

# Inhalt

Vorwort	7
---------	---

## *Karl-Heinz Pantke*

1. Was sind hämodynamische und elektrophysiologische Systeme? Was sind Elektroenzephalographie (EEG), Magnetenzephalographie (MEG), funktionelle Magnet-Resonanz-Tomographie (fMRT) und funktionelle Nah-Infrarot-Spektroskopie (fNIRS)? Was sind Paradigmen für Brain-Computer-Interfaces?	9
---	---

## *Michael Tangermann*

2. Eine Übersicht gängiger Brain-Computer-Interface-Paradigmen für Elektroenzephalogramm- und Magnetenzephalogramm-Messungen	21
--	----

## *Axel Gräser, Ivan Volosyak, Marco Cyriacks*

3. FRIEND – ein BCI-gesteuerter Unterstützungsroboter für Menschen mit Lähmungen	39
--	----

## *Bettina Sorger, Joel Reithler, Rainer Goebel*

4. Grundlagen hämodynamisch basierter Brain-Computer-Interfaces	55
---	----

## *Bettina Sorger, Joel Reithler, Rainer Goebel*

5. Entwicklungsstand und Einsatzmöglichkeiten hämodynamisch basierter Brain-Computer-Interfaces	73
---	----

## *Andrea Kübler, Christa Neuper*

6. Gehirn-Computer-Schnittstellen (BCIs): Anwendungen und Perspektiven	91
--	----

<i>Niels Birbaumer, Ander Ramos Murguialdaya, Angela Straub, Leonardo Cohen</i>	
7. Gehirn-Computer-Schnittstellen bei Lähmungen	115
<i>Karl-Heinz Pantke, Angela Jansen, Anama Fronhoff, Norbert Wernitz, Sonja Ufer</i>	
8. Unterstützte Kommunikation bei erworbenen motorischen Einschränkungen	131
<i>Julius Deutsch, Julia Gniffke</i>	
9. Open Source und Freie Software als Hilfsmittel zur Unterstützten Kommunikation	147
<i>Christian Lange</i>	
10. Blickgesteuerte Interaktion mit Peripheriegeräten – technische Lösung und ergonomische Absicherung	163
Danksagung	183

## **Vorwort**

Das Buch beleuchtet, wie Computer gelähmten Menschen helfen. Es wendet sich an Ärzte, Therapeuten und an ein interessiertes Fachpublikum. Das Buch ist kein Lehrbuch. Dennoch hat es sich zum Ziel gesetzt, den Leser an die wissenschaftliche Literatur heranzuführen. Die Artikel eins bis fünf sind ohne Vorkenntnisse verständlich, die Artikel sechs und sieben jedoch nur nach sorgfältigem Studium der vorhergehenden.

Der erste Teil des Buches befasst sich mit vollständig gelähmten Patienten, bei denen keinerlei Willkürbewegung mehr möglich ist. Schwere Erkrankungen können zu einem solchen Zustand der Erstarrung führen. Doch in der letzten Dekade war eine der spektakulärsten Entwicklungen überhaupt zu verzeichnen: Hirnaktivitäten können direkt in elektrische Impulse umgewandelt werden. Menschen können also Kraft ihrer Gedanken Maschinen steuern! Sie können einen Computer bedienen und einen Rollstuhl steuern, ohne sich zu bewegen. Für diese Entwicklung hat sich der Name Brain-Computer-Interface (BCI) eingebürgert.

Im Eingangsartikel des Herausgebers werden zunächst grundlegende Begriffe und Techniken besprochen. Im zweiten Artikel beleuchtet Michael Tangermann, wie Hirnaktivitäten, die mit elektrischen Pulsen und dem Verbrauch von Sauerstoff verbunden sind, in Steuerbefehle für Computer umgesetzt werden können. Diese beiden Beiträge vermitteln die prinzipiellen Funktionsweisen eines BCI. Der dritte Artikel von Axel Gräser et al. liefert eine Anwendung des Gelernten. Das vorgestellte System mit EEG-Ansteuerung gibt vollständig Gelähmten ein Minimum an Selbständigkeit zurück, wie es z.B. zur Nahrungsaufnahme benötigt wird. In den Beiträgen vier und fünf untersuchen Bettina Sorger et al. die Grundlagen und Anwendungen von BCI-Systemen, die durch die Registrierung von Sauerstoffverbrauch gesteuert werden. Derartige Systeme konnten bereits erfolgreich zur Kommunikation mit vollständig Gelähmten eingesetzt werden. Die Artikel sechs und sieben von Andrea Kübler und Niels Birbaumer, dem Vater der BCI, vertiefen die bisherigen Ausführungen, setzen aber ein Verständnis des Vorhergehenden voraus.

Im zweiten Teil des Buches werden Menschen betrachtet, bei denen die Lähmung nicht den ganzen Körper erfasst hat. Während im ersten Teil des Buches Wert auf Vollständigkeit gelegt wird, muss in diesem zweiten Teil eine rigorose Auswahl getroffen werden. Die Beschränkung erfolgte dabei auf drei Artikel zur Unterstützten Kommunikation.

