

Freie-Elektronenlaser VUV-FEL

Zum Jahreswechsel wurde die bei PIZ präparierte und konditionierte Kanone im VUV-FEL Tunnel eingebaut. Anschließend folgte im Januar der Einbau des letzten Beschleunigermoduls ACC 1. Das Injektorvakuumsystem wurde nach dem Moduleinbau vervollständigt, sodass im Februar das gesamte Vakuumssystem des Beschleunigers (ca. 360 m), mit Ausnahme des Undulatorabschnittes (30 m) unter Reinraumbedingungen montiert, ausgerichtet und angepumpt worden war. Die filigranen Undulatorkammern wurden erst nach dem Einbau der Undulatormagnete eingesetzt und angeflanscht. In einer mehrwöchigen Messprozedur wurden die mit dem Vakuumssystem mechanisch verbundenen Magnete, Kollimatoren, Strahllagemonitore, OTR-Systeme und Wire-Scanner von der Gruppe MEA eingemessen und justiert. Darüber hinaus war die Verkabelung für den gesamten Beschleuniger auf Grund der großen Anzahl zu verlegender Kabel zeitbestimmend.

Im Tunnelbereich zwischen 110 m und 235 m sind 32 Container vorhanden, wie sie auch Teil des TESLA Tunnelkonzeptes waren. Sie dienen als Laufsteg im Tunnel und bieten gleichzeitig Raum für verschiedene Einbauelemente.

Das TESLA-Tunnelkonzept mit Dockingstation wurde nur für die Magnetnetzteile realisiert. Zusätzlich sind ein Großteil der Ansteuerungselektronik von Diagnosekomponenten sowie Komponenten zur Datenverarbeitung von Messsignalen in Containern untergebracht. Im Bereich des Undulators befindet sich unterhalb des Laufsteges außerdem die Umluftanlage zur Temperaturstabilisierung der Undulatorsegmente. Die Prüfung der technischen Funktionalität der Komponenten in den Containern sowie der zahlreichen elektromechanischen und pneumatischen Antriebe unmittelbar am Strahlrohr konnte zum Teil im Shutdown, zum Teil jedoch nur mit dem Elektronenstrahl während der ersten Betriebsphase vorgenommen werden. Um eine stetige Betreuung und Optimierung der Subsysteme im Tunnel zu

gewährleisten, wurde der Wartungstag beim VUV-FEL eingeführt.

Die Parallelisierung der Arbeiten für den Maschinenbau und die abschnittsweise Inbetriebnahme von Beschleunigerstrecken hatte eine starke Verschachtelung dieser Arbeiten im Zeitplan zur Folge. Die Konditionierung und Inbetriebnahme der Beschleunigungsmodule im kalten Zustand (2 bis 4 Kelvin) war wegen der Sicherheitsbestimmungen nur bei geschlossenem Tunnel durchzuführen. Demzufolge konnten in dieser Zeit keine Arbeiten im Tunnel ausgeführt werden. In der Zeit von Anfang März bis Juni wurden gleichzeitig der Elektronenstrahlbetrieb im Injektor mit dem betriebsbereiten Modul ACC #1 und die HF-Inbetriebnahme der kalten Module ACC #2 bis ACC #5 ohne Strahl vorgenommen. Nach einer weiteren Installationsphase konnte in Übereinstimmung mit dem Zeitplan im September der Strahlbetrieb wieder aufgenommen werden. Zur Optimierung der verschiedenen Elektronenstrahlparameter im vorderen Teil des Beschleunigers wurde im so genannten Bypassbetrieb gearbeitet, bei dem der Strahl durch den Bypass um den Undulator herum zum Strahlfänger geführt wird. Erst bei guten Emittanzen, bei guter longitudinaler Strahlkomprimierung und stabilen, reproduzierbaren Bedingungen aller Strahlparameter soll der Strahl im FEL-Betrieb durch die Undulatoren geführt werden. Dieses Vorgehen hat es erlaubt, die für den FEL-Betrieb erst im Sommer gelieferten Netzteile parallel zum Bypass-Betrieb in Betrieb zu nehmen. Mit dem Ende dieser Arbeiten konnten für den gesamten Beschleuniger die Installation und Inbetriebnahme von Komponenten abgeschlossen werden.

Der Beschleunigerbetrieb mit Elektronenstrahl begann am 17. März. Innerhalb von 5 Wochen konnte der Strahlbetrieb auf den gesamten Injektor ausgedehnt werden. Die Arbeiten dienten der Charakterisierung der Elektronenstrahlparameter und des Dunkelstromes. Für die Erzeugung der freien Elektronen trifft ultra-

violettes Laserlicht auf eine Caesium-Tellurid Photokathode. Da die Kathode sich in einer Hochfrequenz-Beschleunigungsstruktur befindet, muss die Ankunftszeit des Laserlichtes mit der Phase des beschleunigenden Feldes abgestimmt werden. Weiter wurde die Quanten-Effizienz der Kathode vermessen, die ein Maß dafür ist, wie wirkungsvoll freie Elektronen mit Hilfe des Laserlichtes aus dem Kathodenmaterial heraus gelöst werden können. Ebenso wurden die Positionierung des Laserlichtes auf der Kathode und die Übereinstimmung mit der geometrischen Achse des Beschleunigungsmoduls sowie der nachfolgenden Messsysteme ausgemessen und justiert.

