

EXZELLENZCLUSTER BRAINLINKS-BRAINTOOLS

acting thoughts



$$C \frac{d}{dt} V^i(t) + G_{\text{rest}} [V^i(t) - V_{\text{rest}}] = I_{\text{syn}}^i$$



UNI  
FREIBURG

## think it – link it

In unserem Cluster BrainLinks-BrainTools arbeiten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus Biologie, Mikrosystemtechnik, Informatik und Medizin daran, technische Elemente mit dem ebenso komplexen wie empfindlichen Nervensystem zu verbinden. In Freiburg kommen die hierfür notwendigen Kenntnisse und Fähigkeiten in einmaliger Form zusammen: Grundlagenforschung über das Nervensystem sowie die Entwicklung von Mikrosystemen und selbstständig handelnden Robotern. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler streben zwei Entwicklungen an:

- Systeme, die aus Gehirnaktivität Absichten und Befehle ablesen und damit externe Geräte steuern. Dies können Prothesen oder Kommunikationshilfen für Gelähmte sein, oder auch Systeme, die Schlaganfallpatienten die Rehabilitation erleichtern.
- Intelligente, selbstständig agierende und sich mit Energie versorgende Implantate mit Schnittstellen zum Gehirn. Sie sollen Störungen in der Gehirnfunktion erkennen und ihnen entgegenwirken.

**DAS GEHIRN ERFORSCHEN**  
**Neurowissenschaft**

**KRANKHEITEN BEHANDELN**  
**Medizin**

**NEUE SYSTEME ENTWICKELN**  
**Technik**

**UNSER HANDELN REFLEKTIEREN**  
**Ethik**

### BRAINLINKS-BRAINTOOLS

## Exzellente Forschung an der Universität Freiburg

Seit November 2012 werden in der zweiten Phase der Exzellenzinitiative des Bundes und der Länder 43 Exzellenzcluster für fünf Jahre gefördert. Ziel ist es, international anerkannte Forschungs- und Ausbildungseinrichtungen zu etablieren. An der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg war der Neuantrag des Clusters BrainLinks-BrainTools erfolgreich und erhält von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) knapp 30 Mio. €. Die Universität strebt an, BrainLinks-BrainTools langfristig weiterzuführen und so das größte neurotechnologische Forschungs- und Ausbildungszentrum Deutschlands aufzubauen. Der Cluster setzt auf ein starkes internationales Team und fördert die Vielfalt unter seinen Mitgliedern. Partnerschaften mit Forschungseinrichtungen im In- und Ausland sorgen für eine Vernetzung innerhalb und zwischen den beteiligten Wissenschaftsdisziplinen.



NEUROLOGIE

Neue Chancen



Kein anderes Organ unseres Körpers ist so komplex, so faszinierend und gleichzeitig so empfindlich wie das Gehirn. Erkrankungen und Verletzungen des Nervensystems können schwerwiegende, lebenslange Folgen haben. In Deutschland sind fast 20.000 Menschen querschnittsgelähmt; bis zu 300.000 leben mit der Parkinsonschen Krankheit, etwa eine halbe Million mit Epilepsie. Insgesamt ist in modernen Gesellschaften ein Drittel der Menschen im Laufe ihres Lebens von einer neurologischen Erkrankung betroffen. Nicht immer können Medikamente und herkömmliche Rehabilitationsmaßnahmen Symptome lindern und die Lebensqualität verbessern. Neue Therapieformen, die sich auf Neurotechnologie und Robotik stützen, haben in diesen Fällen großes Potenzial.