Der vom Herausgeber verfasste achte Beitrag stellt Techniken wie Eye-Gaze-Systeme vor, bei denen über die Bewegung der Augenpupille die Bildschirmtastatur eines Computerprogramms angesteuert werden kann, sowie Scanning-Systeme und Kopfmäuse. Mittlerweile lässt sich vieles an Software zur Unterstützten Kommunikation aus dem Internet herunterladen, was im neunten Artikel von Julius Deutsch und Julia Gniffke einer Würdigung unterzogen wird. Bei Menschen, die gelähmt sind, aber den Kopf bewegen können, sind Blickerfassungssysteme die einzige Möglichkeit, mit der Umwelt zu kommunizieren, wovon der zehnte Artikel von Christian Lange handelt. Allen diesen Techniken ist gemein, dass es sich dabei um neuere Entwicklungen handelt, die ohne den Einsatz von Computern nicht durchführbar wären.

Ein besonderes medizinisches oder naturwissenschaftliches Wissen ist zur Lektüre nicht erforderlich. Fachbegriffe werden so weit wie möglich vermieden oder durch Fußnoten erklärt. Die Artikel im ersten Teil des Buches bauen aufeinander auf und sollten daher in der vorgegebenen Reihenfolge gelesen werden. Der sechste und siebte Beitrag sind zur Vertiefung gedacht und mit einer ausführlichen Literarliste versehen. Die drei Artikel im zweiten Teil des Buches können in beliebiger Reihenfolge gelesen werden.

Berlin, im März 2010  
Karl-Heinz Pantke

# **1. Was sind hämodynamische und elektrophysiologische Systeme? Was sind Elektroenzephalographie (EEG), Magnetenzephalographie (MEG), funktionelle Magnet-Resonanz-Tomographie (fMRT) und funktionelle Nah-Infrarot-Spektroskopie (fNIRS)? Was sind Paradigmen für Brain-Computer-Interfaces?**

## **Zusammenfassung**

Grundlegende Funktionen des Gehirns ermöglichen die Konstruktion eines Brain-Computer-Interfaces. Ein Gehirn produziert elektrische und magnetische Felder. Bei der Arbeit verbraucht es Energie. Hiermit kann über ein Paradigma ein Kommunikationscode generiert und ein Brain-Computer-Interface hergestellt werden, mit dem ein Gehirn einen Computer direkt ansteuert.

## **1.1 Einleitung**

Ein Brain-Computer-Interface (BCI)<sup>1</sup>, zu deutsch: *Gehirn-Computer-Schnittstelle*, ist eine spezielle Mensch-Maschine-Schnittstelle, die ohne Nutzung der Extremitäten oder irgendeiner motorischen Aktivität eine Verbindung zwischen dem Gehirn und einem Computer ermöglicht. Mit einem BCI können völlig Gelähmte einen Computer bedienen oder einen Rollstuhl steuern. Eigentlich handelt es sich dabei nicht um eine echte Schnittstelle, wenn man die umgangssprachliche Bedeutung dieses Begriffs zugrunde legt.

---

1 Einen Überblick zu wissenschaftlichen Publikationen verschiedener BCIs ist im Beitrag von Bettina Sorger et al., *Grundlagen hämodynamischer Brain-Computer-Interfaces*, in diesem Buch zu finden (Kapitel 4).

Denn die Kommunikation in die Gegenrichtung erfolgt über die Sinnessysteme des menschlichen Körpers, also durch optische und akustische Reize, die über Bildschirme oder Lautsprecher angeboten werden können. Im Grunde genommen wäre der Name Gehirn-Auslesemaschine deshalb passender<sup>2</sup>. Allerdings hat sich dieser Name nicht eingebürgert.

Das menschliche Gehirn verarbeitet hochdifferenzierte Sinneseindrücke und koordiniert komplexe Verhaltensweisen. Diese Aufgabenvielfalt hat ihren Preis. Das Gehirn macht nur etwa zwei Prozent der Körpermasse aus, verbraucht aber rund 20 Prozent des Sauerstoffs. Vom Gehirn ein- und ausgehende Informationen sind als bioelektrische Impulse codiert.

Damit wird klar, welche Möglichkeiten bestehen, dem Gehirn bei seiner Arbeit zuzuschauen. Eine Methode ist es, die Hirnströme zu beobachten. Es können entweder das elektrische oder das magnetische Feld gemessen werden, welche physikalisch gesehen gleichwertige Informationen liefern sollten. Während die Messung kleiner elektrischer Felder jedoch eine Standardmethode ist, bedarf der Nachweis kleiner magnetischer Felder eines nicht unerheblichen Aufwandes. Elektrophysiologische Systeme messen elektrische oder magnetische Felder des Gehirns.

Eine weitere Methode besteht darin, den Energieverbrauch des Gehirns mit einem Bildgebenden Verfahren sichtbar zu machen. Hierbei wird die Aktivität verschiedener Gehirnbereiche mit relativ hoher räumlicher Auflösung gemessen. Möglich wird dies durch den glücklichen Umstand, dass Hämoglobin, welches den Sauerstoff im Blut transportiert, seine physikalischen Eigenschaften mit der Oxidation ändert. Zum Einsatz kommen hämodynamische<sup>3</sup> Systeme, mit denen der Oxidationszustand des Hämoglobins sichtbar gemacht werden kann. Details hierzu finden sich in den Kapiteln über elektrophysikalische und hämodynamische Systeme (fMRT, fNIRS).

