



## Anwendungen der Neurotechnologie: Vom Nervenmonitoring zur Nervenstimulation

**DGBMT TECH TALK am 4. März 2026, 17:00–18:00 Uhr**

Organisiert durch die **DGBMT Fachausschüsse**

- Neuroprothetik und Intelligente Implantate
- Implantierbare Assistenzsysteme und Rehabilitationstechnik

### Impulsvortragende

- Prof. Dr. med. Steffen K. Rosahl, *Helios Neurochirurgie Erfurt*
- Prof. Dr.-Ing. Thomas Stieglitz, *Mikrosystemtechnik-IMTEK, Universität Freiburg*

### Management Summary

Jedes Organ des menschlichen Körpers kann durch Nerven beeinflusst werden. Aufgrund ihrer elektrischen Eigenschaften lassen sich Nervenfunktionen überwachen, etwa während Operationen unter Narkose, oder gezielt stimulieren, beispielsweise bei Funktionsausfällen. Eine zentrale Herausforderung besteht darin, die jeweils relevante Nervenstruktur präzise zu lokalisieren und in geeigneter Weise anzusprechen. Voraussetzung hierfür ist ein grundlegendes Verständnis der neuronalen Signalverarbeitung, das im übertragenen Sinne als Verstehen der „Nervensprache“ beschrieben werden kann – einschließlich ihrer elementaren Signale, ihrer zeitlichen Struktur und ihrer funktionellen Bedeutung.

In der Neurotechnologie spielt das Konzept des Embodiments eine wesentliche Rolle. Moderne Implantate müssen so gestaltet sein, dass sie vom Organismus als körpfernah akzeptiert werden. Dabei ist stets ein ausgewogenes Verhältnis zwischen therapeutischem Nutzen und möglichen Nebenwirkungen anzustreben. Da Nerven und ihre Ursprungskerngebiete während operativer Eingriffe häufig nicht direkt sichtbar sind, erfolgt ihre Identifikation über Reaktionen auf sensorische oder elektrische Reize. Diese Reaktionen werden in modernen Systemen im OP-Mikroskop visualisiert; dieses Verfahren wird als intraoperatives Neuromonitoring bezeichnet.

Zur Überwachung sensorischer Systeme können neben elektrischen auch akustische, optische oder taktile Stimuli eingesetzt werden, um elektrische Nervenantworten auszulösen. Die dabei entstehenden evozierten Potenziale sind oft sehr klein und lassen sich nur durch Mittelung vieler zeitlich synchronisierter Reize zuverlässig von Störsignalen trennen. Insbesondere bei der Überwachung der Hörbahn verbessert eine möglichst nahe Positionierung der Ableitelektroden an den Generatoren der Potenziale die Signalqualität. Bei Operationen am Hörnerv unter Vollnarkose sowie bei Neugeborenen stellen akustisch evozierte Potenziale häufig die einzige Möglichkeit dar, vorhandenes Hörvermögen nachzuweisen. Ist dieses nicht angelegt oder verloren gegangen, kann es durch Implantate zumindest teilweise wiederhergestellt werden.

Das Cochlea-Implantat ist mit über einer Million Implantationen weltweit – abgesehen vom Herzschrittmacher – der erfolgreichste Nervenstimulator. Es ersetzt die Funktion geschädigter Haarzellen im Innenohr und überträgt Schall als elektrische Impulse direkt an den Hörnerv. Durch die Möglichkeit, Hörverluste bereits im Säuglingsalter zu diagnostizieren, kann eine frühe Implantation erfolgen, die entscheidende Vorteile für Sprach-, Gehirn- und Sozialentwicklung bietet. Gleichzeitig ergeben sich daraus hohe Anforderungen an die Langzeitstabilität der Implantate, da bei heutiger Lebenserwartung Laufzeiten von mehreren Jahrzehnten angestrebt werden. Untersuchungen explantierter Cochlea-Implantate zeigen nach 25 bis 30 Jahren zwar Korrosionseffekte, jedoch weiterhin eine stabile Funktion.