FORSCHUNGSZIELE

Eine Vielfalt an Herausforderungen

In unserem Exzellenzcluster haben wir zwei Ziele vor Augen: Gelähmte Menschen sollen allein durch ihre Gedanken künstliche Gliedmaßen oder Assistenzroboter steuern, die sie im Alltag unterstützen. Und Menschen mit neurologischen Erkrankungen wie Epilepsie oder Parkinson sollen dank eines kleinen Implantats im Kopf, das die Gehirnaktivität überwacht und notfalls eingreift, ein Leben frei von Symptomen führen können. Um diese Ziele zu erreichen, müssen noch viele wissenschaftliche und technische Fragen beantwortet werden. Wissen wir genug über das Gehirn und seine Arbeitsweise, um erfolgreich Signale mit ihm austauschen zu können? Welche Materialien sind überhaupt geeignet, um dauerhaft implantiert zu werden? Wie können wir aus der Flut von Daten, die uns Sonden aus dem Gehirn liefern, für uns relevante Informationen herausfiltern? Und wie weit dürfen wir bei der Verbindung von Mensch und Maschine gehen?

Mit seiner unvorstellbaren Zahl von hundert Milliarden Nervenzellen gibt uns das Gehirn auch heute noch viele Rätsel auf. Wir wissen nicht einmal mit letzter Sicherheit, in welcher „Sprache“ Nervenzellen kommunizieren, das heißt, wie sie sich genau mithilfe elektrischer Impulse untereinander austauschen. Oder nach welchen Regeln sie sich zu Netzwerken verknüpfen, um Informationen zu verarbeiten und die geistigen Fähigkeiten hervorzubringen, die uns so selbstverständlich erscheinen. Ein so komplexes System wie das Gehirn lässt sich besser verstehen, wenn man sich durch mathematische Beschreibungen und Computersimulationen ein Modell davon erschafft. Ebenso helfen immer exaktere Bildgebungsverfahren und Messmethoden, das Geheimnis der Hirnfunktion zu lüften. Doch bislang können wir erst in Ansätzen die Arbeitsweise des Gehirns und seiner Erkrankungen verstehen.

GRUNDLAGENFORSCHUNG

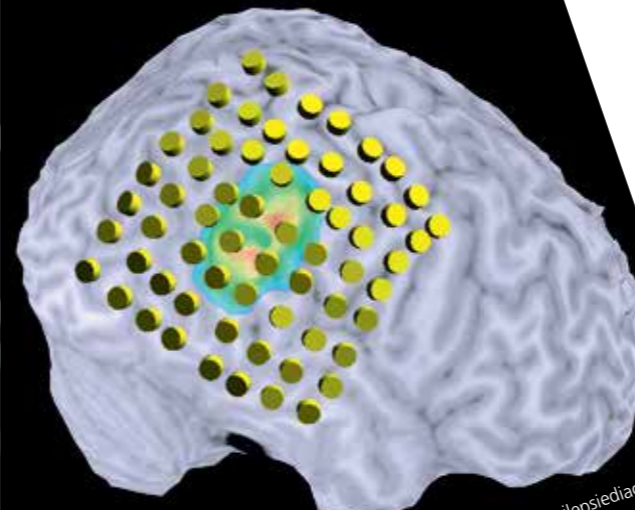
## Rätselhafte Basis der Hirnfunktion



GRUNDLAGENFORSCHUNG  
Krankheiten verstehen



Will man ein Organ erfolgreich behandeln, ist das Verständnis seiner Funktion eine wichtige Grundlage. Im Fall des Gehirns ist dies durch seine fast unvorstellbare Komplexität besonders schwierig. Darum sind selbst bei verbreiteten Krankheiten noch viele Fragen offen: Wie kommt es zu den gleichzeitig auftretenden Entladungen von Nervenzellen, die zu einem epileptischen Anfall führen? Welche Auswirkungen hat ein Schlaganfall auf die Neuorganisation von Gehirnregionen? Wie unterscheiden sich im Gehirn eine konkrete Absicht und die bloße Erwägung einer Bewegung? Ein besseres Verständnis macht Behandlungen sicherer, kann Rehabilitationsmaßnahmen optimieren und hilft zu entscheiden, wann eine neurotechnologische Lösung sinnvoll ist. Selbst bei etablierten Anwendungen wie zum Beispiel der Tiefen Hirnstimulation zur Behandlung von Parkinson sind die Ursachen vieler Nebenwirkungen unklar und ist weitere Forschung notwendig.



