

Aktivitäten in Zeuthen

PITZ

Die Arbeiten am Photo-Injektor-Teststand in Zeuthen im Jahr 2009 waren vor allem durch den Betrieb der Anlage dominiert. Schließlich konnte eine Vielzahl interessanter Ergebnisse erzielt werden, doch zunächst waren mehrere Probleme zu lösen. So zeigte sich z. B. während des Betriebes eine unsymmetrische Elektronenstrahlverteilung. Dieses Problem ließ sich nach einer Reihe von Messungen und Simulationen größtenteils auf magnetisierbare Anbauten und Schrauben zurückführen, die in der Folge abgebaut oder durch nicht-magnetisierbare Komponenten ersetzt wurden. Ein weiteres Hauptproblem war der Transport des Laserstrahls vom Lasersystem auf die Photokathode. Nach verschiedenen Studien konnte neben der Modifikation des transversalen Laserprofils durch Strahlteilerplatten insbesondere der gravierende Einfluss des Vakuuminnenspiegels festgestellt werden. Dieser Spiegel im Vakuumsystem ist die letzte Komponente, die den Laserstrahl auf die Photokathode umlenkt. Tests mit verschiedenen Laserspiegeln von verschiedenen Herstellern zeigten, dass die Qualität der Laserreflexion extrem unterschiedlich ist. Selbst Spiegel des gleichen Herstellers zeigten deutlich unterschiedliche Qualität. Nach dem Austausch des bisher verwendeten Vakuuminnenspiegels gegen den besten vorhandenen Spiegel konnte die Qualität des auf die Photokathode einfallenden Laserstrahls und damit die Elektronenstrahlqualität signifikant verbessert werden.

Ein weiteres wichtiges Problem ist die Hochfrequenzregelung für den Betrieb mit einem Beschleunigungsgradienten an der Photokathode von 60 MV/m. Bisher werden die bei DESY gebauten RF-Guns ohne RF-Pickup gefertigt, so dass die Amplitude und Phase der RF-Welle in der Kavität aus der Messung der ein- und

auslaufenden RF-Welle bestimmt werden muss. Während dies bei FLASH mit Beschleunigungsgradienten an der Photokathode von ca. 40 MV/m gut funktioniert, erfordert die Nichtverfügbarkeit von 10 MW HF-Vakuum-Fenstern die Verwendung eines T-Combiners (Kombination von $2 \times \leq 5$ MW aus den beiden Ausgangsarmen des 10 MW Klystrons) und zweier RF-Richtkoppler außerhalb des Vakuumsystems, um damit den Betrieb bei 60 MV/m zu ermöglichen. Aufgrund der fehlenden RF-Regelung mussten die Messungen im Jahr 2009 mit sehr starken Schwankungen der RF-Phase durchgeführt werden: z. B. wurden für 600 Messungen der RF-Phase Fluktuationen im Bereich von 10 bis 15 Grad Peak-to-Peak oder 2 bis 4 Grad RMS beobachtet. Darüber hinaus wurde auch eine Änderung der RF-Phase über den RF-Puls von etwa 5 Grad über 40 μ s festgestellt.

Im Berichtszeitraum wurde das Photokathodenlasersystem weiter ausgebaut, um Laserpulse mit flachem Pulsdach mit bis zu 24 ps FWHM zu erzeugen. Auch wurde eine Reihe von Untersuchungen unter Verwendung verschiedener Lyotfilter durchgeführt, um hochfrequente Fluktuationen auf dem flachen Pulsdach zu unterdrücken. Darüber hinaus wurde die Bedienbarkeit verbessert und die Laserstrahl Diagnose ausgebaut.

Im Jahr 2009 wurde auch das Verfahren zur Messung der transversalen projizierten Emittanz weiter verbessert. Insbesondere wurde die Messzeit signifikant reduziert. Aufgrund der großen Instabilität der RF-Phase hat diese Beschleunigung der Datennahme den wichtigen Effekt, die Vermischung der Phasenräume für verschiedene RF-Phasen innerhalb einer Messung zu reduzieren. Aufgrund der reduzierten Messzeit kann auch eine größere Statistik an Messungen gewonnen werden, und die neue Datennahmesoftware erlaubt es unmittelbar nach der Datennahme die Datenqualität

(Signal/Untergrund-Verhältnis, Sättigung des Signals) abzuschätzen und ggf. die Messung schnell mit einer größeren oder kleineren Anzahl von Photokathodenlaserpulsen zu wiederholen. Auch die Methode zur Bestimmung der Emittanz wurde überarbeitet und trotz konservativer Abschätzung konnte bei PITZ erstmals gezeigt werden, dass man die Zielparame-ter des European XFEL erreichen kann.

