

TESLA Test Facility und VUV-FEL

Am 17.11.2002 wurde der erfolgreiche Betrieb von TTF1 mit seinen richtungsweisenden Ergebnissen für den VUV-FEL in TESLA Technologie und den XFEL beendet. Im letzten Jahr (2002) wurde die Heliumkälteversorgung des TTF2-Linacs und der TTF2-Testkryostate mit der zentralen DESY-Kälteanlage für HERA verbunden und fertiggestellt. Die Schwerpunkte des Jahres 2003 waren der Abschluss der Konstruktionsarbeiten und die mechanische Fertigung von Beschleunigerkomponenten, gefolgt vom Aufbau des VUV-FEL in TESLA-Technologie. Da das finanzielle Fördervolumen geringer ausfiel, als ursprünglich für 2003 erwartet, musste der Aufbau der Gesamtanlage zeitlich gestreckt werden. Es wurde entschieden, mit höchster Priorität den neuartigen Injektor bis einschließlich der ersten longitudinalen Kompression vollständig aufzubauen und auszurüsten, so dass dieser besonders kritische Abschnitt bereits Anfang 2004 in Betrieb gehen kann. Des Weiteren wurde mit sehr hoher Priorität der Aufbau der Vakuumkomponenten im Tunnel vorangetrieben. Das Vakuumsystem der gesamten Anlage war zum Ende des Berichtszeitraums zu 90% fertiggestellt und eingebaut.

Der VUV-FEL in TESLA-Technologie gliedert sich nach Sektionen auf. Eine schematische Darstellung ist in Abbildung 126 zu sehen. Der Linearbeschleuniger besteht aus dem Injektor mit Hochfrequenz-Elektronenquelle, den Bunch-Kompressoren zur Verkürzung der Elektronenpakete, den supraleitenden Beschleunigungsstrukturen, einem Kollimator, den Undulatoren, dem Bypass und dem Strahlfänger. In der ersten Ausbaustufe sind die Strecken für die Beschleunigungsmodule ACC 6 und 7 mit temporären Strahlführungen bestückt. Innerhalb dieser Abschnitte befinden sich derzeit ein spezieller S-Band Beschleunigerabschnitt aus Kupfer und ein Experiment der Universität Hamburg zur elektrooptischen Abtastung (EOS) des Elektronenstrahls. Beide Aufbauten dienen der Längenmessung der Elektronenpakete. Im hinteren Bereich des Beschleunigers wird ein 30 m langer Undulator-Magnet eingebaut, der in sechs Module aufgeteilt ist. Der Abschnitt zwischen dem Kollimator und dem hinteren Undulator wird zur Zeit durch eine Strahlführung zur Analyse der Elektronenstrahlparameter ersetzt.