Elektroden zur Epilepsiediagnostik



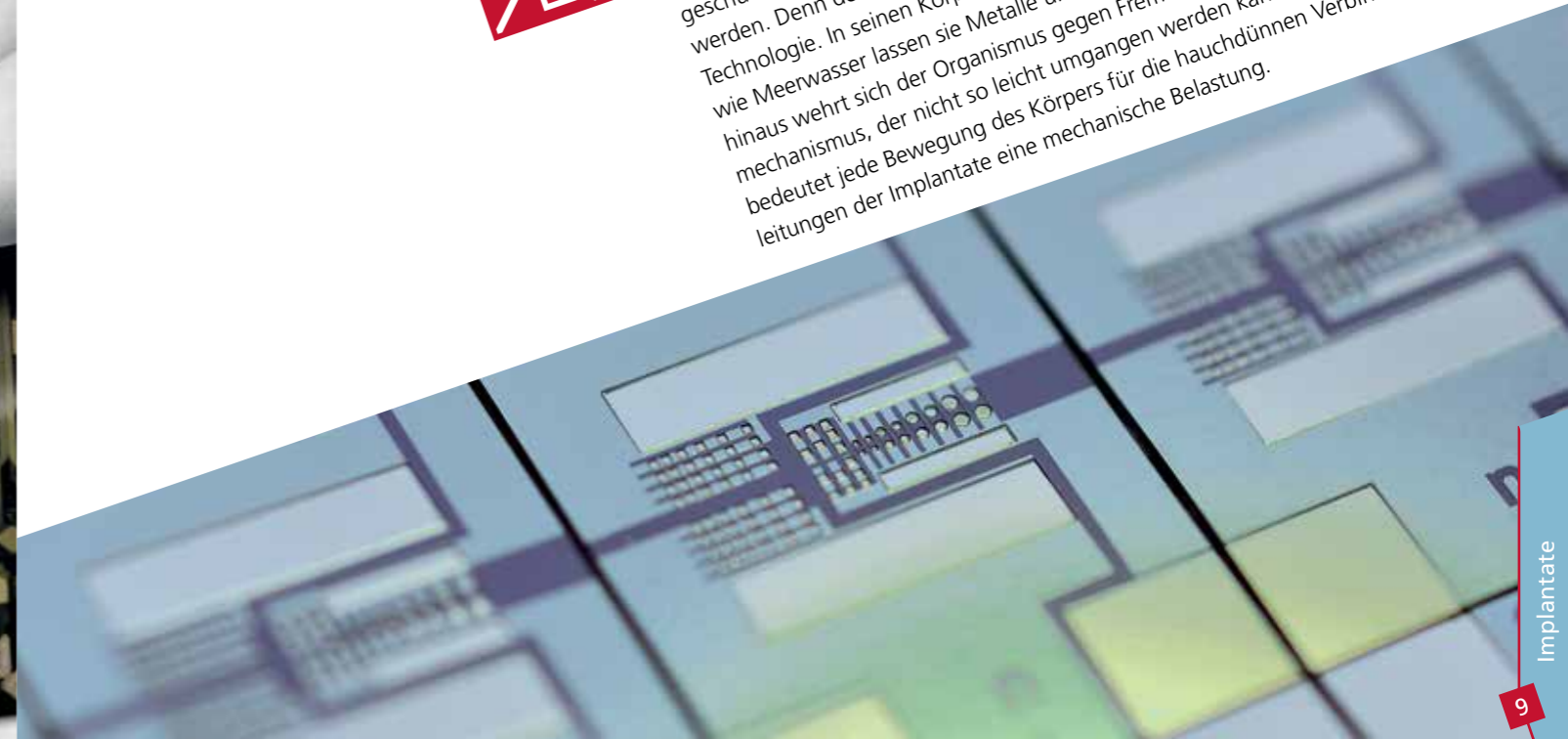
**ELEKTRODEN**  
**Direkter Draht zum Gehirn**

