

Unbewegt sitze ich vor einem Computer und schreibe diese Zeilen. Nur durch Gedankenkraft und eine Kappe voller Elektroden erscheinen immer mehr schwarze Buchstaben auf dem weißen Bildschirm. Die Geräte am Ende der unzähligen Kabel, die von meinem Kopf wegführen, sind klein und blinken wirr. Mein Brain-Computer-Interface läuft auf Hochtouren.

Wenn Computer „Liebe“ lernen

von Dirk Tassilo Hettich

Er kann nicht gehen, nicht sprechen, nicht atmen. Jean-Dominique Bauby ist einer der bekanntesten Autoren der französischen Modewelt. Als er nach einem Autounfall aus dem Koma erwacht, findet er sich vollständig gelähmt im Krankenhaus wieder. Ein Schlaganfall im Hirnstamm sollte sein Leben für immer verändern. Die Ärzte diagnostizieren ihm das locked-in Syndrom. Einzig und allein ein Blinzeln des linken Auges verrät, dass Jean-Dominique noch lebt. Eine Logopädin gibt ihm neue Hoffnung. Sie entwickelt ein langwieriges Kommunikationssystem. Nacheinander liest sie Jean-Dominique alle Buchstaben des französischen Alphabets vor. Er klingt der richtige Buchstabe, zwinkert er. Buchstabe für Buchstabe diktiert Jean-Dominique ihr seine Lebensgeschichte: 2007 erscheint sein Buch *Schmetterling und Taucherglocke*. Jean-Dominique erhielt, was vielen anderen Patienten versagt bleibt: Die

Möglichkeit, zu kommunizieren. Sein Schicksal fügte sich zum Besseren. Doch was wäre mit Jean-Dominique passiert, wenn der Schlaganfall auch sein Auge gelähmt hätte?

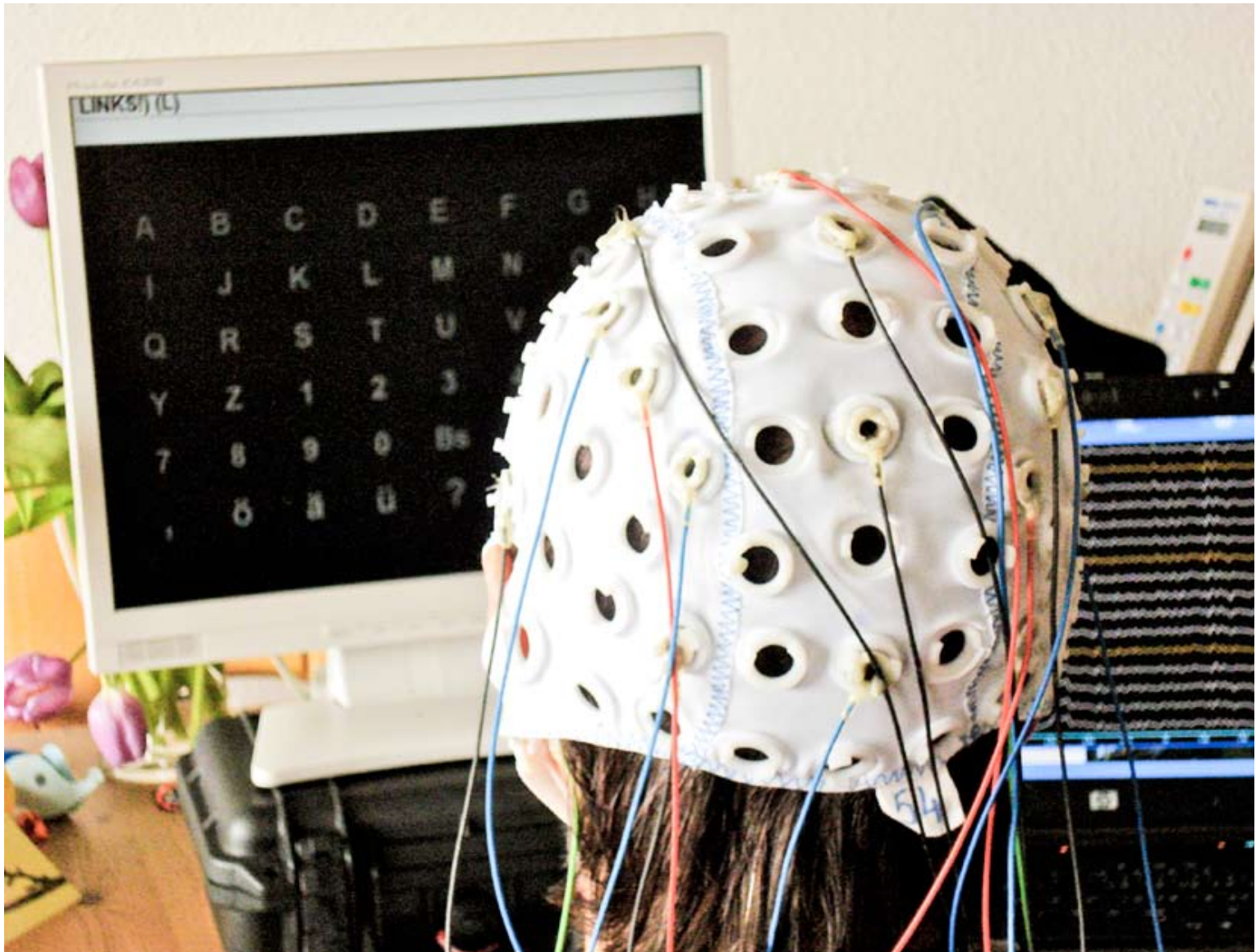
Ein Unfall zerstört sein Leben, doch er gibt nicht auf

