

Design and Implementation of a Flexible Research Platform for the Study of Deep Brain Stimulation

Der Fakultät für Informatik und Elektrotechnik der Universität Rostock
zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)

vorgelegte Dissertation von
Franz Veit Plocksties
geb. am 18.11.1992 in Schwerin
aus Rostock

Rostock, 28.11.2025

Kurzfassung

Die Tiefe Hirnstimulation (THS), bei der elektrische Impulse in spezifische Hirnareale appliziert werden, ist eine etablierte Therapie für Bewegungsstörungen wie die Parkinson-Krankheit. Dennoch sind ihre Wirkmechanismen bis heute nur unvollständig geklärt. Für ein vertieftes Verständnis sind experimentelle Studien an frei beweglichen Nagetieren notwendig, deren Fortschritt jedoch durch das Fehlen funktionsreicher, langzeitfähiger und tierwohlgerechter Neurostimulationsgeräte erheblich eingeschränkt wird. Diese Dissertation präsentiert *STELLA*, eine vollständig implantierbare THS-Plattform, die gezielt entwickelt wurde, um diese Einschränkungen zu überwinden. Vom anfänglichen Konzept bis zum fertigen Implantat wurden sämtliche Entwicklungsschritte realisiert, einschließlich Architekturdefinition, Schaltungsdesign, Firmware-Implementierung, Fertigung, Verkapselung sowie Validierung *in vitro*, *ex vivo* und *in vivo*. *STELLA* vereint in einzigartiger Weise extrem niedrigen Leistungsverbrauch, zweikanalige Stimulation, integrierte Stimulationsüberwachung, bidirektionale drahtlose Kommunikation und Closed-Loop-Fähigkeiten in einem Formfaktor von weniger als einem Kubikzentimeter — und dies ausschließlich unter Verwendung handelsüblicher Komponenten. Eine speziell entwickelte biokompatible, wasserdichte und kompakte Verkapselung ermöglicht eine dauerhafte subkutane Implantation. Die Plattform hat in *in vivo* Studien einen zuverlässigen Langzeitbetrieb mit stromgesteuerter, ladungsbalancierter Stimulation unter Beweis gestellt und bereits zu einem besseren Verständnis der THS-Mechanismen beigetragen. Indem *STELLA* natürliches Verhalten der Tiere ermöglicht, verbessert die Plattform entscheidend das Tierwohl in diesen Studien und leistet damit einen wichtigen Beitrag zum Refinement-Aspekt der 3R-Prinzipien. Insgesamt schafft diese Arbeit eine wissenschaftlich robuste und ethisch verantwortungsvolle Grundlage für präklinische THS-Studien an frei beweglichen Nagetieren.

Abstract

Deep brain stimulation (DBS), in which electrical impulses are delivered into specific brain regions, is an established therapy for movement disorders such as Parkinson's disease. Nevertheless, its mechanisms of action remain only partially understood. Advancing this understanding requires experimental studies in freely moving rodents, but progress is hindered by the lack of feature-rich, long-term capable, and animal-welfare-compliant neurostimulation devices. This dissertation presents *STELLA*, a fully implantable DBS platform specifically designed to overcome these limitations. From the initial concept to the final implant, all development stages were realized, including architecture definition, circuit design, firmware implementation, device fabrication, encapsulation, and validation *in vitro*, *ex vivo*, and *in vivo*. *STELLA* uniquely combines ultra-low power operation, dual-channel stimulation, integrated stimulation monitoring, bidirectional wireless communication, and closed-loop capabilities in a form factor smaller than one cubic centimeter — achieved exclusively with off-the-shelf components. A custom-developed biocompatible, waterproof and compact encapsulation enables long-term subcutaneous implantation. The platform has demonstrated reliable long-term operation with current-controlled, charge-balanced stimulation in *in vivo* studies and has already contributed to a deeper understanding of DBS mechanisms. By enabling natural animal behavior, *STELLA* significantly enhances animal welfare in these studies and represents an important contribution to the refinement aspect of the 3R principles. Overall, this work establishes a scientifically robust and ethically responsible foundation for preclinical DBS studies in freely moving rodents.