Elektrodenfertigung auf Siliziumbasis

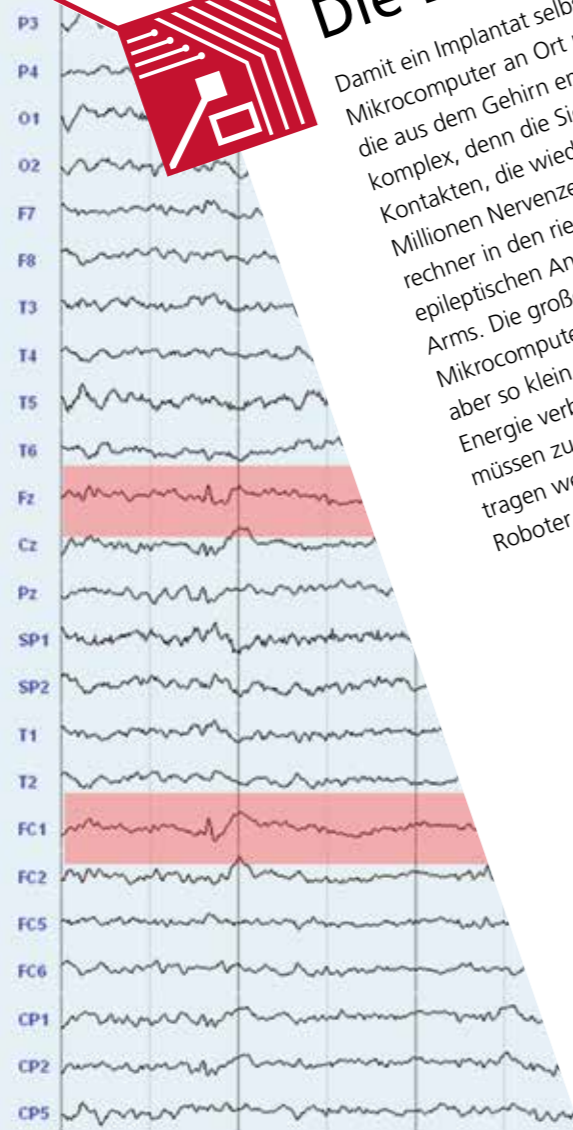
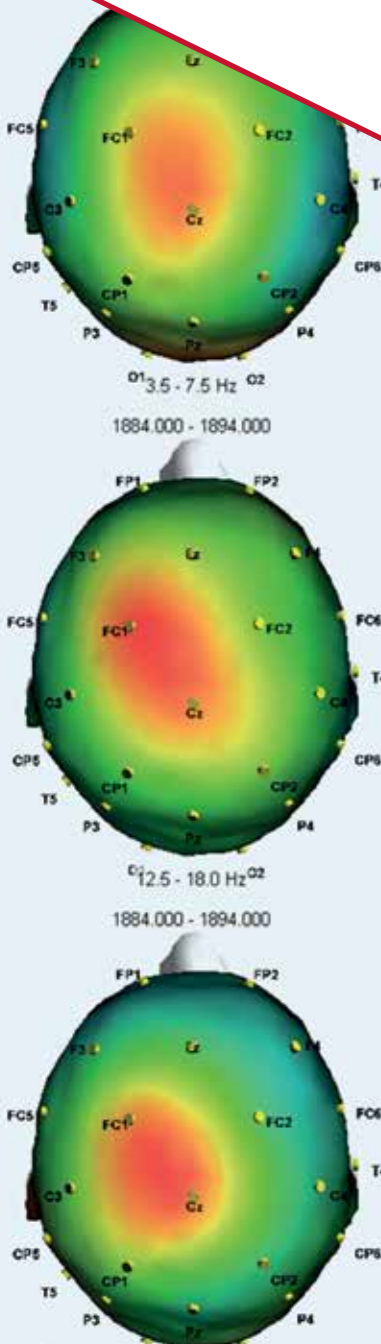