Die beste Messung der transversalen projizierten Emittanz für eine Elektronenpaketladung von 1 nC ergab in 4 aufeinander folgenden Messungen im geometrischen Mittel der beiden transversalen Ebenen (x und y) und im statistischen Mittel der Messungen für 100% der gemessenen Ladung

$$\epsilon_{xy}(100\%) = (0.886 \pm 0.011) \text{ mm mrad.}$$

Wenn nur z. B. 10% der Ladung in den Ausläufern des transversalen Phasenraums entfernt werden, die wahrscheinlich nicht zum Lasing-Prozess des XFEL beitragen werden, dann verringert sich die Emittanz sogar auf

$$\epsilon_{xy}(90\%) = (0.681 \pm 0.010) \text{ mm mrad.}$$

Beide Werte liegen unter der Zielvorgabe von 0.9 mm mrad für die projizierte Emittanz im Injektor des European XFEL.

Auch bei kleineren Ladungen wurden ausgezeichnete Emittanz-Ergebnisse erzielt. Diese sind in Abbildung 41 zusammengefasst.

Festgelegt durch den Termin zur Bereitstellung der Gun 4.2 für FLASH begann am 19. Oktober 2009 der nächste große PITZ-Shutdown. Am 16. Dezember erfolgte der Transport der Gun 4.2 von Zeuthen nach Hamburg. Im Januar 2010 soll sie in FLASH eingebaut werden.

Als Austausch für die an FLASH gelieferte Gun wird in Zeuthen die Gun 4.1 installiert. Diese ist baugleich zu Gun 4.2 und mit Trockeneis gereinigt worden. Es wird sich nun experimentell zeigen, ob man erneut einen geringen Dunkelstrom messen wird, wie das bereits bei Gun 4.2 der Fall war. Eine entscheidende Ände-

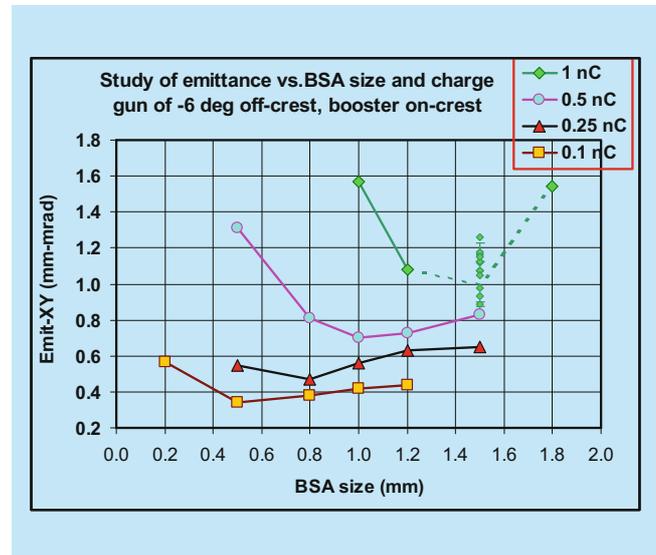


Abbildung 41: Die projizierte Emittanz als Funktion der Laserspotgröße auf der Photokathode für verschiedene Elektronenpaketladungen. Dargestellt sind die 100%-RMS-Messwerte. Die 90%-RMS-Messwerte liegen um ca. 20–25% niedriger.

rung gegenüber Gun 4.2 besteht bei Gun 4.1 darin, dass in das Vakuumzwischenstück zwischen T-Combiner und koaxialem RF-Koppler nun ein 10 MW Vakuum-Richtkoppler integriert ist. Dies ist ein weltweit einmaliger Prototyp der, falls er technisch funktioniert, erstmals eine RF-Regelung bei 60 MV/m im gleichen Stil ermöglichen sollte, wie diese bei FLASH für 40 MV/m realisiert ist. Mit dieser Änderung lassen sich im Jahr 2010 noch weitere Verbesserungen der Strahlqualität erwarten. Zum Jahresende 2009 war die neue Gun 4.1 bereits im PITZ-Tunnel eingebaut, mit Heißdampf ausgeheizt und zeigte sehr gutes Vakuum.