Weltweit existieren keine vollständigen Statistiken zu Implantationszahlen von Neuroimplantaten; verfügbare Angaben beruhen auf Expertenschätzungen. Demnach werden jährlich etwa 350.000 Herzschrittmacher implantiert, weltweit wurden bislang über eine Million Cochlea-Implantate eingesetzt, mehr als 130.000 Rückenmarkstimulatoren sowie jeweils über 70.000 tiefe Hirnstimulatoren und Vagusnerv-Stimulatoren. Neurotechnologie und Prothetik sind heute enger miteinander verknüpft als je zuvor. Beide Bereiche verfolgen das Ziel, den menschlichen Körper durch technische Systeme zu unterstützen, zu erweitern oder verlorene Funktionen wiederherzustellen. Besonders bei Querschnittslähmungen gelten die Wiederherstellung der Blasen- und Darmkontrolle sowie der Greiffunktion als klinisch besonders relevante Anwendungsfelder.

Neben erfolgreichen Anwendungen gibt es auch Entwicklungen wie das Retina-Implantat, die trotz vielversprechender Ansätze wieder in die Grundlagenforschung zurückgeführt wurden, da die zugrunde liegenden physiologischen Mechanismen im Krankheitsfall noch nicht vollständig verstanden sind. Parallel dazu wächst die Bedeutung Künstlicher Intelligenz in Neurostimulation und Neuroprothetik rasant. KI trägt dazu bei, Stimulation präziser und adaptiver zu gestalten, Prothesen intuitiver steuerbar zu machen, neuronale Signale besser zu interpretieren und personalisierte Therapieansätze zu ermöglichen. So erlauben KI-gestützte Sprach-Brain-Computer-Interfaces Menschen ohne Sprechvermögen bereits heute die Wiederaufnahme sprachlicher Kommunikation mit Geschwindigkeiten von bis zu 78 Wörtern pro Minute.

Die zunehmende Integration Künstlicher Intelligenz in implantierbare neurotechnologische Systeme wirft zentrale Fragen zur Sicherheit und Resilienz dieser Implantate auf. Insbesondere ist zu klären, wie sich ein Ausfall oder eine gezielte Manipulation KI-basierter Komponenten auf die Funktion und Sicherheit eines Implantats auswirkt. Auf europäischer Ebene wurden hierzu Richtlinien mit hohen Anforderungen an Ethik, Datenschutz und IT-Sicherheit etabliert, in denen auch Aspekte der Systemresilienz und Ausfallsicherheit berücksichtigt werden.

Darüber hinaus stellt sich die Frage nach der langfristigen Versorgungssicherheit implantierter Systeme, insbesondere für den Fall, dass die verantwortlichen Medizintechnik-Unternehmen den Produktsupport einstellen oder nicht mehr am Markt existieren. Dies ist eine gesellschaftlich relevante Fragestellung, da die dauerhafte Funktionsfähigkeit und Wartbarkeit von Implantaten maßgeblich von der wirtschaftlichen Stabilität der Hersteller abhängt. Gleichzeitig ist das damit verbundene Risiko bei innovativen Medizintechnikprodukten grundsätzlich nicht vollständig vermeidbar und sollte nicht zu einem generellen Innovationshemmnis führen.

Zur Risikominimierung können modulare Systemarchitekturen sowie standardisierte Schnittstellen und Konnektoren beitragen, da sie den Austausch einzelner Komponenten erleichtern und die Abhängigkeit von proprietären Lösungen reduzieren. Unabhängig davon sollte bei der Entwicklung implantierbarer Systeme stets auch die Möglichkeit einer sicheren Explantation berücksichtigt werden, um langfristige Handlungsoptionen für Patientinnen und Patienten zu gewährleisten.

Der Markt für Neurotechnologie wächst jährlich im zweistelligen Prozentbereich; in den vergangenen Jahren wurden Investitionen von über 19 Milliarden US-Dollar verzeichnet. Viele Entwicklungen

befinden sich inzwischen über die Translationsphase hinaus in der Produktentwicklung. Aufgrund regulatorischer Anforderungen und der Komplexität medizinischer Zulassungsverfahren sind Entwicklungszeiten von über zehn Jahren jedoch nicht ungewöhnlich. Internationale Unterschiede zeigen sich sowohl in Investitionsstrategien als auch in der Umsetzung: Während in den USA hohe Investitionen und zahlreiche Publikationen zu verzeichnen sind, gelangen vergleichsweise wenige Anwendungen in die klinische Praxis. In China werden weniger publiziert, dafür aber zahlreiche klinische Studien durchgeführt. In Deutschland verlaufen Publikationen, Produktentwicklungen und klinische Studien weitgehend parallel.