**BIOKOMPATIBLE IMPLANTATE**  
**Technik im Körpereinsatz**

Der Einsatz von Implantaten im Gehirn gleicht einem Spagat: Nicht nur das Organ muss vor Verletzungen durch künstliche Sonden geschützt werden, auch die Funktion der Geräte kann beeinträchtigt werden. Denn der Mensch ist ein schwieriger Einsatzort für filigrane Technologie. In seinen Körperflüssigkeiten sind Salze gelöst und ähnlich wie Meerwasser lassen sie Metalle und Kunststoffkörper – ein Schutzmechanismus, der nicht so leicht umgangen werden kann. Außerdem bedeutet jede Bewegung des Körpers für die hauchdünnen Verbindungsleitungen der Implantate eine mechanische Belastung.



Dreh- und Angelpunkt für neurotechnologische Geräte ist der Informationsaustausch mit den Nervenzellen. Beispielsweise kündigt sich ein epileptischer Anfall durch veränderte Aktivitätsmuster bestimmter Gehirnbereiche an. Sie können in den dort auftretenden elektrischen Signalen erkannt werden und ermöglichen dadurch eine Vorhersage. Der Informationsfluss in entgegengesetzter Richtung kann der Behandlung dienen: Gezielte Stimulationen können den epileptischen Zustand verhindern, noch bevor er auftritt. Hierfür müssen Elektroden einen zuverlässigen Signaltransfer leisten. Gleichzeitig dürfen sie das Gewebe weder verletzen noch langfristig schädigen. Elektroden kommen dabei in unterschiedlichen Formen vor: Bewegungsbefehle erfordern Kontakte, die auf der Hirnoberfläche liegen und eine große Fläche abdecken. Auf die Ursprungsorte epileptischer Anfälle müssen Elektroden hingegen punktuell einwirken.



**DATENANALYSE UND -TRANSFER**  
**Die Datenflut beherrschen**

Damit ein Implantat selbstständig arbeiten kann, muss ein Mikrocomputer an Ort und Stelle die Daten auswerten, die aus dem Gehirn empfangen werden. Diese Aufgabe ist komplex, denn die Signale stammen von mehreren Hundert Kontakten, die wiederum die Aktivität vieler Tausend oder Millionen Nervenzellen einfangen. In Labors erkennen Großrechner in den riesigen Datenmengen Anzeichen für einen epileptischen Anfall oder die beabsichtigte Bewegung eines Arms. Die große Herausforderung besteht darin, einen Mikrocomputer zu entwickeln, der dasselbe leistet, dabei aber so klein ist, dass er implantiert werden kann und wenig Energie verbraucht. Für Gehirn-Maschine-Schnittstellen müssen zudem die Daten aus dem Kopf nach außen übertragen werden, um Assistenzsysteme oder Roboter anzusteuern.

Elektroenzephalografie zur Epilepsiediagnostik

Ein Implantat benötigt Energie, wenn es Daten aus dem Gehirn auswerten, übertragen und eventuell Nervenzellen stimulieren soll. Bisher wurden hierfür Batterien eingesetzt. Wenn sie aufgebraucht sind, müssen sie in einer Operation ausgetauscht werden. Es wäre ein großer Fortschritt, solche Eingriffe überflüssig zu machen. Tatsächlich birgt der menschliche Körper viele Formen von Energie, die in elektrischen Strom umgewandelt werden können. Der Unterschied zwischen Körper- und Umgebungstemperatur ist eine solche Energiequelle. Werden – aufeinander abgestimmt – Mikrocomputer mit besonders niedrigem Energiebedarf und Generatoren für im Körper gewonnene Elektrizität entwickelt, können energetisch völlig autonome Implantate gebaut werden.

