichen:

- Da die Strahlemittanz unter schlecht kontrollierten Bedingungen bei weitem zu groß war, musste ein schnelles Verfahren entwickelt werden, die Strahlemittanz an mehreren Stellen entlang des Beschleunigers zu messen. Dadurch konnten die kritischen Parameter identifiziert und unter Kontrolle gebracht werden. Gegen Ende 1999 war es möglich, im Undulator routinemäßig normierte Emittanzen zwischen 5 und 20π mrad mm zu verifizieren. Dies liegt zwar immer noch über dem Designwert von 3π mrad mm, aber schon nahe an dem Bereich, in dem eine nennenswerte FEL-Verstärkung möglich wäre. Eine wichtige Rolle spielen dabei die Monitorblöcke, die zwischen die Undulatorabschnitte

eingebaut sind (Abb. 97). Sie enthalten Drahtscanner, mit denen das Profil des Elektronenstrahls mit einer Auflösung von besser als $10 \mu\text{m}$ genau vermessen werden kann. Eine solche Messung ist in Abbildung 98 wiedergegeben.

- Die Justierung des Kollimatorsystems sowie der Undulatorkammer in Bezug auf die Undulatorachse musste verbessert werden, um den Elektronenstrahl so genau auf die Achse des Undulators zu setzen, dass die Strahlverluste tolerabel blieben. Als Hauptursache für Strahlverluste im Undulator wurden die Dunkelströme erkannt, die von der Elektronenquelle erzeugt werden. Durch Verbesserung des Vakuums konnten diese Effekte weit unter das tolerable Maß gebracht werden. Eine Messgenauigkeit der absoluten Strahllage im Undulator (das heißt bezogen auf die Sollachse) von besser als 0.5 mm war wegen



Abbildung 97: Der Monitorblock, der zwischen die Undulator-Abschnitte eingebaut wurde, enthält dünne Drähte, mit denen das Elektronen-Strahlprofil sowohl horizontal als auch vertikal auf besser als $10\ \mu\text{m}$ genau abgetastet werden kann. Das Foto zeigt die Vorrichtungen zum Fahren der Drähte, die an die Vakuumkammer angebaut sind.

einer Verzögerung bei der Fertigung der Elektronik für die Strahlmonitore im Jahr 1999 nicht möglich.

- Eine Kompression der Länge der Elektronen-Pakete auf unter $0.5\ \text{mm}$ (rms) konnte routinemäßig im sogenannten Bunchkompressor erzielt und nachgewiesen werden. Die Arbeiten zur Verbesserung der Messverfahren des longitudinalen Strahlprofils, die unter anderem in Kollaboration mit der TU Darm-

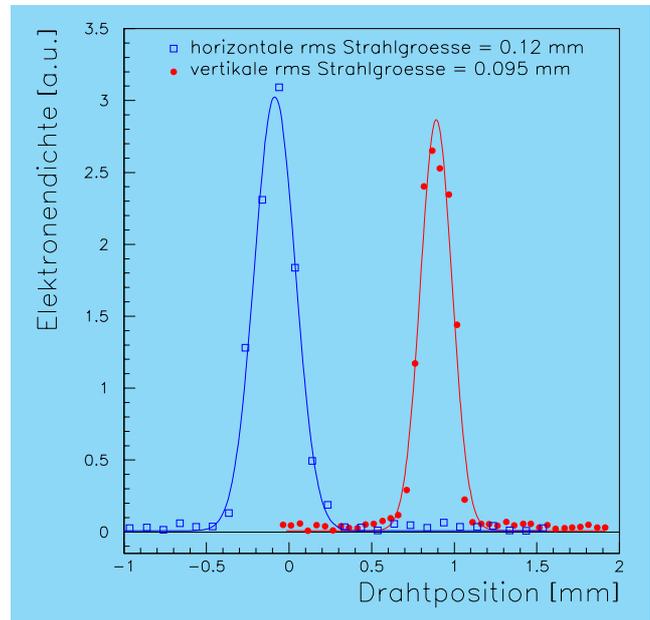


Abbildung 98: Horizontales bzw. vertikales Strahlprofil im Undulator, gemessen mit Drahtscannern. Der Designwert der rms Strahlgröße liegt bei $80\ \mu\text{m}$.

stadt und der RWTH Aachen durchgeführt wurden, wurden fortgesetzt.

