

Freie Elektronenlaser VUV-FEL

Nach der Inbetriebnahme des neuen Injektors in der ersten Hälfte 2004 und des gesamten Beschleunigers im Laufe des Jahres 2004 konnte im Berichtszeitraum der Betrieb weiter stabilisiert werden. Mit den installierten fünf supraleitenden Beschleunigungsmodulen kann eine Strahlenergie von etwa 730 MeV erreicht werden.

Am 14. Januar wurde zum ersten Mal FEL-Strahlung bei der Wellenlänge 32 nm erzeugt. Mit diesem außerordentlichen Erfolg startete die Vorbereitung für Experimente mit VUV Laserstrahlung. Starke Evidenz für Sättigung ergab die Messung der zweiten und dritten Harmonischen im Juni. Die dritte Harmonische bei 10.6 nm ist die bisher kürzeste Wellenlänge, die jemals von einem FEL erzeugt wurde.

Das Experimentierprogramm für externe Nutzer begann im Sommer 2005 mit der offiziellen Übergabe des VUV-FEL an die Wissenschaftler durch Bundeskanzler Schröder am 28. Juni. Je nach den Erfordernissen der Experimente wurden zwischen einem und 30 Laserpulsen pro Pulszug mit einer Wiederholrate von 2 Hz, später mit 5 Hz geliefert. Die bevorzugte Wellenlänge war zunächst 32 nm, später wurde der FEL auch bei 45 nm und 25.5 nm betrieben (November 2005).

Bis November war der VUV-FEL 6872 h in Betrieb d.h. 87% der gesamten Zeit. Davon fielen 2272 h auf die Vorbereitung und Durchführung der Nutzerexperimente, 4432 h auf FEL relevante Maschinenstudien und 1168 h auf allgemeine Beschleunigerstudien für XFEL und ILC.

Das gesamte Jahr über wurden viele Komponenten der Maschine weiterentwickelt, insbesondere für die Diagnose des Elektronenstrahls und die Stabilisierung des Betriebes. Die transversalen Eigenschaften des Elektronenstrahls sind gut verstanden. Die Emittanz des

unkomprimierten Strahls, Ladung 1 nC, beträgt 1.4 mmrad in der horizontalen und vertikalen Ebene. Zur Messung wird das transversale Profil mit einem hochauflösenden Kamerasystem an vier verschiedenen Stellen mit speziell entwickelten Schirmen, die den Effekt der Übergangsstrahlung ausnutzen, aufgenommen. Aus der Projektion auf die horizontale und vertikale Ebene

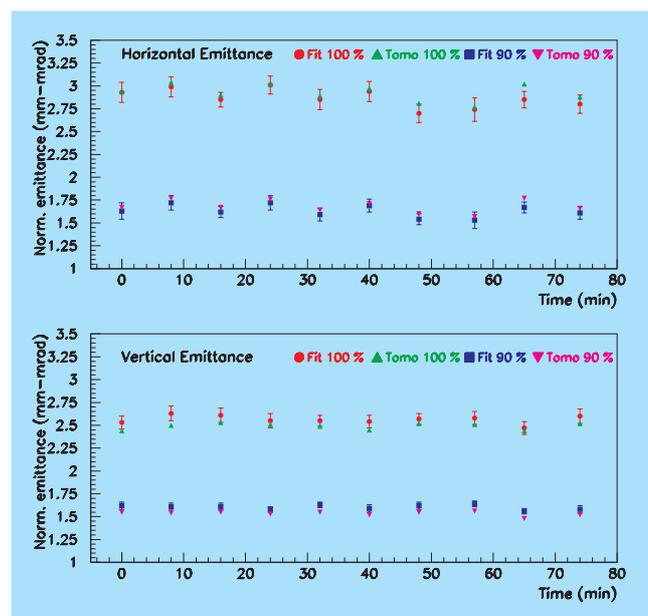


Abbildung 96: *Transversale projizierte Emittanz im Injektor gemessen bei der Ladung 1 nC und der Strahlenergie 127 MeV. Die Messung wurde innerhalb eines Zeitraums von 80 Minuten mehrmals wiederholt. Die gemessene Schwankung beträgt 2 bis 3%, was dem erwarteten statistischen Fehler entspricht. Die Messungen wurden mit zwei verschiedenen Methoden ausgewertet, einem direkten Fit an die Twiss-Parameter und einer tomographischen Auswertung. Zum Vergleich mit Simulationen ist die Auswertung von 90% der Ladung ohne den Strahlhalo geeignet. Die Auswertung des vollen Strahlprofils (100%) ist ebenfalls angegeben.*

berechnet sich die Emittanz mit Hilfe der Strahloptik zwischen den Schirmen.

Abbildung 96 zeigt Messungen der Emittanz, die während 80 Minuten mehrmals wiederholt wurde. Die Schwankung der Messungen entspricht mit 2 bis 3% etwa dem erwarteten statistischen Fehler. Das belegt die hervorragende Stabilität des Strahls innerhalb des Messzeitraums. Der systematische Fehler der Messung beträgt etwa 4%.

