

Universität  
Rostock



Traditio et Innovatio

Investigation and Development of a Transverse Deflecting  
Structure: A Beam Separator for ELBE

DISSERTATION

to attain the academic degree of  
Doctor of Engineering (Dr.-Ing.)  
from the Faculty of Computer Science and Electrical Engineering  
at the University of Rostock

Submitted by  
Gowrishankar Thalagavadi Hallilingaiah,  
born on 29.09.1985 in Maddur, India  
from Dresden, Germany

Dresden, 30 November 2022

## ABSTRACT

The linear electron accelerator, ELBE (Electron Linac for beams with high Brilliance and low Emittance) at Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf, Dresden, Germany, is a versatile machine that drives six distinct secondary particle and radiation sources used in a wide range of experiments related to health, matter, transmutation, and accelerator development. The accelerator can efficiently handle 1 mA beam current at a 13 MHz bunch repetition rate in continuous-wave mode with a maximum beam energy of 40 MeV. Currently, it is not possible to simultaneously operate more than one ELBE secondary source. In this work, a suitable beam separator device for ELBE was developed to overcome the limitation of single beamline operation. The developed kicker can distribute the bunches from the existing single beam into two or more beamlines, which will enable the simultaneous operation of multiple downstream secondary sources, significantly enhancing the accelerator's capabilities.

The state-of-the-art transverse deflecting structures suitable for beam separation were reviewed. Subsequently, pulsed magnet, stripline kicker, and radio-frequency (RF) cavity designs were adapted for the current requirements, and RF cavities were found suitable. Furthermore, the cavity operating frequency was set to 273 MHz, reducing both the differential kick voltage error and projected emittance growth and providing a better field homogeneity. The cavity can be easily integrated into the ELBE's existing low-level RF control system. Six deflecting cavity designs were shortlisted, and the cavity geometries were scaled and adapted to match the requirements. Then, a cavity design was selected based on lower power loss, peak electric field and surface power loss density, as well as better field homogeneity.

Subsequent to the cavity design, the cavity components were adapted from the existing designs. Next, beam loading and multipacting in the cavity were analyzed, and the effect of higher-order modes on the cavity was studied. A multiphysics analysis was carried out to aid in the engineering design of the cavity. Thereafter, the copper cavity parts were machined, and the cavity frequency was pre-tuned before the final vacuum brazing was performed.

Finally, RF measurements were performed to validate the simulation. A thorough investigation was carried out to determine the cause of the low intrinsic quality factor of the cavity. Consequently, the quality factor was improved by eliminating the RF filter present at the vacuum port. A bead-pull measurement setup was built, and the measured field profiles matched the simulation results. Further, the cavity was driven up to 1 kW using the modified pick-up antenna, and eventually, the vacuum conditioning of the cavity was accomplished. The cavity's performance meets the design requirements and is ready to be installed in the beamline for further testing.

## Zusammenfassung

Der lineare Elektronenbeschleuniger ELBE (Electron Linac for beams with high Brilliance and low Emittance) am Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf, Dresden, Deutschland, ist eine vielseitige Maschine, welche sechs verschiedene sekundäre Teilchen- und Strahlungsquellen antreibt, die in einer Vielzahl von Experimenten im Zusammenhang mit Gesundheit, Materie, Transmutation und Beschleunigerentwicklung eingesetzt werden. Der Beschleuniger ist in der Lage, einen Strahlstrom von 1 mA bei einer Wiederholfrequenz von 13 MHz im Dauerstrichbetrieb mit einer maximalen Strahlenergie von 40 MeV effizient zu verarbeiten. Derzeit ist es nicht möglich, mehr als eine ELBE-Sekundärquelle gleichzeitig zu betreiben. In dieser Arbeit wurde ein geeigneter Strahlseparator für ELBE entwickelt, um die Beschränkung des Betriebs an einer einzelnen Beamline zu überwinden. Der entwickelte Kicker kann die Strahlenbündel des vorhandenen Einzelstrahls auf zwei oder mehr Strahlführungen verteilen, was den gleichzeitigen Betrieb mehrerer nachgeschalteter Sekundärquellen ermöglicht und damit die Leistungsfähigkeit des Beschleunigers erheblich steigert.

Die für die Strahlseparation geeigneten transversalen Ablenkstrukturen wurden nach dem Stand der Technik untersucht. Anschließend wurden gepulste Magnet, Stripline-Kicker und Hochfrequenz (HF) Resonatoren an die aktuellen Anforderungen angepasst, wobei sich die HF-Resonatoren als geeignet erwiesen. Darüber hinaus wurde die Betriebsfrequenz auf 273 MHz festgelegt, wodurch sowohl der Fehler der differentiellen Kick-Spannung, als auch das projizierte Emittanzwachstum reduziert und eine bessere Feldhomogenität erreicht wurde. Die Kavität kann problemlos in das bestehende Low-Level-HF-Steuerungssystem des ELBE integriert werden. Sechs Ablenkresonatoren wurden in die engere Wahl gezogen und die Resonatorgeometrien wurden entsprechend den Anforderungen skaliert und angepasst. Anschließend wurde ein Resonator-Design ausgewählt, das sich durch eine geringere Verlustleistung, ein geringeres elektrisches Spitzenfeld, eine höhere Verlustleistungsdichte an der Oberfläche und eine bessere Feldhomogenität auszeichnet.

Im Anschluss an das Hohlraumdesign wurden die Komponenten des Resonators an die vorhandenen Designs angepasst. Anschließend wurden die Strahlenbelastung und die Mehrfachverdichtung in der Kavität analysiert und die Auswirkungen von Moden höherer Ordnung auf die Kavität untersucht. Eine Multiphysik-Analyse wurde durchgeführt, um die technische Auslegung des Resonators zu unterstützen. Danach wurden die Kupferhohlraumteile bearbeitet und die Resonanzfrequenz wurde vor dem abschließenden Vakuumlöten abgestimmt.

Schließlich wurden HF-Messungen durchgeführt, um die Simulation zu validieren. Es wurde eine gründliche Untersuchung durchgeführt, um die Ursache für den niedrigen Eigengütefaktor des

Hohlraums zu ermitteln. Daraufhin wurde der Qualitätsfaktor durch Beseitigung des HF-Filters am Vakuumanschluss verbessert. Ein Bead-Pull-Messaufbau wurde gebaut und die gemessenen Feldprofile stimmten mit den Simulationsergebnissen überein. Außerdem wurde der Hohlraum mit der modifizierten Pick-up-Antenne bis zu 1 kW betrieben, und schließlich wurde die Vakuumkonditionierung des Hohlraums durchgeführt. Die Leistung der Kavität entspricht den Konstruktionsanforderungen und ist bereit für weitere Tests in die Beamline eingebaut zu werden.