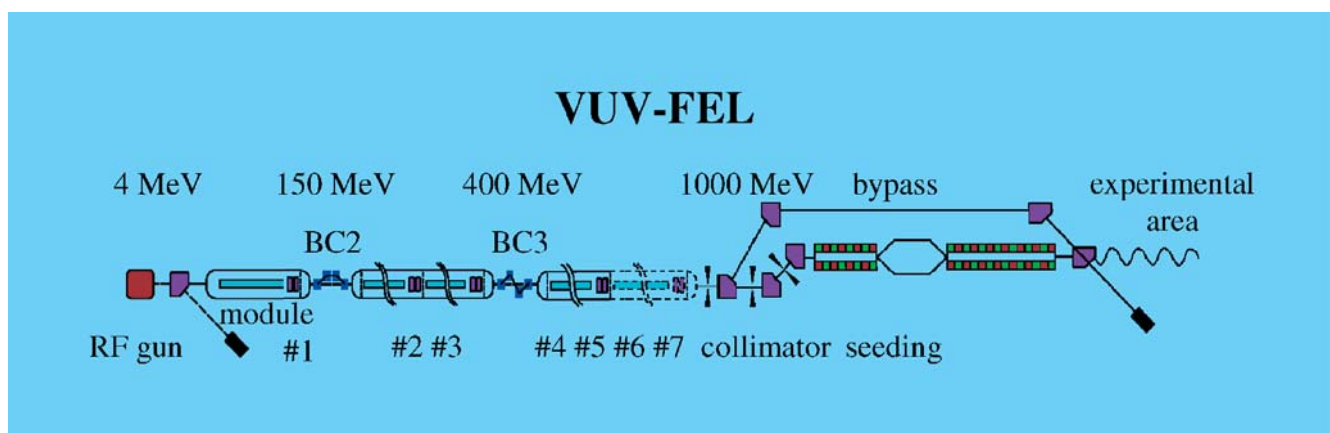


Abbildung 126: Schematische Darstellung des VUV-FEL in seiner Endausbaustufe mit Seeding Sektion.

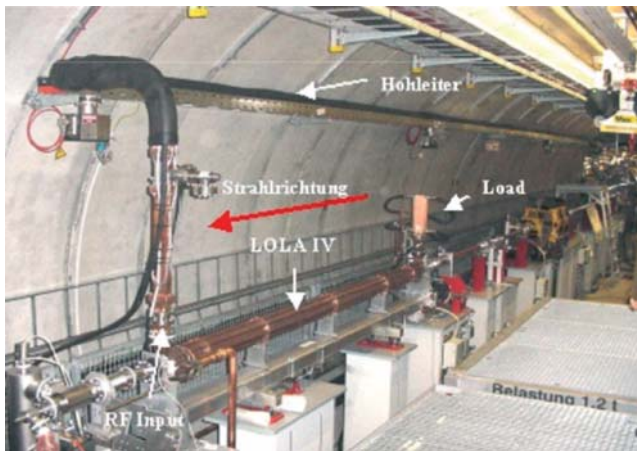


Abbildung 127: Die Hohlleiterstruktur LOLA zur Messung der Länge der Elektronenpakete im TESLA Tunnel.

Bei der erwähnten S-Band-Beschleunigerstruktur (Abb. 127) im Abschnitt ACC 7, dem Projekt LOLA IV, handelt es sich um eine Kollaboration zwischen SLAC und DESY. Der transversal ablenkende HF Resonator (LOLA IV) soll dazu dienen, die Länge der Bunches im TTF-Linac zu messen, die im Bereich von 80 fs bzw. $25 \mu\text{m}$ liegt. Dazu wird der Elektronenstrahl transversal abgelenkt, im Verhältnis der Bunchlänge verbreitert und anschließend mit einem OTR-Schirm aufgenommen, woraus sich die Bunchlänge errechnen läßt. Das Ziel, LOLA IV und die dazugehörige HF-Versorgung im Jahr 2003 betriebsbereit zu installieren und zu konditionieren, wurde erreicht.

Im Frühjahr 2003 trafen die von SLAC gestellten Komponenten bei DESY ein. Dazu zählen u. a. LOLA IV selbst, das Klystron 5045 mit Zubehör, die unbearbeiteten Hohlleiter, drei Hochfrequenz-Koppler, ein HF-Fenster, ein Hohlleiter-Ventil und verschiedene elektronische Komponenten. DESY lieferte den Modulator (PPT), die Lastwiderstände, weiteres elektronisches Zubehör und die nötige Infrastruktur. Als Standort der HF-Versorgung wurde ein Platz in Halle 3 festgelegt. Die Installation der dazugehörigen Komponenten erfolgte in direkter Zusammenarbeit mit SLAC und wurde im September 2003 abgeschlossen. Der Resonator wurde in der Strecke ACC 7 installiert. Daraus ergab sich, dass der benötigte Hohlleiterzug eine Länge von ca. 80 m haben muss. Um bei dieser Länge eine Phasenverschiebung der HF durch Temperaturschwankungen zu verhindern, wurde der komplette Hohlleiter temperaturstabilisiert und isoliert. Ein