Aufgrund technischer Probleme bei der Fertigung hat sich die Lieferung des CDS-Booster über das Jahr 2009 hinaus weiter verzögert. Es ist geplant ihn im Februar 2010 nach Zeuthen zu transportieren, dort auszuheizen und dann anschließend bei PITZ einzubauen.

Die dritte große Komponente, die im Shutdown (2009/2010) eingebaut werden wird, ist das Phasenraum-Tomographiemodul.

FLASH

Schnelle Spiegelkammer für FLASH

Das bei FLASH erzeugte Laserlicht im Wellenlängenbereich von 6 nm bis 30 nm wird mit Hilfe verschiedener Spiegel, die in der Experimentierhalle von FLASH aufgestellt sind, auf die einzelnen Experimente verteilt. Soll nach Tagen oder Wochen eine andere Messstation bestrahlt werden, so ist eine zeitaufwendige Prozedur zur Einstellung der Siliziumspiegel nötig. Da viele Experimente auch mit einer niedrigeren Zugfrequenz als 10 Hz des Strahls zufrieden wären, wurde eine sogenannte *Schnelle Spiegelkammer* konzipiert (Abbildung 42).

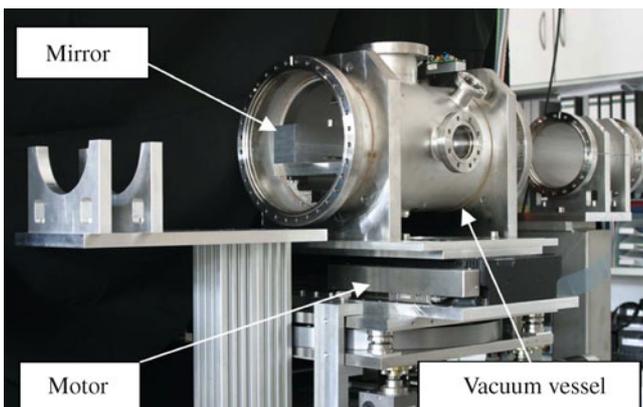


Abbildung 42: *Vakuumkammer mit Spiegel; zur besseren Anschauung wurden die Bälge und Flansche entfernt.*

Hierbei wird die gesamte Vakuumkammer mit innerem Spiegel bis zu 2.5 Hz mit einem Hub von 30 mm periodisch bewegt.

Die eigentliche Herausforderung liegt in der hochpräzisen Steuerung der Spiegelbewegung. Der Endpunkt, an dem der Strahl um insgesamt sechs Grad abgelenkt wird, muss zeitlich und örtlich genauestens getroffen werden. In Abbildung 43 wird die Genauigkeit der Endposition beschrieben, die unter einem μm gehalten werden kann.

Nachdem unter realistischen Bedingungen im Labor die erforderlichen Genauigkeiten der Spiegellage erreicht

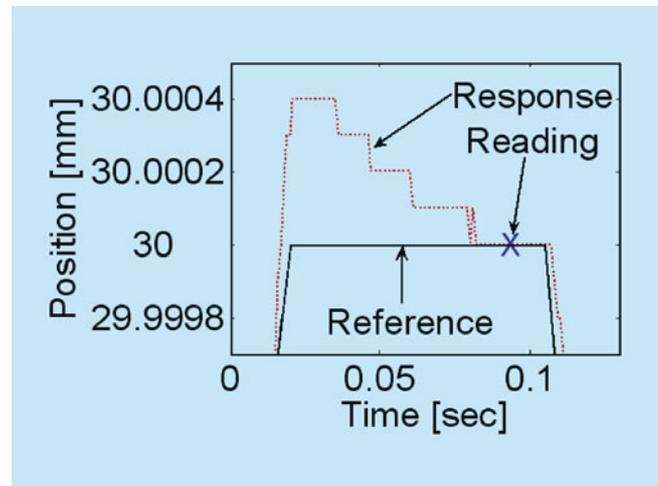


Abbildung 43: *Fehler der Endlage des Spiegels.*

wurden, wird im Januar 2010 die Schnelle Spiegelkammer am Beschleuniger FLASH eingebaut.

