

Sachbericht 2004 für das gemeinsame Forschungszentrum VH-FZ-005 „Elektronenquellen für den TESLA-Röntgenlaser und Linear Collider

Bei DESY werden Elektronenstrahlen mit höchster Strahlqualität für den XFEL wie auch für den VUV-FEL benötigt. DESY erarbeitet deshalb gemeinsam mit seinen Partnerinstituten ein Entwicklungsprogramm im Bereich der Hochfrequenzelektronenquellen mit dem Ziel einer Optimierung der Strahlqualität und der Betriebsparameter. Zur Erreichung dieser Ziele sind neben einer Weiterentwicklung im Bereich der Simulationsrechnungen und theoretischer Ansätze insbesondere qualitativ hochwertige Messungen der Strahlemittanz unabdingbar.

Bei DESY in Zeuthen wurde in einer ersten Betriebsphase zwischen 1999-2003 ein Photoinjektor-Teststand aufgebaut, der eine moderne lasergetriebene Elektronenquelle besitzt und die Erzeugung von Elektronenstrahlen höchster Strahlqualität erlaubt [1, 2, 3]. Ultraviolettes Laserlicht wird in einen Hohlraumresonator eingekoppelt und erzeugt mittels Photoeffekt Elektronen auf einer Photokathode. Die Elektronen werden in dem Hohlraumresonator durch ein hochfrequentes elektromagnetisches Feld prompt beschleunigt. Die Eigenschaften des so erzeugten Elektronenstrahls werden dann beim Durchgang durch die Strahldiagnosesektion vermessen. Für eine zweiten Betriebsphase (PITZ II) wird der Photoinjektor-Teststand ausgebaut [4, 5, 6]: Mit der Booster-Kavität wird neben der Verbesserung der Emittanz erstmals auch das Konservierungsprinzip der Strahlgüte bei PITZ nachgewiesen werden können. Eine besondere Herausforderung stellt die Forderung hoher Gradienten (60 MV/m) bei langen Pulslängen (650 μ s) und hohen Frequenzen (30 Hz) dar, insbesondere hinsichtlich der Temperaturbildung an der Hochfrequenzkanone (bis zu 170 Grad Celsius) [4]. Aspekte wie Dunkelstrom und Lebensdauer der Kathode, etc. spielen dabei eine besondere Rolle [7]. Voraussetzungen für diese Untersuchungen werden mit dem Aufbau des 10 MW Klystrons geschaffen; erste Ergebnisse zur Funktion dieses Klystrons werden im Sommer 2005 erwartet. Der vom Max-Born-Institut produzierte Laser, der aufgrund seiner langen Pulszüge weltweit einmalig ist, bildet eine weitere Voraussetzung für die Produktion kleinster Strahlemittanzen bei großer Ladung [8, 9, 10].

Innerhalb des gemeinsamen Forschungszentrums „Elektronenquellen für den TESLA-Röntgenlaser und Linear Collider“ - bestehend aus DESY, der Technischen Universität Darmstadt, der Humboldt Universität zu Berlin sowie der Universität Hamburg - wird ein vielfältiges Experimentierprogramm an dem Photoinjektor-Teststand in Zeuthen ermöglicht, das neben den Simulationsrechnungen eine Vertiefung der Verständnisses und somit eine Verbesserung der Strahlerzeugung des Photoinjektors erlaubt: Die Forschungsschwerpunkte des Gemeinsamen Forschungszentrums VH-FZ-005 liegen auf dem Betrieb und Optimierung von Elektronenquellen, der Simulation von Beschleunigungssektionen und neuen Diagnoseelementen, der Instrumentierung der neuen Beschleunigersektion bei PITZ II und schließlich der Entwicklung, dem Bau und dem Test von neuen Strahldiagnoseelementen. Innerhalb dieses Projektes übernimmt DESY die Grundkonzeption und den Betrieb der Anlage, sowie die Bereitstellung aller nicht von den beteiligten Hochschulen oder anderer Kollaboranten aufzubauenden Komponenten. Der Schwerpunkt der Arbeiten der Gruppe Theorie Elektromagnetischer Felder (TEMF) der Technischen Universität Darmstadt (TUD) besteht in der Modellierung und Simulation von elektromagnetischen Phänomenen durch die numerische Lösung der Maxwell Gleichungen. Die Arbeit erstreckt sich auf alle Bereiche der Simulation, von der Entwicklung numerischer Algorithmen über die graphische Repräsentation bis hin zur konkreten Anwendung. Die Beschleunigerphysikgruppe der Universität Hamburg (UHR) sieht im Rahmen des gemeinsamen Forschungszentrums konzeptionelle Arbeiten zur neuen Beschleunigungs- und Diagnosesektion vor. Dabei wird es vor allem um hochauflösende Phasenraumtomografie gehen, bei der Methoden, die an dem

VUV-FEL in Hamburg entwickelt wurden, auf die Verhältnisse bei PITZ zu übertragen sind. Ein Schwerpunkt der Untersuchung wird die Korrelation der Elektronenverteilung mit der transversalen und longitudinalen Verteilung innerhalb des Laserpulses auf der Kathode darstellen. Die Arbeitsgruppe „Experimentelle Elementarteilchenphysik II“ der Humboldt Universität zu Berlin (HUB) verlegt ihren Schwerpunkt der Forschung auf die Vermessung des longitudinalen Phasenraumes bei PITZ II.