Anfangs waren diese Techniken sogar für das Militär von Interesse. Sie schienen eine Möglichkeit zu bieten, einen Kampffjet zu navigieren, wenn der Pilot aufgrund äußerer Einflüsse in Bewegungslosigkeit verfällt.

---

2 Prof. Birbaumer, der Pionier des BCI, führte dies Anfang der 1990er Jahre unter dem Namen „Gedankenübersetzungsmaschine“ ein.

3 Die Hämodynamik beschreibt den Blutfluss in den Blutgefäßen.

In einem solchen Flugzeug können Kräfte auftreten, die ein Vielfaches der Erdbeschleunigung betragen. Zum Glück zeigte sich jedoch schnell, dass eine von außen erzwungene Bewegungslosigkeit mit einer Eintrübung des Bewusstseins verbunden ist, sodass BCI-Anwendungen nicht benutzt werden können und Überlegungen in diese Richtung fallen gelassen wurden.

Natürlich können keine Gedanken sichtbar gemacht werden. Das ist aber auch gar nicht notwendig. Sieht man von einfachen Gesten zur Darstellung unserer elementaren Gefühle ab, so erfolgt ein Gedankenaustausch unter Menschen immer in codierter Form. Wir bedienen uns dabei zum Beispiel der Sprache. Diese kann mündlich oder schriftlich weitergegeben werden. Um dem Gehirn bei der Arbeit zuzusehen, müssen wir seine Sprache verstehen. Wir werden später detailliert sehen, wie es möglich ist, dass ein Gehirn mit einem Computer kommuniziert. Details zur Kommunikation finden sich im Kapitel über BCI-Paradigmen.

All dies hört sich ein wenig an wie eine Passage aus einem Frankensteinroman, beschreibt aber die Realität einer völlig gelähmten Person, die praktisch der Kontrolle ihres Körpers beraubt wurde. Sie besitzt daher keine Möglichkeit, durch eine Bewegung einen Computer zu bedienen. Das einzige Hilfsmittel, das ihr geblieben ist, ist die Kraft der Gedanken.

Das BCI ist in der Anwendung zentriert auf völlig gelähmte Menschen. Niemand kann in die Zukunft sehen, niemand weiß, wie sich die Technik weiter entwickelt. Vorstellbar ist, dass für einen gesunden Menschen ein BCI in einigen Jahrzehnten die Standardschnittstelle zur Kommunikation mit einem Computer sein wird. Aber das sind reine Spekulationen.

In diesem Kapitel werden grundlegende Effekte beschrieben, die es ermöglichen, die Aktivität eines Gehirns zu beobachten und ein BCI zu konstruieren. Betrachtet werden die Systeme vornehmlich von ihrer physikalisch-technischen Seite mit einem Verweis auf die Artikel in diesem Buch, in denen der medizinische Aspekt vertieft wird.

## 1.2 Elektrophysiologische Systeme

Es können entweder die elektrischen oder die magnetischen Felder der Hirnströme mit verschiedenen Methoden gemessen werden. Beide werden unter dem Oberbegriff elektrophysiologische Systeme zusammengefasst.

### 1.2.1 Elektroenzephalographie (EEG), Elektrokortikographie (ECoG) und intrakortikale Elektrodenableitung

1924 entwickelte Hans Berger an der Universität Jena die Elektroenzephalographie (EEG) (Pschyrembel, 2004) des Menschen (siehe Abb. 1, links).

Der Patient bekommt dabei eine Haube aufgesetzt, mittels derer Elektroden auf bestimmte Punkte der Kopfhaut gelegt werden. Von der Kopfoberfläche wird eine Spannung von 5 bis 100  $\mu\text{V}$  ( $1 \mu\text{V} = 1$  Millionstel Volt) abgegriffen, eine Größenordnung, die keine besonderen Anforderungen an die Messtechnik stellt. Ursache der Spannung sind physiologische Vorgänge der Gehirnzellen, die durch ihre bioelektrischen Zustandsänderungen zur Informationsverarbeitung des Gehirns beitragen. Das Verfahren besitzt eine hohe zeitliche Auflösung von bis zu einer Tausendstelsekunde, jedoch nur eine geringe örtliche Auflösung von einigen Zentimetern. Außer medizinischen Kenntnissen ist kein Spezialwissen zur Durchführung der Untersuchung notwendig.

Abb. 1 zeigt einen Patienten, bei dem ein EEG mit 32 Kanälen aufgenommen wird. Bei der Elektroenzephalographie handelt es sich um eine nicht invasive Technik, d.h. die Untersuchung wird durchgeführt, ohne dass in den Körper eingedrungen wird. Es gibt jedoch auch invasive Varianten des EEG, bei denen die Elektroden innerhalb des Kopfes angebracht werden. Dadurch wird die räumliche Auflösung bis zu einigen Millimetern gesteigert. Werden die Elektroden auf der Hirnhaut implantiert, so spricht man von einer Elektrokortikographie (ECoG) (Pschyrembel, 2004), bei einer Anordnung innerhalb des Gehirns von intrakortikaler Elektrodenableitung. Die Begrifflichkeit wird durch den Ort der Elektroden bestimmt.