weiteres Problem besteht darin, dass LOLA IV und das Klystron 5045 für eine Frequenz von 2856 MHz ausgelegt sind und TTF2 bei 1300 MHz betrieben wird. Deshalb wird an einer Synchronisation gearbeitet, die bis Ende 2004 fertig sein soll. Nachdem die Aufbauarbeiten abgeschlossen waren, wurde im Dezember 2003 damit begonnen, die Anlage zu konditionieren. Um den Betrieb sicherzustellen, soll eine HF-Eingangsleistung in LOLA IV von 20 MW mit einer Pulslänge von $1 \mu\text{s}$ bei einer Frequenz von 1 Hz erreicht werden. Während des Konditionierens wurden Eingangsleistungen von 23 MW (Pulslänge $0,5 \mu\text{s}$) und 18 MW (Pulslänge $1 \mu\text{s}$) erreicht. Diese Leistungen reichen für den Einsatz von LOLA für die Bunchlängenmessung.

Der Ausbau des VUV-FEL hat in Halle 3 und im Tunnel konkrete Formen angenommen. Im ersten Halbjahr 2003 sind die Beschleunigermodule in den Abschnitten ACC 3, 4 und 5 eingebaut und montiert worden. Parallel dazu sind viele Installationsarbeiten abgeschlossen worden. Die Verkabelung der Netzversorgung und das Verteilungssystem für die Wasserversorgung der Magnete sowie die Gaseleitungen wurden für alle Beschleunigerabschnitte installiert. Der Injektorbetrieb wird überwiegend mit den TTF1-Magnetnetzteilen durchgeführt. Für die komplette Inbetriebnahme aller Magnete werden weitere Netzteile im Sommer 2004 nachgerüstet. Die alte TTF1-Infrastruktur, die Verkabelung, die datenerfassende und -verarbeitende Elektronik für das Kontrollsystem und die Netzgeräte für den Injektorbereich wurden den Anforderungen des VUV-FEL angepasst. Alte Kabel wurden entfernt, Netzteile ausgebaut und die Elektronik mit neuer Hardware ergänzt.

Die Unterbauten aus Beton und die Untergestelle der Strahlführung entlang des gesamten Beschleunigers sind aufgemessen und eingebaut worden. Die Bypassstrecke unter dem Tunneldach hat bei den Untergestellen komplizierte Streckenabschnitte im aufsteigenden und absteigenden Ast, die bei der Montage besonders zu berücksichtigen waren. Für das EOS Experiment wurden in die Tunnelwand Durchführungen gebohrt, um die optischen Messsignale in einem Laborcontainer außerhalb des Tunnels auszuwerten. Weitere Kernbohrungen sind am Ende des Tunnels für ein weiteres Experiment (Längenmessung der Elektronenpakete mittels Infrarotspektroskopie) vorgesehen.



Abbildung 128: Die Undulatoren nach dem Einbau in die Tunnelanlage (links) und die Vermessung des Spektrometerbereiches durch die Gruppe MEA (rechts).

Die noch fehlenden Magnete sind bei DESY eingetroffen und erfüllen die Spezifikationen. Zu jedem Magneten gibt es ein Prüfungsprotokoll des Herstellers. Die Eingangskontrolle bei DESY hat jeden Magneten auf dem Messstand elektrisch und mechanisch geprüft. In Stichproben wurden Feldvermessungen vorgenommen. Anschließend wurden alle Magnete, inklusive Undulatoren eingebaut und eingemessen (Abb. 128).

Die mechanische Fertigung der Vakuumkomponenten von TTF2 wurde abgeschlossen. Alle Komponenten wurden bei MVP oder Hasylab im Reinraum UHV-gereinigt und partikelfrei zum Einbau vorbereitet. Der Einbau im Beschleuniger hat mit Hilfe lokaler Reinräume stattgefunden (Abb. 129) Die Beschleunigerabschnitte BC3, temporäre Strahlführung ACC 6, ACC 7, Kollimator und Dumpline konnten fertiggestellt werden.