- Da die Photonen-Diagnostik für einen sehr großen dynamischen Bereich ausgelegt werden musste, war es zunächst schwierig, das Spektrum der spontanen Undulatorstrahlung zu messen. Instrumentelle Verbesserungen und zusätzliche Abschirmung gegen Strahlungsuntergrund führten hier zum Erfolg.

Weitere Untersuchungen und Maßnahmen betrafen die Stabilität und Reproduzierbarkeit des Maschinenbetriebs, weil dies sowohl für SASE-Experimente als auch für späteren Nutzerbetrieb bedeutsam sein wird.

Phase 2

Das Ziel der zweiten Ausbaustufe ist es, noch kürzere Wellenlängen zu erreichen und den Strahl für Experimente zur Verfügung zu stellen. Die erforderliche Tunnelverlängerung wurde 1999 im Rohbau fertiggestellt. Die Beschleunigerkomponenten sollen, wie auch im zukünftigen TESLA-Projekt, mit einer Monorail transportiert werden. Die zukünftige Experimentierhalle konnte

am 14. Oktober 1999 Richtfest feiern. Sie wird zunächst für die Nutzung als Ausstellungshalle im Rahmen der Weltausstellung EXPO 2000 vorbereitet. Hinsichtlich der Ausrüstung des Beschleunigtunnels konzentrierten sich die Arbeiten auf die Festlegung der Strahlführung. Das CE Saclay/F hat beschlossen, im Rahmen der TESLA-Kollaboration den Entwurf und den Bau eines weiteren Bunch-Kompressors beizusteuern, in dem die Länge des Elektronen-Paketes („Bunch“) auf $50\ \mu\text{m}$ (rms) verkürzt werden soll.

Vorstudien zu einem Röntgen-FEL

Die Studien zum Entwurf eines Höchstleistungs-FELs für Wellenlängen bis hinunter zu $0.1\ \text{nm}$ (kurz: XFEL) wurden fortgesetzt. Die Arbeiten konzentrierten sich darauf, technisch-wissenschaftliche Fragen zu identifizieren, die vor der Abfassung des Technischen Design Reports für TESLA (geplant für 2001) zu klären sind. Dazu gehörten:

- Die Geometrie der Strahlweiche zur Aufteilung der Elektronen-Pakete auf die verschiedenen Nutzer wurde so verbessert, dass die Kosten für Bauwerke und Strahlführung reduziert wurden.
- Eine Studie über die Beeinflussung der Strahlqualität ultrakurzer Elektronen-Pakete durch induzierte Störfelder („Wake Fields“), verursacht durch die Oberflächenrauigkeit der Vakuumkammer, wurde, in Zusammenarbeit mit der TU Darmstadt, abgeschlossen.
- Im Rahmen einer neuen Kollaboration mit der ESRF in Grenoble/F wurde die Möglichkeit untersucht, die Wellenlänge für jeden Nutzer dadurch individuell einzustellen, dass das Magnetgap der Undulatoren variabel gemacht wird. Diese im Prinzip erprobte Technik muss hinsichtlich der Machbarkeit und der Kosten besonders geprüft werden, weil die Undulatoren für XFELs etwa $100\ \text{m}$ lang sein werden und engen mechanischen Toleranzen unterliegen.