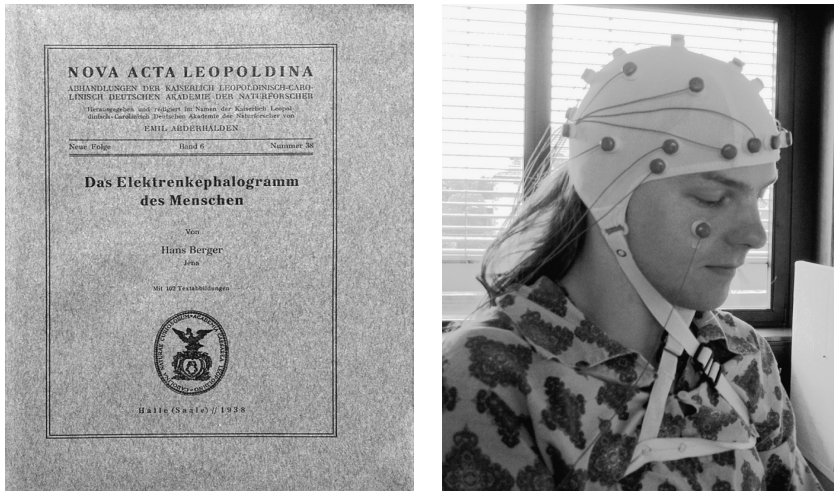


Abb. 1: Links: Erste Veröffentlichung von Hans Berger, rechts: EEG mit 32 Elektroden. Fotos: Wikipedia

### 1.2.2 Magnetenzephalographie (MEG)

Werden an einem Patienten die magnetischen Felder bestimmt, die mit den Aktivitäten des Gehirnes einhergehen, so spricht man von einer magnetenzephalographischen Messung (MEG) (Pschyrembel, 2004). Jedes elektrische Feld wird von einem magnetischen begleitet. Aus naturwissenschaftlicher Sicht sollten Untersuchungen des Magnetfeldes völlig gleichwertig zu Untersuchungen des EEG sein. Medizinisch ist es jedoch noch nicht gelungen, die beiden Methoden zusammenzuführen.

Messtechnisch stellt eine MEG-Messung eine Herausforderung dar. Das magnetische Feld des Gehirns hat eine Größenordnung im Femtotesla-Bereich (10<sup>-15</sup>) und ist damit 100 Millionen Mal schwächer als das Erdmagnetfeld. Solche geringen Feldstärken können nur mit SQUIDs<sup>4</sup>

<sup>4</sup> Superconducting QUantum Interference Device (Supraleitende Quanteninterferenzeinheit).

in außergewöhnlicher Präzision gemessen werden (Lenk, 1972). Hierbei handelt es sich um spezielle Sensoren, die nur im supraleitenden Zustand bei der Temperatur von flüssigem Helium ( $-269^{\circ}\text{C}$ ) arbeiten. Ein SQUID ist kein Messgerät, das einfach an die Steckdose angeschlossen wird. Betrachtet man allein die für das flüssige Helium notwendige Infrastruktur, so wird klar, dass solche Untersuchungen nur in größeren Universitätskliniken von einem ganzen Team von Spezialisten durchgeführt werden können.

Magnetoenzephalographische Untersuchungen haben für BCI-Anwendungen derzeit keine Bedeutung. Untersuchungen haben einen rein akademischen Charakter. Dies könnte sich allerdings ändern, wenn es gelingen sollte, SQUIDS zu entwickeln, die bei Stickstoffkühlung ( $-77^{\circ}\text{C}$ ) arbeiten. Dafür gibt es jedoch derzeit keinerlei Hinweise.

### 1.3 Hämodynamische Systeme

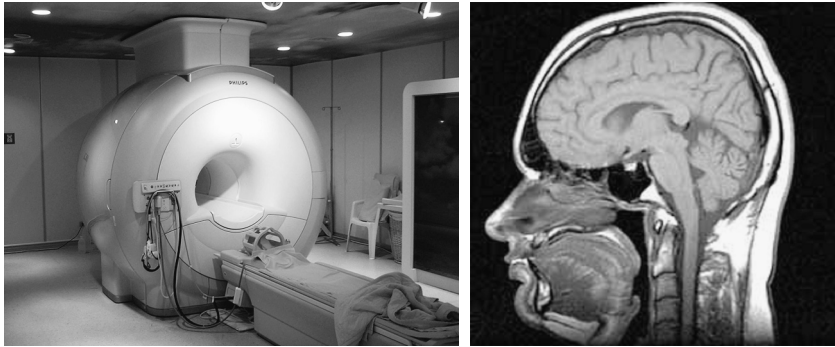
Hämodynamische Systeme messen den Blutfluss im Körper. Hämoglobin als Bestandteil des Blutes ändert seine physikalischen Eigenschaften mit dem Oxidationszustand. Dadurch kann direkt sichtbar gemacht werden, wo Sauerstoff verbraucht wird. Hierzu können verschiedene Eigenschaften des Hämoglobins genutzt werden, z.B. dessen Zustand in einem starken Magnetfeld oder dessen Absorptionsverhalten im Infraroten, jeweils vor und nach der Oxidation. Entsprechend unterscheidet man zwischen der funktionellen Magnetresonanztomographie (fMRT) und der Nah-Infrarot-Spektroskopie (NIRS). Beide Verfahren werden in den nächsten beiden Unterpunkten erläutert.

