



H2020 Grant Agreement N° 690835

## **Deliverable D5.1 – WP5 – Due date: 30 September 2016**

Title: MUSE Open Day

Type: Other

Dissemination level: Public

WP number: WP5

Lead Beneficiary: HZDR

### Description:

Each second years HZDR opens the doors of the Laboratory to the general public. Posters, interactive simulations, discussions about goals, methods and results of the research make alive the interaction with the public. This document summarizes the MUSE activity in the specific frame of the event HZDR Open Day on May 28, 2016. The event "Lange Nacht von Wissenschaft" on June 10, 2016, has been also an occasion to show MUSE posters to the public.

### *HZDR Open Day*

3400 people visited the Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf on May 28, 2016 at the "Tag des Offenen Labors" [1]. On this sunny day, the German research center opened its doors to the public and presented its research in many ways. Situated right at the main entrance to the ELBE-accelerator facility, two posters were displayed and presented by MUSE researchers A. Ferrari and S. Müller:

"Das Mu2e Experiment am FERMILAB in Chicago" ("The mu2e experiment at FERMILAB in Chicago") covered the mu2e experiment's physics motivation, illustrated the way the measurement of muon-to-electron transition will be done and finally introduced the two main detectors of the experiment, the tracking chamber and the calorimeter

"Von der Teilchenphysik zur medizinischen Anwendung" ("From particle physics to medical applications") showed how research on detector technology for particle physics can improve diagnostic instruments for cancer therapy.

Given the prominent location at the ELBE entrance, it was possible to introduce many visitors to the Mu2e experiment and the MUSE research activities.

### VON DER TEILCHENPHYSIK ZUR MEDIZINISCHEN ANWENDUNG

A. Ferrari, S. E. Müller, D. Bemmerer, F. Fiedler, M. Itzschke, B. Lutz, K. Römer, D. Weinberger

**MUSE** **HZDR** **HELMHOLTZ ZENTRUM DRESDEN ROSSENDORF**

### Das Mu2e-Experiment am FERMLAB in Chicago

Anna Ferrari, Stefan E. Müller

**MUSE** **Fermilab** **HELMHOLTZ ZENTRUM DRESDEN ROSSENDORF**

---

#### Silizium Photo-Sensoren für das Mu2e Experiment

- Die Silizium Photomultiplier (SiPM) für Mu2e sollen in einem sehr starken Strahlungsfeld arbeiten: sie müssen eine Fluenz von  $2 \cdot 10^{11}$  Neutronen pro Jahr aushalten
- Die EPOS-Quelle am ELBE Beschleuniger erzeugt eine optimale Neutronenfluenz, um die Strahlungsbeständigkeit zu überprüfen
- Leckstrom und Signalthöhe werden gemessen

Leckstrom der SiPM über der integrierten Neutronenfluenz für verschiedene Modelle

Neutronenfluenz an EPOS (Neutronenstrom auf 1 m mit einem 100  $\mu$ A Elektronenstrahl)

#### Motivation

Im Rahmen des Standardmodells der Teilchenphysik werden sowohl Übergänge zwischen den sogenannten Quarks (Nobelpreis 2009 für Kobayashi und Maskawa) als auch den Neutrinos (Nobelpreis 2015 für Kajita und McDonald) vorhergesagt und beobachtet.

Lediglich für die geladenen Leptonen  $e$ ,  $\mu$  und  $\tau$  wurden bis heute keine direkten (neutrinos) Übergänge beobachtet, und die Standardmodell-Vorhersage ist mit einem Verzweigungsverhältnis von  $\sim 10^{-10}$  unmessbar klein. Man spricht hier von „Charged Lepton Flavor Violation“ (CLFV), da die Leptonenzahl nicht erhalten ist.

Es gibt jedoch verschiedene Erweiterungen des Standardmodells, die diese Übergänge geladener Leptonen mit Verzweigungsverhältnissen von bis zu  $\sim 10^{-8}$  vorhersagen.

