



© KI generiertes Bild, erstellt mit Adobe Firefly

Technologie Factsheet

März 2026

Seite 1 | 3

# Brain-Computer Interfaces

## Die nächsten Stufen der Mensch-Maschine-Symbiose

### 1. Definition und Beschreibung

Brain-Computer Interfaces (BCI) sind Systeme, die die elektrische Aktivität des Gehirns direkt mit Computern, Prothesen oder Robotern verbinden, ohne den Umweg über Muskeln. Sie ermöglichen es, Gedanken in Steuerbefehle umzuwandeln. Grundlegend wird dabei zwischen invasiven Ansätzen (z. B. implantierte oder endovaskuläre Elektrodenarrays im oder am Gehirn) und nicht-invasiven Ansätzen (v. a. Elektroenzephalografie (EEG) basierte Systeme auf der Kopfhaut) unterschieden, die sich in Signalqualität, Risiko und Einsatzszenarien deutlich unterscheiden.

### 2. Entwicklungshighlights

- **Endovaskuläre Arrays:** Elektrodenarrays in Blutgefäßen ermöglichen minimalinvasive Langzeitmessungen
- **KI-Decoding:** Große, auf EEG trainierte »Foundation Models« liefern vortrainierte Hirnsignalrepräsentationen und steigern die Klassifikationsgenauigkeit erheblich
- **Multimodale Fusion:** Integration von z. B. EEG und fNIRS (funktionelle Nahinfrarotspektroskopie) mit Attention-Mechanismen und generativen Modellen

### 3. Nutzen, Anwendungen und Branchen

Hauptnutzen:

- Direkte Steuerung von Maschinen, Robotern und Prothesen durch Gedanken
- Rehabilitation von Bewegungs- und Kommunikationsfähigkeit nach z. B. Schlaganfall oder Rückenmarksverletzung

- Echtzeit-Monitoring von Aufmerksamkeit, mentaler Belastung und kognitiven Zuständen
- Gezieltes Training von Neuroplastizität (statt bloßer Kompensation von Defiziten)

Mögliche Beispielanwendungen:

- Medizin: Exoskelette, funktionelle Elektrostimulation, Sprachprothesen
- Industrie: Fahrzustandsüberwachung, Bau- und Prozesssicherheit
- Bildung & Training: kognitive Überwachung, Lernoptimierung
- Lifestyle & Assistenz: Gaming, Neurofeedback, barrierefreie Systeme

#### 4. Wesentliche Forschungsfortschritte

- **Materialinnovationen:** Flexible Hochdichte-Mikroelektroden, Hydrogel- und leitfähige Kunststoff-Elektroden sowie bioresorbierbare Materialien erhöhen Langzeitstabilität und Signalqualität.
- **Multifunktionale Systeme:** Kombination von Messen, Stimulieren und geschlossenen Regelkreisen für Rehabilitation, Assistenz und kognitives Monitoring.
- **Individualisierung und Fertigung:** 3D-gedruckte, patientenspezifische Elektrodenarrays und modulare, klinik- und alltagsnahe Hardware ermöglichen den Übergang von Labor zu realen Anwendungen.

#### 5. Reifegrad

**Technologiereife:** Abhängig vom Ansatz liegt das Technology Readiness Level (TRL) zwischen 4 (Validierung in Laborumgebung) und 9 (System im Einsatz).

Die **Marktreife** ist heterogen. Invasive BCIs sind in frühen klinischen Anwendungen zur Bewegungs- und Sprachrekonstruktion angekommen. Nicht-invasive Headsets und Wearables sind bereits als Nischenprodukte für Gaming, Meditation, Neurofeedback und einfache Aufmerksamkeitsmessung verfügbar.

**Zeithorizont für breitere Anwendung:** 3–10 Jahre, abhängig von Ansatz, Standardisierung, Signalqualität, regulatorischen Leitplanken und Akzeptanz.

#### 6. Fazit

BCI bewegen sich derzeit von **experimentellen Laboraufbauten hin zu klinischen und alltagsnahen Anwendungen**. Fortschritte bei Materialinnovationen, KI-Decoding und multifunktionaler Systemintegration eröffnen neue Möglichkeiten für Steuerung, Rehabilitation und kognitives Monitoring. Strategisch relevant ist das Thema BCI für alle Unternehmen, die an neuartigen Mensch-Maschine-Schnittstellen interessiert sind – von z. B. Medizintechnik und Rehabilitation über Automotive und Industrieautomation bis hin zu Consumer Electronics und KI-Entwicklung – da BCI perspektivisch als neurokognitiver Datenlayer in bestehende Produkte und Dienste integriert werden können.

## Corporate Technology Foresight

Die zentrale Forschungsfrage der Gruppe »Corporate Technology Foresight« lautet: Wie lassen sich technologische Entwicklungen frühzeitig identifizieren, fundiert bewerten und so aufbereiten, dass Unternehmen daraus belastbare strategische Handlungsoptionen ableiten können?

Methodisch stützt sich die Forschungsgruppe auf ein breites Portfolio aus der Zukunfts- und Innovationsforschung. Diese Methoden machen Technologieentwicklungen in Forschung und Markt systematisch sichtbar und binden explizit auch unternehmensrelevante Umfeldfaktoren ein

Technologie Factsheet

März 2026

Seite 3 | 3

Das Fraunhofer FKIE entwickelt Technologien und Prozesse mit dem Ziel, existenzbedrohende Risiken frühzeitig zu erkennen, zu minimieren und beherrschbar zu machen. Daran arbeiten insgesamt elf Forschungsabteilungen an Standorten in Wachtberg, Bonn, Euskirchen, Leipzig und Aachen, die über unterschiedliche, sich ergänzende Kernkompetenzen verfügen und so systemische Lösungen liefern können. Das Institut deckt dabei sämtliche Domänen der gesamtstaatlichen Verteidigung und Sicherheit ab – sei es zu Land, in der Luft, zur See, unter Wasser, im Cyberspace oder im Weltall.

## Kontakt

Ansprechpersonen

### **Dr. Anna Schulte-Loosen**

Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie FKIE  
Forschungsgruppenleiterin und Autorin  
[E-Mail senden](#)

### **Dr. Diana Freudendahl**

Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie FKIE  
Forschungsgruppenleiterin  
[E-Mail senden](#)

[www.fkie.fraunhofer.de](http://www.fkie.fraunhofer.de)