Technologische Trends betreffen unter anderem die Gestaltung von Elektroden für Brain-Computer-Interfaces. Die erforderliche Elektrodengröße ist stark anwendungsabhängig und reicht heute von nadelspitzenähnlichen Strukturen bis zu Flächen von etwa 1 cm<sup>2</sup>. Während bei der tiefen Hirnstimulation große neuronale Netzwerke moduliert werden, sind für sensorisches Feedback kleinere Elektroden vorteilhaft. Programme wie die der DARPA<sup>1</sup> verfolgen langfristig das Ziel, bis zu eine Million Nervenkanäle anzusprechen. Unternehmen wie Neuralink setzen auf kleine, flexible Elektrodenfäden im Mikrometerbereich. Aus neurochirurgischer Sicht sind solche Miniaturisierungen wünschenswert, stellen jedoch hohe Anforderungen an Materialwissenschaften, Neuronavigation, intraoperative Bildgebung und robotergestützte Implantation.

Ein weiterer Entwicklungsschwerpunkt liegt in biohybriden neuronalen Interfaces. Die frühen Arbeiten von Peter Frommherz zur Kopplung biologischer Neuronen an Silizium-Mikroelektronik wurden wissenschaftlich weitergeführt, führten jedoch nicht zu marktreifen Implantaten. Ihre Konzepte finden sich heute in Technologien wie neuronalen Transistoren, organischen Elektroden, CMOS-MEAs<sup>2</sup> und anderen biohybriden Systemen wieder. Insbesondere Hydrogele spielen hierbei eine Schlüsselrolle, da sie als weiches, hirngewebeähnliches Material die Lücke zwischen harter Mikroelektronik und lebendem Nervengewebe schließen, die Biokompatibilität verbessern, Immunreaktionen reduzieren und leitfähige oder stimulierende Funktionen ermöglichen.

Auch im Bereich der Magnetoenzephalographie (MEG) – nicht-invasives bildgebendes Verfahren, mit dem die elektrische Aktivität des Gehirns indirekt über schwache Magnetfelder gemessen wird, die von aktiven Nervenzellen erzeugt werden – gibt es Fortschritte mit dem Ziel, diese aus dem Labor in alltags-taugliche, tragbare Systeme zu überführen. Optisch gepumpte Magnetometer gelten hierbei als vielversprechende Technologie, da sie ohne Kryotechnik auskommen, bei Raumtemperatur arbeiten und eine hohe Sensitivität aufweisen. Da die zu messenden Magnetfelder jedoch deutlich kleiner sind als das Erdmagnetfeld, sind weiterhin abgeschirmte Umgebungen erforderlich, was den Einsatz derzeit kostenintensiv macht.

Schließlich stellt die Frage nach patientenübergreifenden versus individuellen Trainingsansätzen bei Brain-Computer-Interfaces eine zentrale Herausforderung dar. Neuronale Muster variieren stark zwischen verschiedenen Personen, aber auch innerhalb derselben Person über Zeit und Zustand hinweg. Eine wiederholte individuelle Kalibrierung ist daher notwendig. Künstliche Intelligenz kann auch hier einen wichtigen Beitrag leisten, um diese Prozesse zu vereinfachen und die Systeme robuster und alltagstauglicher zu machen.

---

<sup>1</sup> US-amerikanische Defense Advanced Research Projects Agency

<sup>2</sup> Complementary Metal-Oxide Semiconductor – Microelectrode Array: mikrostrukturierte Elektrodenfelder auf CMOS-Chips, die elektrische Aktivität von Zellen – insbesondere Neuronen – mit sehr hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung messen und stimulieren können

Der **DGBMT TECH TALK** „Anwendungen der Neurotechnologie: Vom Nervenmonitoring zur Nervenstimulation“ ist Teil der Reihe „Neurotechnologien für die Zukunft der Medizin“.

Weitere Informationen finden Sie hier:



**Dr.-Ing. Thomas Becks**  
*Geschäftsführer*

DGBMT Deutsche Gesellschaft für  
Biomedizinische Technik im VDE  
Merianstraße 28  
63069 Offenbach am Main

T: +49 69 6308-311

M: [thomas.becks@vde.com](mailto:thomas.becks@vde.com)