Um Patienten wie Jean-Dominique zu helfen, entwickeln Forscher Brain-Computer Interfaces - Schnittstellen zwischen Maschinen und dem menschlichen Gehirn. Brain-Computer Interfaces (BCIs) sind technische Kommunikationssysteme, durch die eine Nachricht übermittelt werden kann, ohne die Leitungsbahnen von Muskeln und Nerven zu benutzen. Sie ersetzen neuronale Schaltungen, die für die Muskelkontraktion zuständig sind. Gelähmte Patienten, die weder Mund noch Zunge oder Gliedmaßen bewegen können, kommunizieren so mit der Außenwelt. Viele befinden sich im locked-in Zustand. Sie sind nahezu vollständig paralysiert und ihre neuronalen

Schaltungsbahnen stark beschädigt. Ein Augenblinzeln, ein Lippenzucken – mehr bleibt den Patienten nicht.

Amyotrophe Lateralsklerose ist neben dem Schlaganfall eine der häufigsten Ursachen für den locked-in Zustand. Im Verlauf dieser Krankheit lösen sich Motoneurone auf und lähmen Patienten immer mehr. Es ist möglich, dass Patienten in einem späten Stadium dieser Krankheit in den complete locked-in Zustand fallen und jegliche Kontrolle über ihre Muskeln verlieren. Bei Schlaganfällen können Schädigungen des Hirnstamms und somit der motorischen Signalwege einen locked-in Zustand hervorrufen. Könnten Patienten durch Brain-Computer-Interfaces ihre Wünsche und Gedanken in Echtzeit verbalisieren und durch einen Computer vorlesen lassen, würde dies ihre Lebensqualität erheblich steigern.

Was ist aber mit BCIs möglich und vor allem – wie funktionieren sie eigentlich? Das Brain-Computer Interface besteht aus einem Input, der Hirnaktivität, und einem Output, dem Befehl



