



Neue Basistechnologien, Embedded Software und KI als Treiber der Entwicklung

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

Organisiert durch die **DGBMT Fachausschüsse**

- Neuroprothetik und Intelligente Implantate
- Implantierbare Assistenzsysteme und Rehabilitationstechnik

Impulsvortragende

- Prof. Dr.-Ing. Karsten Seidl, *FhG IMS, Universität Duisburg-Essen*
- Prof. Dr. rer. nat. Michael Bortz, *FhG ITWM, Kaiserslautern*

Management Summary

Neurotechnologische Ansätze eröffnen ein breites Spektrum neuer diagnostischer und therapeutischer Möglichkeiten. Ausgehend von der grundlegenden Erkenntnis, dass prinzipiell alle durch das Nervensystem beeinflussten Organe technisch moduliert werden können, ergibt sich die Perspektive, eine Vielzahl von Krankheitsbildern gezielt durch neurotechnische Interventionen im zentralen oder peripheren Nervensystem zu adressieren. Entsprechend verbinden Forschende und Anwender mit neurotechnologischen Verfahren hohe Erwartungen hinsichtlich neuer und erweiterter Therapieoptionen. Für einzelne Indikationen stehen bereits heute etablierte und klinisch erfolgreiche Behandlungsansätze zur Verfügung. Dazu zählen unter anderem Herzschrittmacher zur Stabilisierung des Herzrhythmus, Cochlea-Implantate zur Behandlung von Hörverlust, Rückenmarks- und Vagusnerv-Stimulatoren zur Linderung chronischer Schmerzen oder epileptischer Anfälle sowie Tiefe-Hirnstimulatoren zur Behandlung neurologischer und psychiatrischer Erkrankungen. Die hohen Implantationszahlen dieser Systeme verdeutlichen die medizinische Relevanz und das gesellschaftliche Potenzial neurotechnologischer Innovationen.

Parallel zu diesen etablierten Anwendungen befindet sich eine Vielzahl weiterer neurotechnologischer Systeme in der Forschungs- und Entwicklungsphase. Aktuelle Projekte befassen sich unter anderem mit interaktiven Implantaten zur Behandlung von Tinnitus, Funktionsstörungen des Verdauungstrakts oder zur Wiederherstellung motorischer Funktionen der Hand. Diese Entwicklungen verdeutlichen, dass Neurotechnologie zunehmend als Plattformtechnologie verstanden wird, deren Anwendungsfelder weit über klassische neurologische Indikationen hinausreichen.

Die technologische Grundlage neurotechnologischer Systeme ist hochkomplex. Das menschliche Gehirn besteht aus mehr als 80 Milliarden Nervenzellen, die in dynamischen, hochvernetzten Netzwerken organisiert sind. Einzelne Neuronen weisen Durchmesser im Bereich weniger Mikrometer auf und erzeugen elektrische Signale mit sehr geringen Amplituden. Die Erfassung neuronaler Aktivität erfolgt daher auf unterschiedlichen Ebenen – von der Ableitung einzelner Nervenzellen mittels intrakortikaler

Mikroelektroden bis hin zur Erfassung neuronaler Massenaktivität durch nicht-invasive Verfahren wie Elektro- oder Magnetoenzephalographie. Jede dieser Ebenen stellt spezifische Anforderungen an Sensorik, Signalverarbeitung und Dateninterpretation.

In der neurotechnologischen Forschung und Anwendung haben sich insbesondere Utah-Arrays und ECoG-Elektrodenarrays als leistungsfähige Schnittstellen etabliert. Utah-Arrays ermöglichen eine hochauflösende parallele Erfassung und Stimulation neuronaler Signale auf Einzelzell- oder Zellverbundebene, sind jedoch mit einer vergleichsweise hohen Invasivität verbunden. ECoG-Elektrodenarrays bieten demgegenüber eine geringere Invasivität bei gleichzeitig hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung und haben sich insbesondere in klinischen Anwendungen bewährt. Ergänzend tragen neue Trockenelektroden zu einem verbesserten Tragekomfort bei nicht-invasiven Messverfahren bei und erweitern deren Einsatzmöglichkeiten.

Zentrale Innovationsrichtungen in der Elektrodentechnologie umfassen die deutliche Erhöhung der Elektrodenanzahl, die Integration aktiver CMOS-Schaltelektronik in unmittelbarer Nähe der Elektroden sowie den Einsatz flexibler Materialien. Neuartige Elektrodenkonzepte wie Neuropixel-Sonden erlauben die parallele Erfassung und Stimulation einer großen Anzahl von Kanälen bei gleichzeitig reduzierter Anzahl externer Anschlüsse. Durch aktive Schaltmatrizen, integrierte Verstärkung und Filterung können große Datenmengen effizient verarbeitet und nach außen übertragen werden. Flexible Dünnschichtelektronik auf Polymerbasis ermöglicht minimal-invasive Implantationsverfahren und eine bessere mechanische Anpassung an das umgebende Gewebe.