#### 1.3.1 Funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT)

Es gibt physikalische Eigenschaften, die nicht durch ein Sinnesorgan wahrgenommen werden können und für die auch keine Erklärung existiert, die durch unsere Anschauung bedient werden kann. Dazu gehört der Spin.<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup> Von engl. *spin*: Drehung, Drall.



*Abb. 2: Links: Moderner Hochfeld-MRI-Scanner (3T Achieva, the product of Philips at Best, The Netherlands), rechts: Schnitt durch den menschlichen Kopf. Fotos: Wikipedia*

Der Spin ist eine Eigenschaft von Elementarteilchen, den kleinsten Bausteinen der Atome, aus denen sich die Materie zusammensetzt. In der klassischen Physik hat er kein Pendant. Bemüht man dennoch die Anschauung, so wäre der Spin am ehesten mit einer Art von (nicht-klassischer) Eigenrotation vergleichbar.

Der Spin ist dafür verantwortlich, dass sich Atome in einem Feld magnetisieren lassen. Durch ein zweites Feld wird die Magnetisierung aus der Richtung des ersten ausgelenkt. Nach Abschalten des zweiten Feldes verschwindet die Störung. Gemessen wird die dafür benötigte Zeit. Bei verschiedenen Elementen in verschiedenen Gewebearten unterscheiden sich die Abklingzeiten der Störung. Dadurch ergeben sich unterschiedliche Signalstärken und somit unterschiedliche Helligkeiten im daraus resultierenden Bild. Aus den Signalen von verschiedenen Richtungen lassen sich mit einem Computer beliebige Schnitte durch den untersuchten Körper erstellen.

In der Praxis arbeitet man mit einem starken statischen Magnetfeld, wie es durch supraleitende Spulen erzeugt werden kann, und einem hochfrequenten Wechselfeld. Abb. 2 (links) zeigt einen Magnetresonanztomographen (MRT) (Wetzke, 2007).

Sicherlich sind diese Erklärungen unbefriedigend. Ein tiefergehendes

Verständnis des Gerätes setzt jedoch ein fundiertes physikalisches Wissen voraus, wie es bei den Wenigsten vorhanden sein dürfte. Merken Sie sich einfach, dass die Bilder vom Körper durch starke magnetische Felder erzeugt werden. Diese besitzen nicht die schädliche Wirkung wie ionisierende Strahlung.<sup>6</sup> Auf keinen Fall dürfen Personen mit einem Herzschrittmacher oder ferromagnetischen Materialien<sup>7</sup> im Körper mit einem MRT untersucht werden. Weichteile lassen sich sehr gut mit einem MRT abbilden, siehe Abb. 2 (rechts). Die räumliche Auflösung beträgt ca. 1 mm<sup>3</sup>.

Nur große Krankenhäuser können sich ein solches Gerät leisten. Zwar ist es sehr benutzerfreundlich geworden, jedoch sollte eine Person speziell mit dessen Betrieb beauftragt sein.

Die funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT<sup>8</sup>) ist eine Weiterentwicklung der klassischen Magnetresonanztomographie, sie erweitert MRT um einen funktionellen Anteil. Durch fMRT-Aufnahmen ist es möglich, Stoffwechselfvorgänge sichtbar zu machen, die aufgrund von Aktivität entstehen. Hämoglobin ändert seine physikalischen Eigenschaften mit dem Oxidationszustand. Dadurch kann sofort auf eine neuronale Aktivität im Gehirn geschlossen werden. Man sieht also, wo im Gehirn nachgedacht wird. Die zeitliche Auflösung – also die Zeit, die ein Gedanke benötigt, um in einer fMRT-Untersuchung sichtbar gemacht zu werden – beträgt etwa ein bis zwei Sekunden.

### 1.3.2 Funktionelle Nah-Infrarot-Spektroskopie (fNIRS)

Während die Funktionsweise eines Magnetresonanztomographen nur schwer veranschaulicht werden kann, knüpft die funktionelle Nah-Infrarot-Spektroskopie gut an unsere Erfahrungen an und kann entsprechend einfach erklärt werden.

Arteriell, also sauerstoffreiches Blut unterscheidet sich in seiner Farbe von venösem, also sauerstoffarmem Blut. In Aufsicht<sup>9</sup> hat arterielles

---

6 Z.B. gehört Röntgenstrahlung zur ionisierenden Strahlung.

7 Magnetismus, so wie er z.B. in Eisen, Kobalt und Nickel auftritt.

8 Englisch: fMRI (*functional Magnetic Resonance Imaging*).

9 In Durchsicht schimmert venöses Blut bläulich und gibt den Venen ihre Farbe

Blut eine hellrote Farbe und venöses eine dunkelrote. Beide Farben entsprechen zusammen einem Spektralbereich von ca. 600 bis 760 nm. Der anschließende Spektralbereich bis zu 1.000 nm kommt bei der Nahinfrarotspektroskopie (fNIRS) zur Anwendung<sup>10</sup>. Die verschiedenen Farben rühren vom unterschiedlichen Absorptionsverhalten venösen und arteriellen Blutes.