Bestimmung der Strahlparameter mit einem Ionisation Profile Monitor

Die genaue Kenntnis der Strahlage und des Strahlprofils ist eine grundlegende Forderung, die an einem Beschleuniger entlang der gesamten Strahlführung erfüllt werden muss. Mit einem Ionisation Profile Monitor (IPM) ist eine mögliche Detektorvariante, die zu realisieren. Das Grundprinzip dieses Detektors basiert auf der durch den Teilchenstrahl erfolgten Ionisation des Restgases, das sich auch im Ultrahochvakuum der Strahlröhre befindet. Die dabei entstehenden Ionen werden in einem homogenen elektrischen Feld seitlich auf eine Mikrokanalplatte beschleunigt. Das Abbild des Strahls auf dem Phosphorschirm der Mikrokanalplatte wird mit einer CCD Kamera aufgenommen, in einen Rechner eingelesen und weiter ausgewertet. Auf diese Weise gestattet der IPM die Messung der Strahlparameter ohne Beeinflussung des Strahls und somit eine Optimierung bzw. Anpassung der Maschinenparameter im laufenden Betrieb. Dies wurde am Beschleuniger FLASH in Hamburg erfolgreich getestet. Am Teststand PITZ soll ein IPM im Jahre 2010



Abbildung 44: *Hubtisch mit Ionisation Profile Monitor.*

eingebaut werden. Hierfür war eine modifizierte Konstruktion erforderlich. Es wurde mit einem speziellen Programmpaket der elektrische Feldverlauf berechnet, um optimale Feldverteilungen zu erreichen. Um verschiedenen Strahlpositionen zu simulieren, soll der IPM in einer eigens dafür konstruierten Hubvorrichtung (Abbildung 44) installiert werden.

Die hohe Verstellgenauigkeit von besser als ein μm gestattet es, durch eine vertikale Variation der Detektorlage bei fixiertem Elektronenstrahl einer Elektronenröhre die Relation *Ort des Strahls* gegen *Abbildung des Strahls* auf der Multikanalplatte zu bestimmen.

Test eines UHV tauglichen Motors

Es wurde ein neuartiger, UHV (Ultra-Hoch-Vakuum) tauglicher Linearmotor getestet. Beim Einsatz derartiger Motoren werden der Motor und andere bewegliche Teile im Vakuum aufgebaut. Die Wartungsintervalle verlängern sich dadurch um ein Vielfaches. So muss der Motor nur alle 22 000 Betriebsstunden gewechselt werden. Bei der herkömmlichen Technik werden Bewegungen mittels Wellbälgen in den Vakuumbereich

übertragen, daher muss der Balg alle 500 000 Hübe (ca. 140 Stunden bei 1 Hz) gewechselt werden. Die Ergebnisse der Versuche waren positiv. Sie haben gezeigt, dass es prinzipiell möglich ist, mit entsprechendem technischem Aufwand konstante, hohe Geschwindigkeiten zu erreichen.

Modulator Test Facility (MTF)

Nach der Verlegung HV-Pulskabels ($4 \times 627 \text{ m}$) und der erfolgreichen Installation des Modulators Ende 2008 begannen umfangreiche Testarbeiten, wobei unter anderem das Zusammenspiel von THOMSON Modulator und 5 MW Klystron untersucht wurde.

Im Juli wurden die Tests mit dem 5 MW Klystron abgeschlossen, im Oktober erfolgte der Umbau der Testanlage für den Betrieb mit dem 10 MW Klystron (siehe Abbildung 45).