---

#### Ultraschnelle Detektoren für die Spitzenforschung

- Für Flugzeitmessungen mit sehr seltenen Kernen werden großflächige Detektoren mit einer Zeitauflösung von 110 Nanosekunde benötigt.
- Die Lichtsensoren (Photomultiplier) hierfür sind sehr teuer.
- Wissenschaftler am HZDR und an der TU Dresden konnten kürzlich in Experimenten am ELBE-Beschleuniger zeigen, dass auch mit den neuen, kostengünstigeren SiPM solche Messungen möglich sind.
- Der ELBE-Beschleuniger hat eine Zeitauflösung von sogar 1/1000 Nanosekunde und bietet hervorragende Bedingungen für solche Messungen.

Die SiPM als Funktion der integrierten Signalthöhe  $\sigma_{int}$  (links) und die durchschnittliche Flugzeit (rechts) in einem großen Flaggendetektor ausgetestet mit einem „Silicon Photomultiplier“.

Quelle: T. P. Reinhardt et al., Nuclear Instruments and Methods A 816, 16-24 (2016)

#### Das Experiment

Die internationale Mu2e-Kollaboration hat sich vorgenommen, den direkten Übergang eines Myons  $\mu$  in ein Elektron  $e$  mit einer Einzelereignisauflösung von  $3 \cdot 10^{-17}$  zu messen (bisheriger Wert:  $< 7 \cdot 10^{-11}$ , SINDRUM-Exp. am PSI).

Hierzu wird ein 8 GeV-Protonenstrahl auf ein Wolfram-Target gelenkt. Über mehrere Zwischenschritte entstehen dabei Myonen. Negativ geladene Myonen niedriger Energie werden mit Hilfe komplexer Magnetfelder zu einem Aluminium-Target transportiert.

Die Myonen werden von den Aluminium-Atomen eingefangen und kaskadieren auf das unterste Schaleniveau. Dort werden sie entweder vom Kern eingefangen, oder zerfallen mit oder ohne Neutrinos unter Aussendung eines Elektrons.

Die emittierten Elektronen werden mittels einer aus einem Spurdetektor und einem Kalorimeter gebildeten Detektionsapparatur nachgewiesen. Für das Leptonenzahl-verletzende Signal erwartet man einen scharfen Peak in der Nähe der Myonenmasse  $M_{\mu} = 105,66$  MeV/c<sup>2</sup>, während für Untergrundereignisse (L- $\mu$ -in-Orbit, DIO) ein Spektrum erwartet wird, das oberhalb von  $M_{\mu}$  ausläuft. Die Anzahl der Signalereignisse wird auf die Anzahl der Myoneneinträge normiert:

$$R_{\mu} = \frac{N(\mu^+ \rightarrow e^+ \gamma) + N(\mu^+ \rightarrow e^+ \nu_e \bar{\nu}_\mu)}{N(\mu^+ \rightarrow e^+ \nu_e \bar{\nu}_\mu) + N(\mu^+ \rightarrow \nu_e \bar{\nu}_\mu \gamma)}$$

---

#### Medizinische Anwendung (z.B. Bildgebung bei der Krebstherapie)

In der Nuklearmedizin benötigt man kompakte Detektorsysteme, die schnell zuverlässige Ergebnisse liefern. Wichtige Kriterien dabei sind Energie-, Orts- und Zeitauflösung. Ebenso wichtig ist eine ausreichende Strahlungsaltäre, sowie eine Messstabilität bei hohen Raten. Wesentliche Vorteile der Silizium Sensoren für klinische Anwendungen sind die Insensibilität gegenüber Magnetfeldern und die kompakte Bauweise.

Zeitpektrum, abhängig von der Energie der Photonen (ELBE)

Häufigkeitsverteilung der Aufnahmepunkte auf der Detektoroberfläche (13x13 Kristalle)

Energiespektrum (LFS, Tandem), vergleichbar zur Protonentherapie

Programmierbare Auswertelektronik inkl. Stabilisierung der Sensoren

#### Detektoren

Die Detektoren sollen sowohl in Magnetfeldern von 1 Tesla als auch unter Vakuumbedingungen ( $10^{-10}$  Torr) funktionieren. Ausserdem müssen sie die am Experiment herrschenden Strahlungsbedingungen über 3 Jahre aushalten. Die Wahl fiel auf einen aus mehr als 20 000 Spurdetektoren bestehenden Spurdetektor sowie ein aus zwei Ringen aufgebautes Kalorimeter, welches aus  $\sim 1400$  CsI-Kristallen besteht, die mit Hilfe von Silizium-Photomultipliern (SiPM) ausgetestet werden.