**ENERGY HARVESTING**  
**Energie aus dem Körper**





**MOTION CAPTURE**  
**Eingefangene Bewegung**

„Motion Capture“ ist eine Technik, bei der am Körper angebrachte Sensoren die Geschwindigkeit, Drehung und Stellung aller Gliedmaßen messen und an einen Computer senden. In der Forschung von BrainLinks-BrainTools spielt Bewegung eine besondere Rolle, weshalb Motion Capture zu unterschiedlichen Zwecken eingesetzt wird. Körperhaltung und Bewegungsmuster können auf neurologische Erkrankungen hinweisen. Motion Capture könnte bereits kleinste Veränderungen registrieren und zur Früherkennung eingesetzt werden. Und Roboter, die im Dienste gelähmter Menschen agieren, müssen sich so „menschlich“ wie möglich bewegen. Hier könnte die Methode helfen zu erforschen, was eine Bewegung natürlich erscheinen lässt. Schließlich kann mit der Methode der Zusammenhang zwischen Bewegungen und Nervensignalen erforscht werden – eine wichtige Voraussetzung für die Steuerung von Prothesen durch Gehirnaktivität.



**ROBOTIK**  
**Intelligente Helfer**

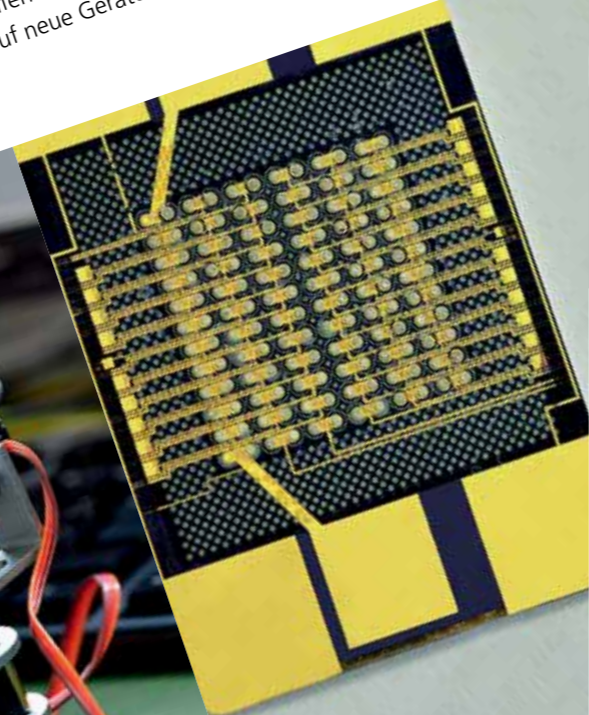
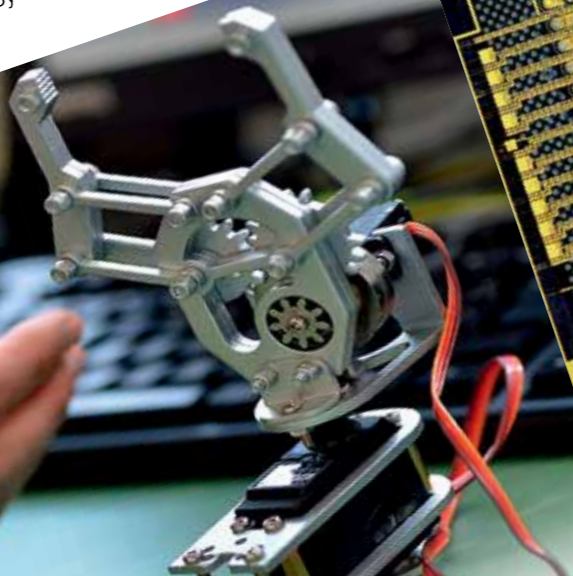
Eine vollständige Lähmung, wie sie bei schweren Erkrankungen oder Verletzungen auftreten kann, bedeutet nicht nur den Kontrollverlust über den Bewegungsapparat. Sie bedeutet auch den Verlust der Fähigkeit, auf herkömmliche Weise zu kommunizieren. Sollen Roboter oder andere Assistenzsysteme im Alltag helfen, müssen sie daher direkt durch Gedanken gesteuert werden. Bewegungsabsichten wie der Wunsch, eine Tür zu öffnen oder den Fernseher anzuschalten, spiegeln sich in der Hirnaktivität wider. Elektroden, die auf dem Kopf oder der Hirnoberfläche liegen, können diese Signale messen. Derartige Kommandos können an einen Roboter übertragen werden, der selbstständig die nötigen Bewegungsschritte plant und der jeweiligen Situation anpasst. Die technischen Helfer müssen außerdem lernfähig sein und sich in neuen Situationen zurechtfinden, weil in einem Haus nicht immer alles am selben Ort liegt.