Langfristig wird eine Weiterentwicklung hin zu biologisch inspirierten Schnittstellen angestrebt, die vom Körper möglichst nicht als Fremdkörper wahrgenommen werden. In diesem Zusammenhang werden bioaktive Beschichtungen, leitfähige Polymere sowie Hydrogele mit gehirnähnlichen mechanischen Eigenschaften intensiv erforscht. Ziel ist eine verbesserte Gewebeintegration, eine Reduktion von Entzündungs- und Abstoßungsreaktionen sowie eine langfristig stabile Signalqualität. Die vollständige Biokompatibilität neurotechnologischer Implantate stellt jedoch weiterhin eine zentrale Herausforderung dar, da viele vielversprechende Materialansätze bislang keine ausreichende Langzeitstabilität aufweisen.

Ein weiterer Schwerpunkt liegt in der drahtlosen Energie- und Datenübertragung. Um Infektionsrisiken zu minimieren, sollen Implantate vollständig innerhalb des geschlossenen Körpers betrieben werden. Neben etablierten induktiven Kopplungsverfahren werden optische und ultraschallbasierte Übertragungskonzepte untersucht, die höhere Datenraten oder eine verbesserte Energieversorgung ermöglichen. Ergänzend werden alternative Modalitäten der Neuromodulation erforscht, darunter ultraschallbasierte, biochemische und optogenetische Ansätze, die neue therapeutische Möglichkeiten eröffnen.

Mit der zunehmenden Anzahl erfasster Kanäle und der steigenden Datenrate verlagert sich die Datenverarbeitung zunehmend näher an das Implantat. Der Übergang vom reinen Sensor zum intelligenten neuronalen Co-Prozessor stellt einen wesentlichen Entwicklungstrend dar. Embedded-KI-Lösungen auf Basis spezialisierter Hardwarearchitekturen ermöglichen eine energieeffiziente Echtzeitverarbeitung neuronaler Signale und eröffnen neue Möglichkeiten der Mustererkennung und Entscheidungsunterstützung.

In der Neurotechnologie werden neuronale Signale in der Regel hochdimensional und mit einem hohen Anteil an Störkomponenten erfasst. Gleichzeitig steht im klinischen Alltag häufig nur ein begrenztes Zeitfenster für deren Auswertung zur Verfügung. Vor diesem Hintergrund bieten Verfahren der Künstlichen Intelligenz (KI) und des Maschinellen Lernens die Möglichkeit, relevante Muster und Informationen aus großen Datenmengen effizient zu extrahieren. KI kann somit als unterstützendes Werkzeug zur Mustererkennung, Priorisierung und Entscheidungsunterstützung in neurotechnologischen Anwendungen eingesetzt werden.

Der erfolgreiche Einsatz von KI- und Machine-Learning-Methoden in der Neurotechnologie setzt mehrere grundlegende Voraussetzungen voraus. Zunächst ist eine belastbare Datengrundlage erforderlich. Darüber hinaus muss den KI-Systemen Anwendungs- und Erfahrungswissen, also domänenspezifisches Kontextwissen aus der klinischen und technischen Praxis, systematisch zur Verfügung gestellt werden, um geeignete Algorithmen auswählen und anlernen zu können. Schließlich ist es notwendig, KI als unterstützendes Werkzeug zu verstehen, dessen Nutzen maßgeblich davon abhängt, dass die richtigen Fragestellungen formuliert werden.

Typische Aufgaben von KI-Systemen in diesem Kontext umfassen die Klassifikation, also die Identifikation bestimmter Zustände oder Ereignisse, die Prognose zukünftiger Entwicklungen sowie darauf aufbauend die Ableitung möglichst verlässlicher und nachvollziehbarer Handlungsempfehlungen. Eine belastbare Datengrundlage liegt vor, wenn die zentralen Dimensionen von Big Data erfüllt sind. Diese lassen sich anhand der fünf sogenannten „V“ beschreiben: Volume (ausreichende Datenmenge im Verhältnis zu den eingesetzten Lern- und Analyseverfahren), Value (inhaltliche Aussagekraft der Daten), Variability (ausreichende Vielfalt und Streuung der Daten), Velocity (angemessene Geschwindigkeit von Datenzugriff und -verarbeitung) sowie Veracity (hinreichende Datenqualität, Genauigkeit und Vertrauenswürdigkeit).