Die Oberflächenrauigkeit der vier Kupfer-Kollimatoren auf der getaperten Innenseite wurde mittels Elektropolitur verbessert. Wegen der kleinen Bohrungen von 4 mm Durchmesser wirken Störfelder durch raue Oberflächen besonders stark auf die Elektronenpakete. Beim Drahterodieren der Bohrungen wurden wegen zu großer Vortriebsgeschwindigkeiten nur mittlere Rauigkeiten zwischen N7 ($1,6\ \mu\text{m}$) und N8 ($3,2\ \mu\text{m}$) erreicht. Die Elektropolitur reduzierte die Werte auf N6 ($0,8\ \mu\text{m}$) bis N7 ($1,6\ \mu\text{m}$). Das motorgesteuerte Gestell kann in der transversalen Ebene die Kollimatoren in μm -

Schritten bewegen. Die Position der Kollimatoren ist über einen genauen Messgeber oder direkt am Gestell relativ zur idealen Strahlmitte abzulesen. Erste Labor-tests zur Ansteuerung sind erfolgreich abgeschlossen worden.

Zuerst wurden im Herbst ca. 90 m Vakuumsystem der Bypass-Strahlführung unterhalb des Tunneldachs von Kollegen aus Zeuthen und Mitarbeitern der Gruppe MVP (s. Bericht der Gruppe MVP) aufgebaut und angepumpt. Die Probenbeschussanlage, betreut von MVA, wurde im Rahmen dieser Arbeiten eingebaut. Ebenfalls



Abbildung 129: Montage von Vakuumkomponenten unter einem mobilen Reinraumzelt der Klasse 100.

wurde die FEL Photonenstrahlführung zwischen dem Tunnel und der Experimentierhalle, die den PETRA-Tunnel kreuzt, eingebaut und mit der erforderlichen Abschirmung umbaut. Die Abschnitte des Injektors, des aufsteigenden Astes des Bypasses (ca. 20 m), der Undulatorbereich, der Experimentierbereich hinter den Undulatoren und die Photonenbeamline werden im kommenden Jahr fertig montiert sein.

Die Diagnosekomponenten, die besonders hohe Anforderungen an die mechanische Präzision stellen, wie Strahllagemonitore (BPM), OTR-Schirme, Toroide und Wire-Scanner, wurden in aufwändigen Arbeitsschritten zusammengebaut und auf mechanische Toleranzen und elektrische Eigenschaften getestet (s. Bericht der Gruppe MDI). Insbesondere wurde die Position der Strahllagemonitore in den Quadrupolen vermessen. Diese Informationen sind bei den Orbitkorrekturen des Elektronenstrahls von großer Bedeutung.

Im Tunnel wurden die Container installiert, in denen ein Teil der Messelektronik, Magnet-Netzteile, und die Klimageräte für die Undulatoren untergebracht werden. Die Verkabelung und Bestückung hat begonnen und wird im Jahr 2004 abgeschlossen.

Im Kryo-Anbau wurden die 5-MW-Klystrons und Modulatoren für die TESLA-Beschleunigungsmodule aufgebaut. Bis auf das Hohlleitersystem von Modul ACC 1 ist die Hohlleiterverlegung für den gesamten Beschleuniger abgeschlossen. Die HF-Senderanlagen sind für die Module ACC 1–5 betriebsbereit. Die Kopplerkonditionierung bei Raumtemperatur in den Modulen ACC 2 bis ACC 5 hat begonnen und wird Anfang 2004 abgeschlossen sein. Eine Außenansicht der VUV-FEL-Anlage ist in Abbildung 130 zu sehen.



Abbildung 130: Überblick über die TESLA Test-Anlage (TTF) und deren Erweiterung zum VUV-FEL. In der ersten Phase (TTF1) wurden bis zum Beginn 2003 der weltweit erste Freie-Elektronen-Laser (FEL) für Wellenlängen um 100 nm betrieben sowie Tests zur Technologie supraleitender Linearbeschleuniger durchgeführt.