Die transversalen und longitudinalen Strahlgrößen wurden in Abhängigkeit von verschiedenen Beschleuniger-einstellungen gemessen. Die Reproduzierbarkeit von Messergebnissen wird dabei im Wesentlichen bestimmt durch die Stabilität des Injektorlasers, der Hochfrequenzsysteme, der Magnetnetzteile und der Diagnoseeinheiten. Hier wurden große Fortschritte auf dem Weg zum FEL-Betrieb gemacht. Die kleinsten transversalen Emittanzen (x, y) sind in guter Übereinstimmung mit den theoretischen Vorhersagen und betragen 1.6 mm mrad. Die longitudinale Komprimierung in den magnetischen Kompressoren zur Verkürzung der Elektronenpaketlänge ist zurzeit noch nicht präzise analysiert worden, erste Ergebnisse deuten aber auch hier auf eine gute Übereinstimmung mit den Vorhersagen hin. Der neue Injektor erreicht somit die vorhergesagten Verbesserungen hinsichtlich Strahlqualität und Stabilität und stellt einen wesentlichen Fortschritt im Vergleich zum ursprünglichen TTF Injektor dar. Ein mit einem Leuchtmonitor gewonnenes Bild des Strahls nach dem ersten Beschleunigungsmodul ist in Abb. 115 zu sehen.

Der FEL-Betriebsmodus startete im Dezember. Das Kollimatorsystem zum Schutz des Undulators, bestehend aus einer transversalen und einer Energiekollimation, wurde mit dem Elektronenstrahl zügig in Betrieb genommen. Um die Effizienz des Kollimatorsystems zu beurteilen, sind verschiedene Strahlverlustmonitore entlang der Undulatoren installiert worden. Sowohl die schnellen und empfindlichen Strahlverlustsensoren als auch die kalibrierten, akkumulierenden und

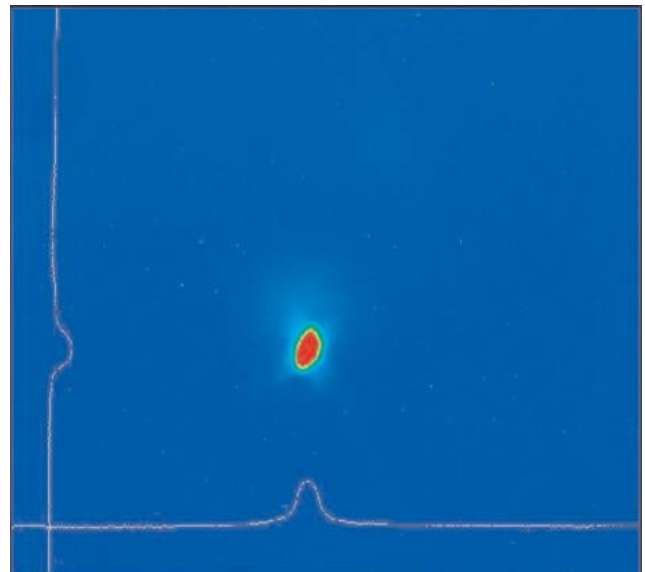


Abbildung 115: Bild des ersten beschleunigten Elektronenstrahlpakets im Injektor, sichtbar auf einem fluoreszierenden Schirm im Strahlrohr.

auf Glasfasertechnik basierenden Sensoren seien hier erwähnt. Letztere sind speziell für den VUV-FEL in Zusammenarbeit mit dem Hahn-Meitner Institut Berlin und der Fraunhofer Gesellschaft Euskirchen entwickelt und in den Undulatoren zur Anwendung gebracht worden. Der Umstand, dass im Undulator kein Raum für konventionelle Verlustmessung und Dosimetrie mit sofortiger Datenauswertung existiert, hat im Laufe der Jahre zur Entwicklung von drei sich ergänzenden Systemen geführt, bei denen unterschiedliche Effekte ausgenutzt werden. Zum einen kann die Trübung des Glasfasermaterials bei der Wechselwirkung mit ionisierender Strahlung als Maß für die akkumulierte Dosis verwendet werden, zum anderen kann das bei der Wechselwirkung entstehende Cerenkov-Licht ausgenutzt werden.

Der Elektronenstrahl passierte im Dezember erstmals den 30 m langen Undulatorabschnitt. Die Messung des ersten Spektrums der spontanen Strahlung war der erfolgreiche Abschluss der Aufbauarbeiten und der Inbetriebnahme der gesamten Maschine mit dem Elektronenstrahl.