Die Untersuchungen zum Betrieb des THOMSON Modulators mit einem 5 MW Klystron haben gezeigt, dass:

1. der von Thomson Multimedia entwickelte und gebaute Prototyp erfüllt die geforderte Spezifikation bei 5-MW-Ausgangsleistung bis zu einer Pulsrate von 10 Hz.
2. der Modulator-Prototyp funktioniert auch bei angeschlossenem Pulskabel von 675 m Länge (XFEL-Setup) im Rahmen der Spezifikation



Abbildung 45: *Umsetzen des THOMSON Modulators zur Vorbereitung der Tests mit dem 10 MW Klystron.*

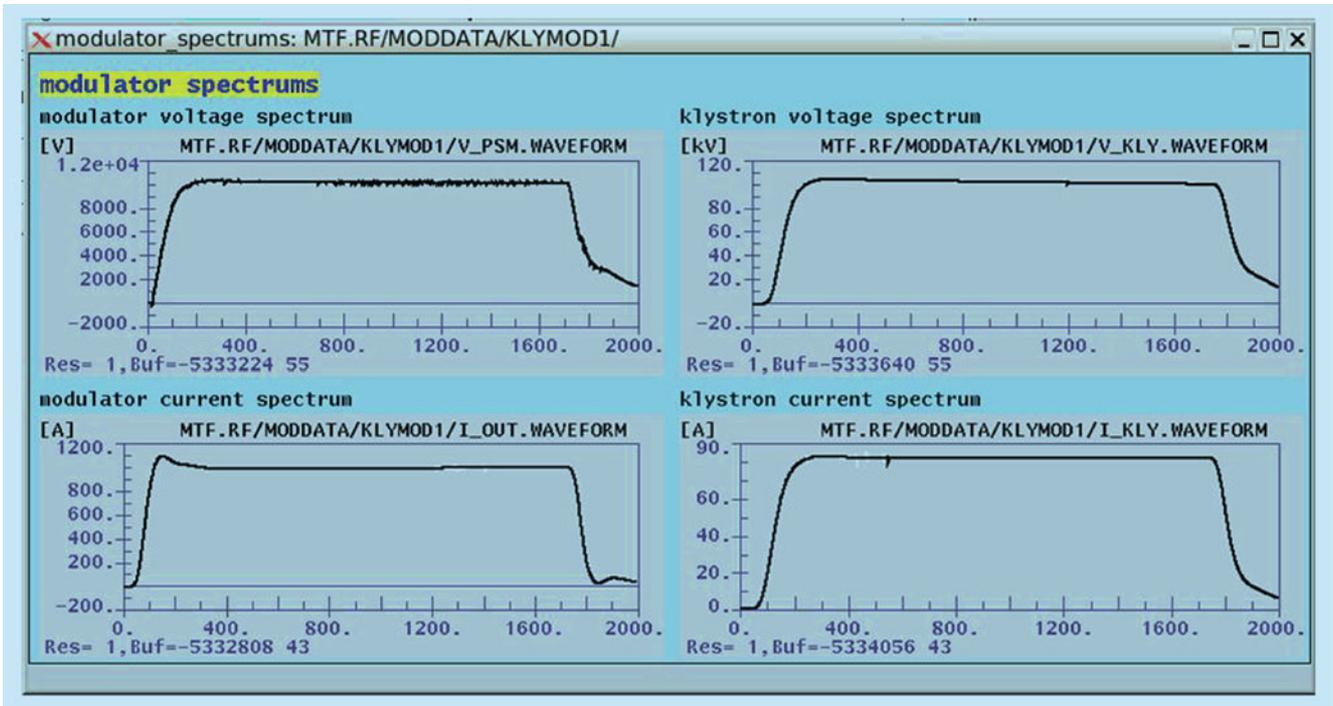


Abbildung 46: Messergebnisse mit einem 5 MW Klystron.

3. die *Flatness* der Strom- und Spannungspulse (gemessen an der Kathode des angeschlossenen Klystrons) ist besser als $\pm 0.3\%$ und erfüllt damit ebenfalls die Spezifikation. Da die Phase des im Klystron verstärkten HF-Pulses von der Genauigkeit der Hochspannung am Klystron abhängt,

ist die Einhaltung dieses Parameters besonders wichtig.

Nach Umbau des Teststandes müssen im Jahre 2010 alle diese Messungen bei 10 MW Pulsleistung und bei einer Pulsrate bis 30 Hz wiederholt werden.