**MINIATURISIERUNG**

**Viele Funktionen auf kleinstem Raum**

In der Neurotechnologie sind noch viele Fragen ungeklärt und erfordern weitere Grundlagenforschung. Die hierfür benötigten Geräte müssen häufig erst entwickelt und gebaut werden. Ein wichtiges neues Forschungsfeld ist beispielsweise die gezielte Steuerung von Zellen durch Lichtreize. Diese Technik ermöglicht es, die Neurone des Gehirns viel exakter zu beeinflussen als bisher machbar. Derartige Versuche erfordern eine völlig neue Art von Sonden aus hochspezialisierter Optik, Elektronik und Energieversorgung. Sie leiten Licht gezielt ins Gehirn und messen gleichzeitig die dadurch hervorgerufenen Effekte. Aber auch in vielen anderen Bereichen ist der wissenschaftliche Fortschritt auf neue Geräte oder die Miniaturisierung von Systemen angewiesen.



**ETHIK UND ÖFFENTLICHER DIALOG**  
**Ein Teil der Gesellschaft**



In Zukunft wird die Neurotechnologie aus der Gesellschaft nicht mehr wegzudenken sein, denn die Zahl der Menschen, die sie nutzen, steigt weiter an. Doch mit der technischen Einflussnahme auf das Gehirn sind auch ethische und gesellschaftliche Fragen von enormer Reichweite verbunden: Auf welche Weise darf in die Prozesse des Gehirns eingegriffen werden? Wird dadurch die Persönlichkeit eines Menschen verändert? Und sind wir bald eine Gesellschaft von Maschinen-Menschen? Diese und viele andere Fragen wollen wir mit Patientinnen und Patienten sowie der gesamten Öffentlichkeit diskutieren. Wir suchen den Dialog über unsere Forschung, ihre Anwendungen und ethischen Grenzen. Dafür arbeiten wir mit Schulen und kulturellen Einrichtungen zusammen und setzen gezielt auf künstlerische Ausdrucksformen, um der Öffentlichkeit und uns neue Perspektiven zu eröffnen.



## ■ IMPRESSUM

Exzellenzcluster BrainLinks-BrainTools  
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg  
Georges-Köhler-Allee 79  
79110 Freiburg

Sprecher des Clusters:  
Prof. Dr. Wolfram Burgard

[www.brainlinks-braintools.uni-freiburg.de](http://www.brainlinks-braintools.uni-freiburg.de)

Gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

Fotos, Konzeption und Realisation

**PATRICK WÖRNER KONZEPTE**

[www.woerner-konzepte.de](http://www.woerner-konzepte.de)

Text, Fotos S.5 & 7, Gunnar Grah

Fotos S.4, Epilepsiezentrum, Universitätsklinikum Freiburg

Foto S.9 oben, Jessica Alice Hath

Fotos S.15 aus: Das Gehirn als Projekt. Wissenschaftler, Künstler und  
Schüler erkunden unsere neurotechnische Zukunft. Freiburg 2011

Abbildungen S.7 & 10, Epilepsiezentrum, Universitätsklinikum Freiburg



Stand: 03/2013