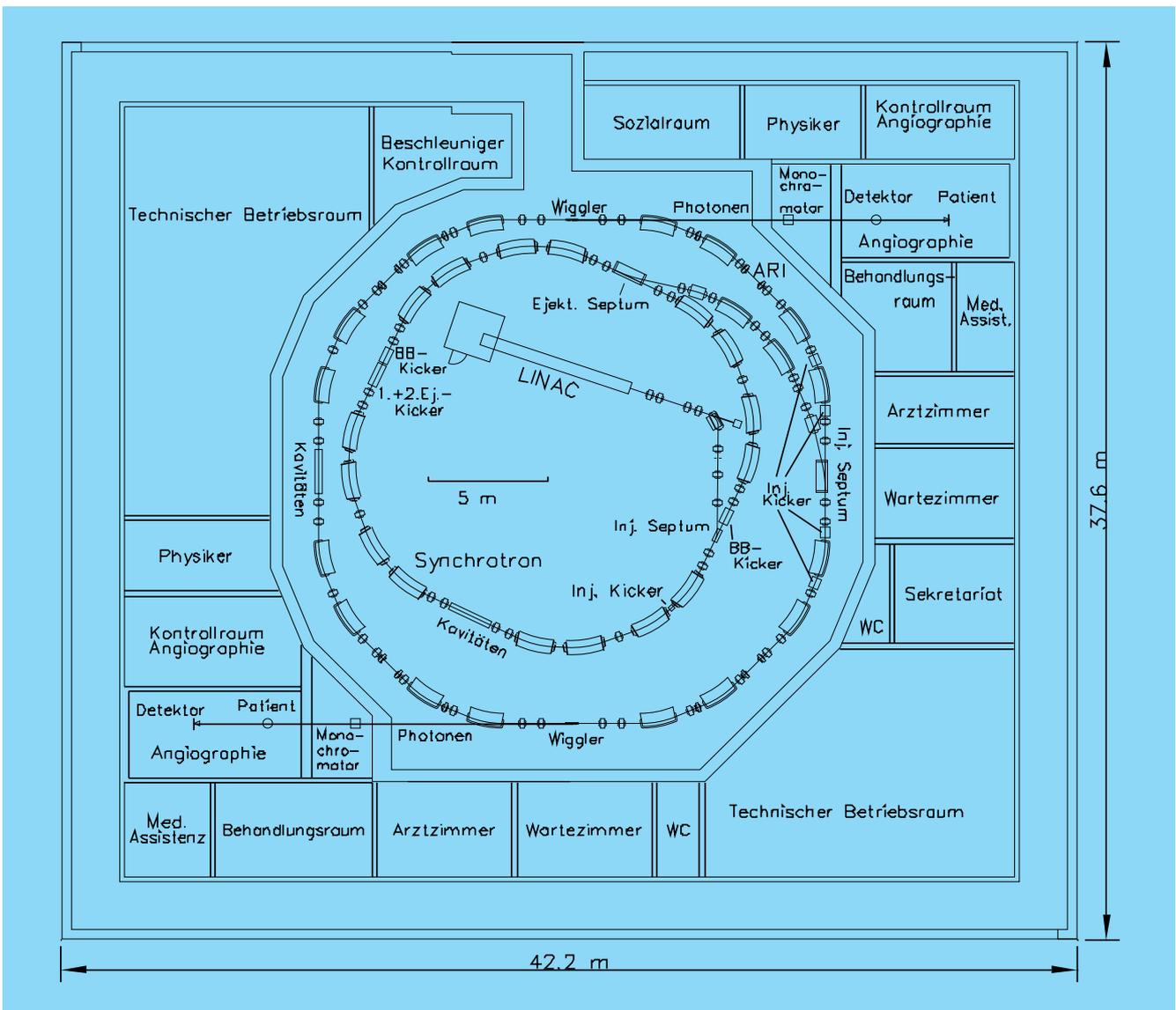


Abbildung 99: Übersicht einer Speicherringanlage für KEDSA.

Studie eines Elektronen Speicherringes für koronare Angiographie – ARI

Seit 1981 entwickelt eine Gruppe am HASYLAB das System NIKOS zur Anwendung der nichtinvasiven Koronar-Angiographie. Wie bei den bisher üblichen Verfahren zur Untersuchung der Herzkranzgefäße wird Jod als Kontrastmittel verwendet. Durch digitale Subtraktion zweier Aufnahmen, die mit Photon-Energien oberhalb und unterhalb der K-Absorptionskante des Jods belichtet wurden, kann die Konzentration des Jods bei gleichem Kontrast wesentlich geringer sein. Damit wird es möglich, das Kontrastmittel in eine Vene zu injizieren. Die Notwendigkeit eines Herzkatheters entfällt damit, was das Risiko der Untersuchung erheblich verringert. Die Anwendung der KEDSA („K-Edge Digital Subtraction Coronary Angiography“) erfordert eine Qualität der Röntgenstrahlung, wie sie auf absehbare Zeit nur Elektronen-Speicherringe liefern können. Eine Feldstudie bei DORIS mit etwa 300 Patienten wurde kürzlich abgeschlossen und die Qualität der Aufnahmen wird zur Zeit von unabhängigen Gutachtern beurteilt.