Ein praxisnahes Beispiel aus der Neurotechnologie ist das intraoperative Neuromonitoring während einer Schilddrüsenresektion. Dabei erfolgt die elektrische Stimulation des Nervus vagus sowie des Nervus laryngeus recurrens, während die Ableitung der Signale über eine Elektrode in der Luftröhre erfolgt. Zeigen sich die gemessenen Signale signifikant abgeschwächt oder zeitlich verzögert, wird eine Operationspause eingelegt, um eine Erholung der Nerven zu ermöglichen. Für den Aufbau einer belastbaren Trainingsgrundlage für KI-basierte Auswertungen werden charakteristische Signalpeaks über den gesamten Operationszeitraum kontinuierlich erfasst. Daten aus der klinischen Praxis sind in der Aufbereitung häufig aufwendig, stellen jedoch eine unverzichtbare Grundlage für robuste und praxisnahe KI-Modelle dar.

Für qualitativ hochwertige Trainingsdaten lassen sich drei grundlegende Voraussetzungen benennen: Erstens müssen Datentypen und Lernmodelle aufeinander abgestimmt sein, sodass die Modelle die Eigenschaften und Strukturen der Daten adäquat abbilden können. Zweitens sind ausreichender Datenumfang und hohe Datenqualität erforderlich, idealerweise aus heterogenen Kohorten, um eine robuste Generalisierbarkeit zu gewährleisten. Drittens ist die Erklärbarkeit der Modellentscheidungen von zentraler Bedeutung, etwa durch geeignete Visualisierungs- oder Beispielf Verfahren, um Akzeptanz, Transparenz und Qualitätssicherung sicherzustellen.

Künstliche Intelligenz stellt damit ein Werkzeug zur gezielten Unterstützung neurotechnologischer Diagnostik und Therapie dar. Zentrale Herausforderungen bestehen insbesondere in der Datenqualität, dem Labeling, der Integration von Kontextwissen in Lernverfahren sowie in der Generalisierbarkeit und Erklärbarkeit der Modelle. Ein interdisziplinärer Dialog zwischen Medizin, Technik, Datenwissenschaft und Regulierung kann wesentlich dazu beitragen, diese Herausforderungen zu adressieren und nachhaltige Verbesserungen zu erzielen.

Im regulatorischen Kontext wird bei der Zulassung von Medizinprodukten zunehmend die Nachvollziehbarkeit von KI-basierten Lösungen gefordert. Dieser Anspruch ist grundsätzlich sinnvoll, da er Transparenz schafft und die sichere Anwendung im klinischen Umfeld unterstützt. Die praktische Umsetzung eines solchen Nachweises kann jedoch nur schrittweise erfolgen. In einem ersten Schritt ist die Validierung der Eingabedaten erforderlich. KI-Systeme liefern auch dann Ergebnisse, wenn Daten außerhalb des Trainingsbereichs vorliegen. Daher muss ein vorgeschalteter Mechanismus sicherstellen, dass der Input innerhalb des vom Modell abgedeckten Parameterraums liegt. Nur für diesen validierten Eingabebereich kann das Modell zuverlässig funktionieren. Erst auf dieser Grundlage kann in einem zweiten Schritt die Erklärbarkeit der Modellentscheidungen sinnvoll umgesetzt werden.

Eine zentrale Herausforderung im Arbeitsfeld besteht schließlich im systematischen Zusammenführen von Erfahrungs- und Expertenwissen mit datengetriebenen Lernverfahren. Zwar stehen zahlreiche Open-Source-Algorithmen zur Verfügung, doch erfordert deren erfolgreiche Anwendung neben geeigneten Daten auch die fundierte Auswahl und Anpassung an den jeweiligen Anwendungsfall. Die Vermittlung dieses domänenspezifischen Wissens an KI-Systeme ist anspruchsvoll und hochspezialisiert. Ein offener, interdisziplinärer Dialog ist hierfür unerlässlich und bildet die Grundlage für KI-Lösungen mit nachhaltigem praktischem Nutzen.

International wird die Entwicklung von Brain-Computer-Interfaces intensiv vorangetrieben, insbesondere in den USA und China. Um international wettbewerbsfähig zu bleiben, ist es für Deutschland entscheidend, bestehende Stärken in Medizin, biomedizinischer Technik und Medizintechnik-Industrie gezielt zu bündeln. Gleichzeitig bestehen weiterhin erhebliche Herausforderungen in den Bereichen Technologie, Biologie, Datenverarbeitung und Translation. Für eine erfolgreiche Überführung von Forschungsergebnissen in die klinische Anwendung sind ausreichende Finanzierung, enge interdisziplinäre Kooperationen sowie eine beschleunigte Entwicklungs- und Zulassungspipeline erforderlich.

Insgesamt zeigt sich, dass Neurotechnologie und Künstliche Intelligenz ein erhebliches Potenzial für zukünftige diagnostische und therapeutische Anwendungen besitzen. Der nachhaltige Erfolg hängt jedoch maßgeblich von der Qualität der Schnittstellen zwischen Technik, Biologie und Anwendung sowie von einem kontinuierlichen interdisziplinären Dialog ab.

Der **DGBMT TECH TALK „Neue Basistechnologien, Embedded Software und KI als Treiber der Entwicklung“** 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