**Spurdetektor:**

- Impulsauflösung  $\sigma_p < 180$  keV/c
- Proton-Elektron-Separation via dE/dx
- „blind“ für DIO-Ereignisse

**Kalorimeter:**

- Zeitauflösung  $\sigma_t = 0,5$  ns
- Ortsauflösung  $\sigma_r = 1$  cm
- Energieauflösung  $\sigma_E/E = 5\%$

---

Dr. D. Bemmerer, Dr. A. Ferrari, Dr. F. Fiedler, Dr. B. Lutz, M. Itzschke, K. Römer, D. Weinberger | Institut für Strahlungsphysik

Dr. S. Müller | Institut für Ressourcenökologie

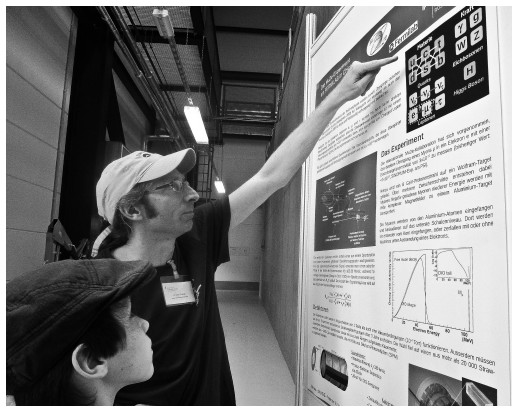
Dr. A. Ferrari | Institut für Strahlungsphysik | a.ferrari@hzdr.de

Dr. S. E. Müller | Institut für Ressourcenökologie | s.mueller@hzdr.de

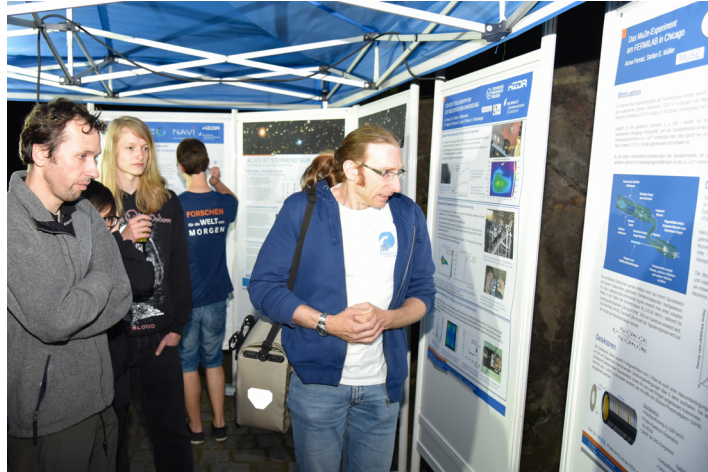
Posters presented at the HZDR Open Lab day and at the Long Night of Science in Dresden ("Lange Nacht von Wissenschaft")

### Dresden Long Night of Science

Every year, the city of Dresden, together with its universities and research institutions, organizes a "Long Night of Science" [2]. HZDR presented its research on particle and astroparticle physics at the "Felsenkeller"-location, where currently a low-background laboratory for the study of rare nuclear reactions with a 5MV pelletron accelerator is under construction. MUSE researchers D. Bemmerer and S. Müller used the occasion to present the two MUSE-posters, and received considerable attention despite the late hour.



S. Müller explains the motivation for the Mu2e-experiment at the HZDR Open Day



*S. Müller introduces the Mu2e-experiment around midnight to an interested public during the Dresden Long Night of Science*

Both events have been documented on the MUSE webpage [3][4].

[1] <http://www.hzdr.de/db/Cms?pNid=2828> (in German)

[2] <http://www.wissenschaftsnacht-dresden.de/>

[3] <http://muse.lnf.infn.it/event/hzdr-tag-des-offenes-tur/>

[4] <http://muse.lnf.infn.it/event/hzdr-muse-dresden-long-night-of-the-sciences/>