Bei DESY konnten durch Verzögerungen bei der Konstruktion einiger Komponenten in 2004 nur kleinere Anschaffungen getätigt werden. Inzwischen sind aber die Konstruktionsarbeiten gut voran geschritten. Trotz intensiver Ausschreibungen war es sowohl für die Humboldt-Universität zu Berlin als auch die Universität Hamburg sehr schwierig, exzellente Kandidaten für die geplanten Personalstellen zu finden. Die Doktorandenstelle bei der Humboldt-Universität zu Berlin wurde schließlich im Dezember 2004 besetzt, die bereits im März 2004 bei der Universität Hamburg identifizierte Idealbesetzung konnte die Doktorandenstelle aber erst zu Beginn des Jahres 2005 antreten. Trotz dieses verzögerten Starts entwickelt sich aber auch hier die Projektabwicklung dieser beiden Arbeitspakete innerhalb des Projekts VH-FZ-005 Jahres sehr erfolgreich. Im Jahr 2004 wurden bei TEMF Strahldynamiksimulationen für den Photoinjektor-Teststand in Zeuthen durchgeführt. Besonderes Augenmerk lag dabei in der Berücksichtigung der eingesetzten Bauteile mit den tatsächlich vorliegenden Materialien und Abmessungen. Dadurch lassen sich sowohl die extern eingepprägten als auch die durch Teilchenpakete hervorgerufenen elektromagnetischen Felder in die Simulation einbeziehen. Beispiele sind elektrostatisch geladene Laserspiegel im Strahlrohr, Streufeldrechnungen beim Durchgang des Strahls durch den Hochfrequenzresonator oder verschiedene (potentielle) Varianten des Diagnosekreuzes. Zukünftig sollen derartige Berechnungen fortgeführt und die verwendeten Simulationstools den steigenden Anforderungen entsprechend angepasst werden. Gegenwärtig anvisiert ist ein Übergang auf 64Bit-Maschinen, die eine viel versprechende Aussicht auf eine wirklichkeitsnähere Simulation der Vorgänge in der Elektronenkanone bereitstellen.

Publikation in 2004 im Rahmen der Kooperation am Photoinjektor-Teststand bei DESY in Zeuthen:

[1] D.Lipka, "Investigations about the longitudinal phase space at a photo injector for minimized emittance", Dissertation, Humboldt Universität zu Berlin 2004.

[2] A.Oppelt et al., "The photo injector test facility at DESY Zeuthen: results of the first phase", Proceedings, XXII International Linear Accelerator Conference Lübeck, Germany, August 16 – 20, 2004.

[3] V. Miltchev et al., "Transverse emittance measurements at the photo injector test facility at DESY Zeuthen", Proceedings, 26th International Free Electron Laser Conference & 11 th FEL Users Workshop, Trieste, Italy, August 29 – September 3, 2004.

[4] J. Bähr et al., "High power RF conditioning and measurement of longitudinal emittance at PITZ", Proceedings, 26th International Free Electron Laser Conference & 11 th FEL Users Workshop, Trieste, Italy, August 29 – September 3, 2004.

[5] F. Stephan et al., "Recent results and perspectives of the low emittance photo injector at PITZ", Proceedings, 26th International Free Electron Laser Conference & 11 th FEL Users Workshop, Trieste, Italy, August 29 – September 3, 2004.

- [6] M. Krassilnikov et al., "Optimizing the PITZ electron source for the VUV-FEL", Proceedings, EPAC 2004, July 5-9, Lucerne, Switzerland, 2004.
- [7] Jang-Hui Han et al., "Conditioning and high power test of the rf guns at PITZ", Proceedings, EPAC 2004, July 5-9, Lucerne, Switzerland, 2004.
- [8] M. Krassilnikov et al., "Experimental Characterization and Numerical Simulations of the Electron Source at PITZ", Proceedings, 8th International Computational Accelerator Physics Conference, Saint-Petersburg State University, Russia, June 29, July 2, 2004.
- [9] M. Krassilnikov, "Space charge algorithm for the Multi Ensemble Model", Proceedings, 8th International Computational Accelerator Physics Conference, Saint-Petersburg State University, Russia, June 29, July 2, 2004.
- [10] Jang-Hui Han et al., "Secondary electron emission in a photocathode rf gun", Phys. Rev. ST AB, APS Journals, 2004.