Sichtbares Licht wird natürlich vollständig von unseren Schädelknochen absorbiert. Anders die nahe Infrarotstrahlung: Diese kann einige Zentimeter in unsere Schädeldecke eindringen, wobei das oben geschilderte Absorptionsverhalten erhalten bleibt. Gemessen wird die Schwächung von naher Infrarotstrahlung. Hieraus kann auf das Verhältnis von venösem zu arteriellem Blut geschlossen werden. Die räumliche Auflösung entspricht ungefähr der Eindringtiefe des Lichts, also einige wenige Zentimeter. Die zeitliche Auflösung einer fNIRS-Messung, entspricht der einer fMRT-Messung, beträgt also ungefähr eine Sekunde.

Mit funktioneller Nah-Infrarot-Spektroskopie (fNIRS) kann somit direkt das Verhältnis von venösen zu arteriellen Blut bestimmt werden. Details zur Durchführung können den weiteren Artikeln dieses Abschnitts entnommen werden.

#### 1.4 EEG-, MEG- sowie fMRT-Paradigmen für Brain-Computer-Interfaces

Brain-Computer-Interface mit	Mustererkennung in den Artikeln von
EEG	Tangermann et al.
MEG	Tangermann et al.
fMRT	Sorger et al.

Tab. 1: BCI-Paradigmen

---

(subtraktive Farbmischung). Die Bezeichnung „blaublütige Menschen“ für Adlige kommt wahrscheinlich daher, dass diese sich nur wenig körperlich betätigten und daher mehr sauerstoffarmes Blut in ihren Körpern hatten.

<sup>10</sup> Zur Literatur siehe die Beiträge von Bettina Sorger et al. in diesem Buch.

Wir haben in den letzten Abschnitten gesehen, dass das Nachdenken in einem Gehirn wahrgenommen werden kann.

Zur Konstruktion eines Brain-Computer-Interfaces müssen diese Gehirnaktivitäten in Steuerbefehle für Computer umgewandelt werden. Ein Paradigma für Brain-Computer-Interfaces liefert eine Übersetzung von Hirnaktivitäten in Steuerkommandos für einen Computer: Tab. 1 verweist auf Artikel in diesem Buch, die sich mit dieser Materie beschäftigen.

### 1.5 Schluss

Von zentraler Bedeutung ist die Alltagstauglichkeit möglicher Brain-Computer-Interfaces.

An erster Stelle stehen BCIs, die über das EEG arbeiten. Anwendungen über das MEG und fNIRS spielen derzeit keine Rolle, besitzen jedoch ein großes Potential. Auch für fMRT sind keine Anwendungen außerhalb der

System, geeignet für ein Brain-Computer-Interface			Auflösung		Details in den Artikeln von
			räumlich	zeitlich	
Elektrophysiologische Systeme	elekttrisch	EEG	einige cm	0,001 Sek.	Kübler et al. Gräser et al.* Sorger et al. Birbaumer et al.*
		ECoG	unter 1 cm	0,001 Sek.	
		Intra. Elektrodenableitung	einige mm	0,001 Sek.	
	magnetisch	MEG	Wie EEG	Wie EEG	Birbaumer et al.*
Hämodynamische Systeme	funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT)		mm <sup>3</sup>	1-2 Sek.	Sorger et al. Birbaumer et al.*
	funktionelle Nah-Infrarot-Spektroskopie (fNIRS)		2-3 cm Eindringt.	1-2 Sek.	Sorger et al. Birbaumer et al.*

\* Dieser Artikel ist nur nach dem Erwerb der Grundlagen verständlich

\*\* Dieser Artikel hat Anwendungen zum Schwerpunkt

Tab. 2: In diesem Buch besprochene BCI-Systeme

Klinik denkbar, allerdings kann dessen Erkenntnisgewinn in Wissenschaft und Klinik gar nicht hoch genug eingeschätzt werden. Tab. 2 fasst die in diesem Kapitel vorgestellten BCI-Anwendungen zusammen und verweist auf die Kapitel, in denen der medizinische Hintergrund vertieft wird.

*Für zahlreiche Diskussionen bedanke ich mich bei Maria Lepek und Martin Schielke.*

## **1.6 Literatur**

- Berger H: Über das Elektrenkephalogramm des Menschen. in: Arch f Psychiatr 87, 1929: 527-570.
- Lenk R (Hrsg.): ABC der Physik. (siehe Josephson-Effekt), VEB F. A. Brockhaus, Leipzig, 1972.
- Psychrembel W: Klinisches Wörterbuch. de Gruyter, Berlin & New York, 260. Aufl., 2004.
- Wetzke M: Bildgebende Verfahren, Urban & Fischer, München & Jena, 2007.

## **Kontakt**

Dr. Karl-Heinz Pantke  
LIS e.V.  
Herzbergstr. 79, Haus 30  
10365 Berlin  
E-Mail: pantkelis@arcor.de

Karl-Heinz Pantke<sup>a</sup>, Angela Jansen<sup>b</sup>, Anama Fronhoff<sup>a</sup>,  
Norbert Wernitz<sup>a</sup>, Sonja Ufer<sup>a</sup> <sup>1</sup>

## **8. Unterstützte Kommunikation bei erworbenen motorischen Einschränkungen**

### **Zusammenfassung**

Dieser Beitrag untersucht Kommunikationshilfsmittel bei Patienten, die aufgrund erworbener motorischer Einschränkungen nicht mehr zu verbaler und nonverbaler Kommunikation fähig sind, jedoch teilweise über eine gewisse Restmotorik verfügen. Für diesen Personenkreis gibt es eine Alternative zu Brain-Computer-Interfaces. Diese Menschen sind bei erhaltenem Bewusstsein fast vollständig gelähmt und unfähig, sich sprachlich oder durch Bewegungen verständlich zu machen d.h. leiden unter einem Locked-in-Syndrom (LIS). Totales, klassisches und partielles LIS werden erklärt. Tritt nach einem Schlaganfall ein LIS auf, ist dies der Beginn einer Erkrankung. Andere Krankheiten können von einem LIS-ähnlichen Zustand zeitweise begleitet werden oder aber in diesem enden. Hilfsmittel bei einem LIS werden vorgestellt. Viele Kommentare von Nutzern beschließen den Artikel.