Zeigt diese Studie, dass die Methode in der medizinischen Praxis Anwendung finden soll, so stellt sich die Frage, wie eine entsprechende Speicherringanlage aussehen würde. Die Anlage sollte möglichst kompakt und preiswert sein, aber mindestens so gute Resultate wie NIKOS bei DORIS liefern. Mit dieser Zielsetzung wurde eine detaillierte Studie erstellt, in der eine solche

Anlage mit dem Arbeitsnamen ARI entworfen wurde. Es zeigt sich, dass eine Reduzierung der Energie von 4.5 GeV auf 1.6 GeV möglich ist, wenn gleichzeitig der Strom von 70 mA auf 380 mA und das Wigglerfeld von 1.2 Tesla auf 6 Tesla erhöht werden. Die Qualität der Aufnahmen sollte bei dieser Anlage in jeder Beziehung gleich oder etwas besser sein als bei den bisherigen Aufnahmen bei DORIS. Eine weitere Verbesserung der Bildqualität würde eine Erhöhung der Strahlenbelastung der Patienten bedeuten und verbietet sich aus diesem Grunde.

Der Speicherring speichert bis zu 500 mA Elektronen mit einer Energie pro Teilchen von 1.6 GeV. In zwei supraleitenden Wigglerfeldern wird die Synchrotronstrahlung der erforderlichen Qualität für die zwei Angiographieplätze erzeugt. Die Strahlung des Speicherringes wird abgeschirmt durch die umgebende Betonmauer. Außerhalb dieser Mauer befinden sich die Behandlungszimmer sowie Räume für die Kontrolle der Beschleunigeranlage und der Messplätze, für technische Anlagen, Verwaltung usw. (Abb. 99). Innerhalb des Speicherringes befinden sich die Teilchenquelle und die Vorbeschleuniger. Ein 100 MeV Linac und ein 1.6 GeV Synchrotron erlauben eine schnelle Füllung des Speicherringes bei Sollenergie. In Tabelle 6 wurden die Hauptparameter der Anlage zusammengefasst.

Speicherring ARI		
Strahlenergie	1.6	GeV
Strahlstrom	500	mA
Füllzeit	≈ 1	min
Strahllebensdauer	5	h
Vakuumdruck	$2.5 \cdot 10^{-9}$	mbar
Apertur der elliptischen Kammer: 2w · 2h	56 · 23	mm
Anzahl der Wiggler	2	
Umfang	69.6	m
Umlauf-Frequenz	4.3074	MHz
Harmonischenzahl	116	
horizontale Emittanz	0.0587	mmrad · mm
Kopplung	10	%
momentum compaction	0.0340	
HF-Frequenz	499.65	MHz
Anzahl der Kavitäten	3	
Energieverlust pro Umlauf	214	keV
Umfangsspannung	1.55	MV
HF-Leistung	225	kW
Summe der Synchrotronstrahlungsleistung	107	kW
Anzahl der Dipole (vertikal fokussierend)	16	
Ablenkradius	3.565	m
Anzahl der Quadrupole	36	
Anzahl der Sextupole	12	
Supraleitende Wiggler		
maximales Feld	6	Tesla
Anzahl der Pole (+Anpassung)	7 + 2	
Periodenlänge	120	mm
vertikaler Abstand der Pole	25	mm
Photonenstrahl		
Photonenflussdichte vor dem Patienten	$2.7 \cdot 10^{-11}$	/sec/mm ²
Leistung des Photonen-Strahls bei 500 mA	12.3	kW
Energiebreite	164	eV
Anteil der 3. Harmonischen (99.6 keV)	0.24	%
Intensität am Rand gegenüber Zentrum	91	%

Tabelle 6: Parameter des Speicherringes ARI und der supraleitenden Wiggler.