

Kurzfassung der Dissertation

Name des Kandidaten: Andreas Schlögelhofer
Namen der Prüfer: Michael Benedikt, Anke-Susanne Müller, Carsten Welsch
Titel der Dissertation: Non-invasive Beam Diagnostic Development for FCC using Cherenkov Diffraction Radiation in Dielectric Materials

Čerenkov-Diffraktionsstrahlung bezeichnet die Emission von elektromagnetischer Strahlung, wenn sich ein geladenes Teilchen in der Nähe von dielektrischer Materie bewegt und die Geschwindigkeit des Teilchens größer ist, als die Phasengeschwindigkeit der elektromagnetischen Strahlung im Dielektrikum. Im Gegensatz zur besser bekannten Čerenkov-Strahlung beschreibt Čerenkov-Diffraktionsstrahlung eine nichtinvasive Methode der Strahlungserzeugung, da sich das geladene Teilchen nicht direkt durch das Dielektrikum bewegt. Das macht Čerenkov-Diffraktionsstrahlung zu einem vielversprechenden Strahlungsmechanismus für die Strahldiagnostik, besonders in Kreisbeschleunigern mit hohen Strahlintensitäten beziehungsweise, wenn es erforderlich ist, die Emittanz des Teilchenstrahls zu erhalten. Čerenkov-Diffraktionsstrahlung besitzt überdies weitere vorteilhafte Eigenschaften für die Anwendung in der Strahldiagnostik, wie ein breitbandiges Emissionsspektrum, die Möglichkeit große Emissionswinkel relativ zur Teilchenbahn zu realisieren und eine vergleichsweise hohe Lichtausbeute, die mit der Ausdehnung des Dielektrikums in longitudinaler Richtung in Bezug auf die Teilchenbahn skaliert. Darüber hinaus erleichtert der kleine Formfaktor von Radiatoren für Čerenkov-Diffraktionsstrahlung deren Implementierung und reduziert gleichzeitig die Komplexität des finalen Instruments. Die Messung des longitudinalen Strahlprofils mithilfe von Čerenkov-Diffraktionsstrahlung könnte eine einfachere Alternative zu Synchrotronstrahlung darstellen. Die Extraktion und Verwendung von Synchrotronstrahlung in Großbeschleunigern wie dem Future Circular Collider für Elektronen und Positronen (FCC-ee) würde viele Herausforderungen mit sich bringen, wie entsprechend lange Distanzen für die Extraktion und die hohen kritischen Energien der Photonen.

Diese Dissertation nützt Čerenkov-Diffraktionsstrahlung, um spezifische Herausforderungen in der Diagnostik von Teilchenstrahlen im FCC-ee zu lösen, wobei das Hauptaugenmerk auf der bündelweisen Messung des Längsprofils der Teilchenstrahlen mit einer Auflösung im Sub-Pikosekundenbereich liegt. Je nach Betriebsweise des FCC-ee variiert die vorhergesehene Bündeldauer zwischen 6 und 52 ps (1σ).

Zahlreiche Eigenschaften von Čerenkov-Diffraktionsstrahlung werden im Zuge dieser Dissertation zum ersten Mal untersucht. Dazu wurde ein Prototyp eines Vakuum-kompatiblen dielektrischen Radiators in einem 200 MeV-Linearbeschleuniger für Elektronen installiert. Dieser Energiebereich bringt mit sich, dass alle präsentierten Messungen im kohärenten Spektrum der Čerenkov-Diffraktionsstrahlung durchgeführt wurden. Umfangreiche numerische Simulationen der spezifischen Radiatorgeometrie werden präsentiert und anschließend mit den Daten aus verschiedenen experimentellen Messungen verglichen. Die kohärenten Eigenschaften der Čerenkov-Diffraktionsstrahlung, ihre Polarisation, sowie ihre Abhängigkeit von der Distanz zwischen Teilchenbahn und Oberfläche des Dielektrikums, werden dargelegt. Die Grenzfrequenz des Radiators, sowie verzögerte Strahlungsanteile aufgrund von Reflexionen im Radiator werden identifiziert. Der Absolutbetrag der elektrischen Feldstärke von Čerenkov-Diffraktionsstrahlung wird erstmalig bestimmt und die gleichmäßige Verteilung der Strahlung an der Außenfläche des Radiators präsentiert. Schließlich wird die Strahlung mit einer zeitlichen Auflösung im Pikosekundenbereich erfasst, und somit die kürzesten Echtzeit-Messungen von Čerenkov-Diffraktionsstrahlung durchgeführt. Überdies wird dadurch die zeitliche Unterscheidung zwischen Pulsen der Čerenkov-Diffraktionsstrahlung und diversen Komponenten der Diffraktionsstrahlung aufgezeigt.