Ein weiteres Beispiel für die Weiterentwicklung der Strahldiagnose ist die Messung der Ankunftszeit des beschleunigten Strahls durch die Technik der elektro-optischen Dekodierung. Sie tastet die Wirkung des Elektronenstrahlfeldes auf einen ZnTe Kristall mit ultrakurzen Laserpulsen ab. Abbildung 97 zeigt die gemessene Ankunftszeit in Bezug zu einem RF-Referenzsignal. Die Schwankung der Ankunftszeit beträgt nur 200 fs (rms). Dies zeigt die Stabilität der Strahlenergie und auch der Phasenlage des Photoinjektorlasers. Die Stabilität der Strahlenergie wurde in der dispersiven Sektion des Injektors gemessen und beträgt $2.6 \cdot 10^{-4}$ (rms).

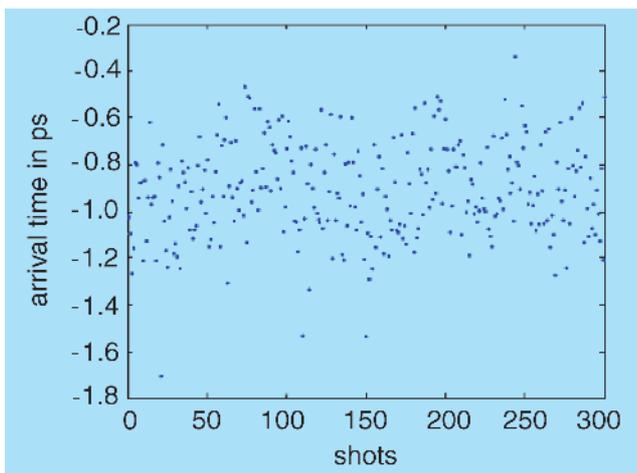


Abbildung 97: Ankunftszeit des Strahls gemessen mit der Technik der elektro-optischen Dekodierung. Die Schwankung ist bemerkenswert klein und beträgt nur 200 fs (rms), was die bemerkenswerte Stabilität der Strahlenergie und der Phase des Photoinjektor-Lasers demonstriert.

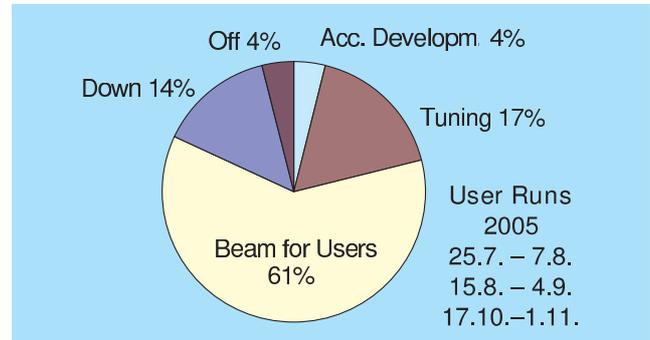


Abbildung 98: Strahlzeit-Statistik für Nutzerexperiment im Juli, August und Oktober 2005. Off bedeutet planmäßige Abschaltung des VUV-FELs für Wartungsperioden.

Trotz der erfreulichen Stabilität in vielen Bereichen wird der Betrieb des VUV-FEL noch von vielen meist äußeren Quellen gestört. Eine Arbeitsgruppe kümmert sich speziell um die Erfassung und Beseitigung von elektro-magnetischen Störungen aller Art. Insbesondere sind Störungen, die auf Magnetnetzgeräte und das HF-System einwirken, für den Betrieb besonders hinderlich. Auch der Betrieb von anderen Beschleunigern hat deutlichen Einfluss auf die Stabilität des Strahlorbits, zum Beispiel Magnetfelder von PETRA insbesondere beim Beschleunigen von Protonen. Ein Kompensationsstromkreis ist bei PETRA installiert und ist ab Januar 2006 betriebsbereit.

Die Ausfallzeit während der Nutzerexperimente von Mai bis November betrug 14% (Abbildung 98). Die Hälfte der Ausfallzeit wurde durch HF-Komponenten verursacht. Hierzu muss angemerkt werden, dass einige Klystrons und Modulatoren Prototypen sind, die am VUV-FEL getestet werden. Während 61% der für Nutzerexperimente geplanten Strahlzeit ist FEL-Strahlung geliefert worden. In etwa 20% der Zeit wurde die Intensität der FEL-Strahlung optimiert. Ziel für 2006 ist es, die Verfügbarkeit für Experimente noch zu erhöhen und die Zuverlässigkeit weiter zu verbessern.

In den Berichten der Gruppen des M-Bereichs finden sich auf den folgenden Seiten zahlreiche Einzeldarstellungen von Weiterentwicklungen am VUV-FEL. Berichte über experimentelle Resultate der Nutzer finden sich im Jahresbericht von Hasylab.