### **8.1 Einleitung**

Jeder kennt das Gefühl, im Traum weglaufen zu wollen, dies aber nicht zu können. Ähnlich geht es einem Patienten mit einem Locked-in-Syndrom<sup>2</sup>. Allerdings ist jetzt der Traum zu einer albtraumähnlichen Realität gewor-

---

1 a: LIS e.V., b: ALS-mobil

2 Hintergrundwissen zum Locked-in-Syndrom ist in dem Buch *Das Locked-in-Syndrom: Geschichte, Erscheinungsbild, Diagnose und Chancen der Rehabilitation*, herausgegeben von LIS e.V., enthalten. Es erscheint 2010 im Mabuse Verlag.



den. Der Patient ist wach und bei klarem Bewusstsein. Er ist jedoch fast vollständig gelähmt und nicht in der Lage, sich verbal oder anders zu äußern. Lediglich vertikale Augenbewegungen sind möglich. Wir möchten an dieser Stelle nicht ausdiskutieren, ob es sich um eine Strafe oder eine Gnade handelt, wenn Sie mitbekommen, was die Krankheit mit Ihnen gemacht hat.

Obwohl die erste Erwähnung bereits durch Alexandre Dumas im Graf von Monte Christo (Dumas, 1996) erfolgt, wurde der Begriff Locked-in-Syndrom erst in den 1960er Jahren von Plum und Posner geprägt (Plum/Posner 1966). Diese erkannten erstmals den neurologischen Hintergrund des Krankheitsbildes. Ursache ist ein Schlaganfall, der Areale schädigt, die rein für die Motorik verantwortlich sind. Die Erkrankung beginnt mit einem LIS. Die Sterblichkeit ist hoch; durch eine langwierige Rehabilitation kann jedoch eine Besserung erreicht werden.

Eine Einteilung in totales, klassisches und partielles LIS erfolgte durch Bauer et al. (Bauer et al., 1979) Beim totalen Locked-in-Syndrom hat die Lähmung den ganzen Körper erfasst. Auch Augenbewegungen sind nicht möglich. In diesem Zustand könnte lediglich über ein Brain-Computer-Interface eine Kommunikation hergestellt werden. Im Gegensatz hierzu sind beim klassischen Locked-in-Syndrom vertikale Augenbewegungen möglich. Über diese kann ein einfacher Ja-Nein-Code zum Patienten aufgebaut werden. Beim partiellen Locked-in-Syndrom können neben der vertikalen Beweglichkeit der Augen noch weitere Körperteile bewegt werden, z.B. der Kopf oder ein Finger. Nach einem Schlaganfall können sich die verschiedenen Verlaufsformen ineinander umwandeln. Direkt nach dem Infarkt mag ein totales Locked-in-Syndrom vorliegen, das sich erst in ein klassisches und später in ein partielles Locked-in-Syndrom umwandelt.

Streng genommen kann der Begriff „Locked-in-Syndrom“ nur für einen Zustand nach einem Schlaganfall verwendet werden. Es hat sich jedoch eingebürgert, diesen Begriff auch bei weiteren Erkrankungen des zentralen Nervensystems zu verwenden, die in einer fast vollständigen Lähmung enden. Stellvertretend für diese ganze Klasse von Muskelerkrankungen ist die amyotrophe Lateralsklerose (ALS) zu nennen. Der Endzustand dieser Krankheit ist rein äußerlich kaum von dem oben beschriebenen Locked-in-Syndrom zu unterscheiden.

## 8.2 Verschiedene Hilfsmittel der Unterstützten Kommunikation bei motorischen Einschränkungen

Es werden nur solche Hilfsmittel betrachtet, die für Menschen geeignet sind, die Sprache verstehen und verarbeiten können, aufgrund einer Krankheit oder eines Unfalls aber nicht mehr zu verbaler und nonverbaler Kommunikation fähig sind.

### *Brain-Computer-Interfaces<sup>3</sup>*

Das System funktioniert ohne irgendeine Bewegung des Körpers. Das einzige System, das bei einem totalen Locked-in-Syndrom geeignet ist.

### *Eye-Gaze-Systeme<sup>4</sup>*

Ein kalibriertes Kamerasystem misst die Position der Pupille. Damit kann festgestellt werden, welcher Buchstabe auf einer Bildschirmstatur fixiert wird.

### *Systeme, die über die Beweglichkeit des Kopfes gesteuert werden<sup>5</sup>*

Am Kopf oder an der Brille ist ein Infrarotreflektor befestigt. Eine Kamera misst die Position des reflektierten Strahls. Es gibt auch Ausführungen, bei denen ein Laserpointer direkt am Kopf befestigt wird.

