

## SEERad

Single Event Effect Studies for Aerospace applications

<b>Programm / Ausschreibung</b>	ASAP, ASAP, ASAP 18. Ausschreibung (2021)	<b>Status</b>	laufend
<b>Projektstart</b>	01.01.2023	<b>Projektende</b>	31.12.2025
<b>Zeitraum</b>	2023 - 2025	<b>Projektlaufzeit</b>	36 Monate
<b>Keywords</b>	Radiation hardness, single event effects, accelerator test		

### Projektbeschreibung

Ausgangssituation

Das Auftreten möglicher Fehlfunktionen von elektronischen Bauteilen aufgrund strahlungsgenerierter Ladungsträger stellt ein wesentliches Qualitätskriterium von Technologien für die Luft- und Raumfahrt da. Da die Wahrscheinlichkeit für solche sogenannten Single Event Effects (SEE) ab dem Zeitpunkt der Inbetriebnahme beinahe konstant ist und aufgrund des Umstands, dass SEEs kaum geschirmt werden können – beides im Gegensatz zu akkumulierten Strahlenschäden – muss dieser Effekt bereits in einem frühen Stadium der Technologieentwicklung berücksichtigt werden. Aufgrund der komplizierten Struktur und Herstellungsweise von Mikroelektronik ist die Charakterisierung von SEEs weitgehend auf experimentelle Tests angewiesen. Der Fortschritt in der Miniaturisierung von elektronischen Schaltungen, insbesondere Prozesse unterhalb von 100 nm, hat eine erhöhte SEE Empfindlichkeit von elektronischen Bauteilen zur Folge. Angesichts des häufigen Einsatzes von „commercial off the shelf (COTS)“ Bauteilen, anstatt flugqualifizierter Komponenten in der aktuellen „New Space“ Entwicklung, wird der Bedarf für experimentelle Tests noch deutlicher.

Allerdings stellt die Verfügbarkeit von geeigneten Teilchenbeschleunigern und etablierten Testprozeduren ein großes Hindernis für die Entwicklung von Weltraumtechnologie und die Durchführung von wissenschaftlichen Bestrahlungsstudien dar. Das SEERad Projekt wird eine innovative Prozedur für SEE Bestrahlungen und ein Model, dass durch die Verknüpfung von direkten und indirekten Ionisationseffekten eine umfassende Charakterisierung der SEE Eigenschaften ermöglicht, entwickeln. Gleichzeitig wird die Möglichkeit komplexe SEE Strahlentests während des nicht klinischen Betriebs bei MedAustron durchzuführen etabliert, Österreichs größter Teilchenbeschleuniger und eines der fortschrittlichsten Therapiezentren weltweit. Dieser Beschleuniger ist für solche Studien besonders geeignet und beherbergt wesentliche Teile der notwendigen Infrastruktur, einzig die notwendige Erfahrung und Expertise fehlt.

Innovation

SEE Test Bestrahlungen werden größtenteils mit hochenergetischen Protonen durchgeführt, da diese Teilchen einen großen Anteil des Strahlenhintergrunds im Weltraum darstellen und aufgrund des schwierigen Zugangs zu Schwerionen Beschleunigern. Protonen mit Energien oberhalb von ca. 100 MeV erzeugen durch Wechselwirkung mit Atomkernen und

indirekte Ionisation Ladungsträger in der zu untersuchenden Komponente. Dadurch kommt es zu einem Spektrum von mehreren LET Werten bis zu 15 MeV.cm<sup>2</sup>/mg in Silizium, je nach Energie der Protonen. Im Gegensatz dazu wechselwirken niederenergetische Protonen und Kohlenstoff Ionen durch direkte Ionisation mit der Probe und bewirken einen definierten aber niedrigeren LET Wert unterhalb von 5 MeV.cm<sup>2</sup>/mg in Silizium. Studien, die direkte Ionisationseffekte untersuchen sind durch die Miniaturisierung der elektronischen Bauteile von wachsendem Interesse. Durch die beschränkte Reichweite von niederenergetischen Protonen und Kohlenstoff Ionen in Silizium, benötigen diese Tests eine aufwendige Vorbereitung, wie bspw. das Entfernen des Gehäuses der Komponente (delidding). Das SEERad Projekt reagiert auf die Entwicklung einer erhöhten Empfindlichkeit von aktuellen und zukünftigen elektronischen Bauteilen auf niedrige LETs und schlägt die Entwicklung von Testprozeduren vor, inklusive eines Modells, um die Effekte von direkter und indirekter Ionisation zu verknüpfen. Studien zur indirekten Ionisation benötigen einen Protonen Strahl mit mehreren Energien. SEERad möchte den Nachteil einer aufwendigen Vorbereitung von direkten Ionisationsstudien vorbeugen, indem ein Teststand mit Degradern und dazugehörige Simulationen, die auch das Gehäuse der Bauteile berücksichtigen, entwickelt werden. Dadurch kann der Bragg Peak ohne die Notwendigkeit von Delidding durch eine Kombination von Strahlenenergie und Degraderdicken durch verschiedene Schichten im sensiblen Volumen verschoben werden. Um eine genaue Kontrolle und Bestimmung der LET zu ermöglichen müssen die Simulationen durch exakte Messungen ergänzt und optimiert werden. Diese Studien benötigen häufige Wechsel zwischen Strahlenenergien und zwischen Protonen und Kohlenstoff Ionen, was durch MedAustron ermöglicht wird.

