

DISS. ETH NO. 24472

DEVELOPMENT OF PRE-CLINICAL AND CLINICAL
POSITRON EMISSION TOMOGRAPHY DETECTORS

A thesis submitted to attain the degree of
DOCTOR OF SCIENCES of ETH ZURICH
(Dr. sc. ETH Zurich)

presented by

JANNIS NIKOLAUS RUDOLF FISCHER

M.Sc., Humboldt-Universität zu Berlin

born on 26.01.1988

citizen of Germany

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Günther Dissertori
Prof. Dr. Bruno Weber
Dr. Werner Lustermann

2017

ABSTRACT

This dissertation is about the development of two positron emission tomography (PET) scanners: Small Animal Fast Insert for mRi (SAFIR) and Brain PET (BPET). While the first is a preclinical insert for a magnetic resonance imaging (MRI) scanner with unprecedented temporal resolution designed for use with mice and rats, the latter is an application specific and cost-effective clinical brain scanner to aid the early diagnosis of Alzheimer's disease (AD).

The preclinical scanner's development is guided by Monte Carlo (MC) simulations and lab tests. Noise equivalent count rate, spatial resolution, and sensitivity are assessed and components are tested with respect to their coincidence resolving time (CRT) and MRI compatibility. Simulations following the National Electrical Manufacturers Association (NEMA) standard support the claim that the reference design can be used for the intended studies by the users. The results of the lab tests show that the selected components can deliver the necessary timing performance and at the same time work inside the harsh environment of the MRI with its strong magnetic field and regular radio frequency (RF) pulses without mutual interference.

For the clinical PET device, the performance of the device is studied by MC simulations as well. The results show reasonable spatial resolution and sensitivities with respect to the target application. Lab tests of photo-sensors of small size compared to the scintillating crystal's surface prove the possibility of a minimalistic approach with limited sensitive area.

ZUSAMMENFASSUNG

Diese Abhandlung beschreibt die Entwicklung zweier Positron-Emissions-Tomographen (PET): Dem vorklinischen SAFIR-Einsatz für einen Magnet-Resonanz-Tomographen (MRI) für Mäuse und Ratten und dem Brain-Positron-Emissions-Tomographen (BPET), einem anwendungsspezifischen und kosteneffizientem Gehirn-PET zur frühen Diagnose der Alzheimerschen Krankheit.

Die Entwicklung des vorklinischen SAFIR wird durch Monte-Carlo-Simulationen (MC) und Labortests gestützt. Rauschäquivalente Zählrate (NECR), Ortsauflösung und Sensitivität werden nach dem NEMA-Standard ermittelt und die Komponenten werden im Hinblick auf ihre Zeitauflösung in Koinzidenz (CRT) und ihre Kompatibilität mit dem MRI getestet. Die Resultate der Simulationen zeigen die Eignung des Referenzdesigns für die beabsichtigten Studien der zukünftigen Nutzer des SAFIR-Einsatzes. Ferner beweisen die Tests der ausgewählten Komponenten, dass sie ohne gegenseitige Störung für den Einsatz in der Umgebung des MRIs mit seinem starken magnetischen Feld und seinen regelmässigen Hochfrequenz (RF)-Pulsen geeignet sind.

Das klinische BPET-Gerät wurde ebenfalls mittels Monte-Carlo-Simulationen untersucht. Ortsauflösung und Sensitivität erlauben den Schluss, dass es sich für die beabsichtigte Anwendung eignen wird. Labormessungen mit einem kleinen Lichtsensor auf einer Seitenfläche eines szintillierenden Kristalles beweisen darüber hinaus, dass dieses minimalistische Konzept mit reduzierter lichtempfindlicher Oberfläche möglich ist.