### *Systeme, die im Scanningmodus betrieben werden<sup>3</sup>*

Oft ist die Kontrolle über einen Körperteil, z.B. einen Finger oder einen Fuß zurückgekommen bzw. erhalten geblieben. Dies kann dann zum Aufbau eines Kommunikationskanals benutzt werden. Bei einem Textsystem, das im Scanningmodus arbeitet, bietet das Gerät nacheinander die Buchstaben an, die durch einen einfachen Klick ausgewählt werden können.

---

3 Deutsche Gesellschaft für Muskelkranke e.V. (DGM), <http://www.dgm.org>. Siehe die vielen Beispiele in diesem Buch.

4 Siehe auch das Blickerfassungssystem von Christan Lange in diesem Buch.

5 Siehe auch die kostenlose Kopfmaus im Artikel *Open Source und Freie Software als Hilfsmittel zur Unterstützten Kommunikation* von Deutsch/Gniffke in diesem Buch (Kapitel 9).

### 8.2.1 Erkrankungen mit dem Locked-in-Syndrom als Endzustand

Eine Muskelerkrankung (Volksmund: Muskelschwund) wie z.B. ALS schreitet immer weiter fort. Der Verlauf kann jedoch verlangsamt werden. In der Regel endet die Krankheit in völliger Bewegungslosigkeit; lediglich die Beweglichkeit der Augen bleibt voll erhalten. Es gibt sehr viele Verlaufsformen von ALS. Dazu gehören solche Varianten, die nur einen Teil des Körpers erfassen, und solche, die in einer kompletten Lähmung enden, d.h. vom äußeren Erscheinungsbild eines totalen Locked-in-Syndroms ununterscheidbar sind. Einmal im Locked-in-Syndrom angekommen, ist es eher unwahrscheinlich, dieses wieder zu verlassen.

### 8.2.2 Erkrankungen mit dem Locked-in-Syndrom als Anfangszustand

Nach einem Schlaganfall ist der Locked-in-Zustand nur vorübergehend. Nach einigen Monaten können einzelne Extremitäten wieder bewegt werden. Es ist kein Mitglied von LIS e.V. nach einem Schlaganfall bekannt, das dauerhaft im Locked-in-Zustand verharret ist.

## 8.3 Umfragen unter Mitgliedern von LIS e.V.

Viele der Mitglieder von LIS e.V. haben einen Schlaganfall erlitten, leiden unter einer Verletzung des Gehirns und haben in Folge ein Locked-in-Syndrom erlitten. Unter ihnen wurden im Jahr 2004 Fragebögen verteilt (n = 36). Die Ergebnisse der Umfrage wurden im März 2009 auf einer Tagung von LIS e.V. präsentiert und können im Deutschen Ärzteblatt nachgelesen werden (Dt. Ärzteblatt 2009). Gefragt wurde nach der Hilfsmittelversorgung direkt nach dem Infarkt. Obwohl anfänglich alle Befragten die Fähigkeit zur verbalen Kommunikation verloren hatten, erlernte ein Teil nach einigen Monaten das Sprechen wieder.

### 8.3.1 Die ersten ein bis zwei Jahre

Abb. 1 zeigt die Hilfsmittelversorgung in der Unterstützten Kommunikation nach dem Infarkt (Mehrfachnennungen möglich). Es dominieren kostenlose Methoden wie Buchstabentafeln oder Ja-Nein-Codes. Bei diesen Methoden wird das Alphabet auf einer Buchstabentafel gezeigt oder aufgesagt. Beim Erreichen des gewünschten Buchstaben schließt der Patient die Augen. Aus Buchstaben entstehen Worte und aus diesen Sätze. Diese Methode kann überall eingesetzt werden. Sie erfordert allerdings ein Höchstmaß an Konzentration; auch spontane Äußerungen oder eine Unterhaltung mit mehreren Personen sind nicht möglich.

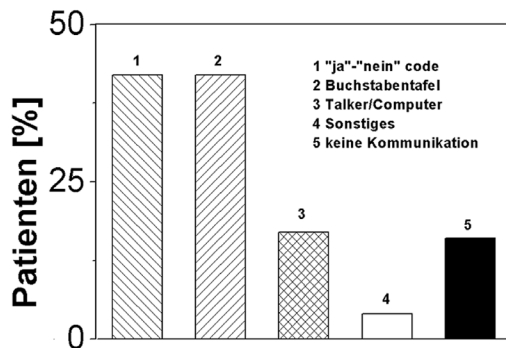


Abb. 1: Ergebnisse einer 2004 durchgeführten Umfragen unter Mitgliedern von LIS e.V. an  $n = 36$  Personen, von denen bekannt war, dass sie einen Schlaganfall mit Locked-in-Syndrom hatten, wurden Fragebögen verschickt. Gefragt wurde nach der Kommunikationsmöglichkeiten nach dem Infarkt.

Etwas erschrocken waren wir über die 16 % der Patienten, die angaben, ohne Kommunikation gewesen zu sein. Diese Personen lebten zum Teil über Monate in völliger Isolation, ohne dass irgendjemand sich die Mühe machte, zu ihnen Kontakt aufzunehmen. Welches Martyrium wurde da durchlebt!