## Resultate

Das Ergebnis des SEERad Projekt wird ein etablierter Teststand mit fortschrittlichem Monitoring und einer angepassten Simulation sein. Beides wird dafür eingesetzt Bestrahlungsstudien durchzuführen, Daten zu sammeln und ein Modell zur Verknüpfung von SEE Effekten durch direkte und indirekte Ionisation zu entwickeln. Das Projekt baut auf einem bestehenden FFG Projekt (SEESAT) auf, durch welches die Möglichkeit für SEE Tests am MedAustron gezeigt wurde und in dem erste SEE Tests durchgeführt werden. Dem wissenschaftlichen Charakter entsprechend und aus Ausbildungszwecken ist eine Dissertation an der FHWN mit Unterstützung der TU Wien vorgesehen. Ein erfolgreiches SEERad Projekt wird die Luft- und Raumfahrt Sektor in Österreich durch die neue Möglichkeit für SEE Bestrahlungen und für wissenschaftliche Studien in einem frühen Entwicklungsstadium stärken.

## Abstract

Initial situation, motivation

The malfunction of electronic structures due to radiation induced charge carriers is of great concern for aerospace technologies. The fact that the probability for such single event effects (SEE) is present from the first second of operation together with the circumstance that SEE can hardly be shielded - both contrary to accumulative damage - requires consideration already in an early stage of technology development. Due to the complex structure and fabrication technology of microelectronics, the characterization of SEE properties heavily relies on experimental irradiation studies. The progress in miniaturization of electronic structures, esp. fabrication processes below 100 nm results in a significantly increased sensitivity to SEE. Considering the extensive use of commercial off-the-shelf (COTS) components within the so-called "New Space" era - instead of space-grade radiation hard or -tolerant electronics - the need for those studies even increased. However, the availability of appropriate particle accelerator facilities and established irradiation procedures presents a

serious restriction for the industrial and academic development of upstream technology and for the conduction of scientific irradiation studies. In order to overcome these limitations, the SEERad project will develop an innovative irradiation procedure with a model, providing a comprehensive characterization of electronic components, by correlating SEE measurements from direct and indirect ionization processes. Further, the project will establish the capability for state-of-the-art SEE testing at MedAustron, Austria's largest particle accelerator facility and one of the most advanced particle therapy centres worldwide. MedAustron is especially suited for the SEERad studies and provides all required specifications and major parts of infrastructure. Currently, the facility however lacks specific experience in this field of non-clinical tests such as electronic components or materials.

## Innovation

SEE irradiation tests are mainly conducted with high-energy protons, as those particles represent a major component in space, but also due to the limited access to heavy ion accelerators. Protons with energies above appr. 100 MeV deposit charge carriers via indirect ionization processes by interacting with the nuclei of the test sample. This results in a spectrum of several LET values (typically up to 15 MeV.cm<sup>2</sup>/mg in Si, depending on the proton energy). In contrast, protons and carbon ions with lower energies interact with the sample via direct ionization and deposit a defined but smaller LET value (depending on the Bragg peak position up to 5 MeV.cm<sup>2</sup>/mg in Si). Direct ionization SEE studies are of increasing interest, since the SEE sensitivity of electronic circuits on small LET values increases with their progressing miniaturization. As a consequence of the limited range of low energy protons and ions in silicon, such tests involve a complex sample preparation, including the removal of the component packing (so-called delidding). The SEERad project addresses the increased SEE sensitivity of current state-of-the-art and future technologies and proposes the development of a test procedure and model to correlate the results from direct and indirect ionization studies. Indirect ionization studies require a proton beam of multiple energies up to 250 MeV. SEERad will mitigate the preparation effort for direct ionization studies by the development of a test setup with degraders and detailed simulations, which as well consider the packaging of the sample. This way, the Bragg peak can be shifted through the sensitive volume without the need for delidding by different combinations of degraders and beam energies. In order to accomplish an accurate, LET control, the simulations of the degrading effect have to be verified and iterated with an advanced monitoring system. Therefore, regular switches between different energies and between protons and carbon ions are required. MedAustron is capable of fulfilling these requirements.

## Results

As a result, the SEERad project will provide a test setup with advanced monitoring and a tailored commissioned simulation tool. Both are applied to conduct irradiation studies, collect measurement data and develop a model to correlate the effects of direct and indirect ionization. Due to the research focus of SEERad, its scientific characteristics and its educational purpose, the project will be accompanied by a PhD thesis at FHWN with support of the Technical University of Vienna. The successful SEERad project will foster the aerospace academic and industrial sector in Austria by offering a testing option in early stages of the development as well as state-of-the-art capabilities for research projects. Further, the project allows to build a bridge between industry, which is supposed to perform SEE tests, and MedAustron being currently only specialised in the field of clinical applications.

## **Projektkoordinator**

- Fachhochschule Wiener Neustadt GmbH

## **Projektpartner**

- Seibersdorf Labor GmbH