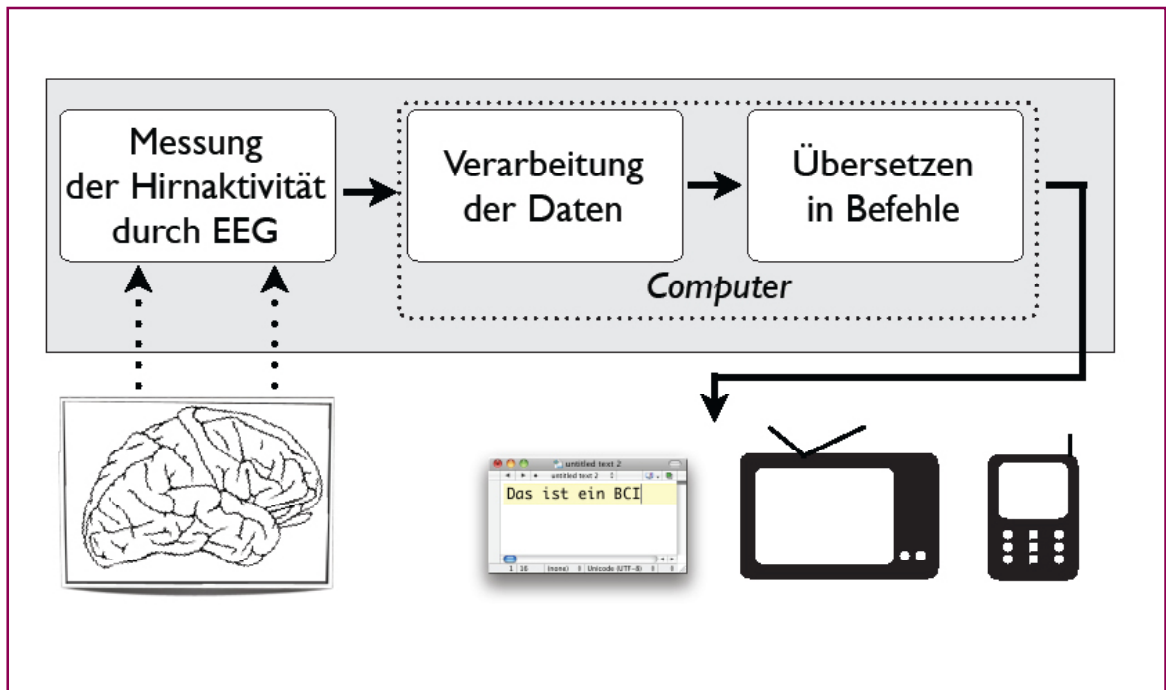
Konzentriert, aber schmerzlos: Eine Patientin mit EEG-Haube vor einem Bildschirm mit P300 Matrix. Rechts im Bild ist auf einem Laptopbildschirm die Hirnaktivität zu sehen.

an die Geräte, die mit dem BCI gesteuert werden sollen. Um den Input in den Output zu übersetzen, wird ein Computer dazwischengeschaltet. Ein Protokoll regelt das Zusammenspiel aller Teilsysteme und das Timing. Die Hirnaktivität wird durch ein EEG gemessen und im Computer verarbeitet. Dieser extrahiert bestimmte Muster und übersetzt sie in Gerätebefehle.

Elektroden in einer Kappe messen die Aktivität des Gehirns. Ihr Signal wird an einen Verstärker weitergeleitet und dann ausgewertet. Diese Metho-

de bezeichnet man als EEG. Sie zeigt Auslenkungen der elektrischen Aktivität der Nervenzellen des Gehirns auf dem Schädel an. Psychologie und Verhaltensneurobiologie liefern uns Methoden, bestimmte Muster in der Gehirnaktivität des Patienten zu erzeugen, die mit einem EEG sichtbar gemacht werden können. In einer Versuchsanordnung wird dem Patienten eine Reizabfolge präsentiert, die nur bestimmte Nervenzellen aktiviert. Das nun im EEG zu sehende Muster repräsentiert das Neuronenfeuer, das in Reaktion auf den Reiz

im Gehirn entsteht. Es heißt ereigniskorreliertes Potential. Verstärker bereiten das EEG-Signal auf, das an einen Computer weitergeleitet und ausgewertet wird. Kein Patient jedoch gleicht dem anderen – jeder Patient hat andere Krankheitssymptome und körperliche Einschränkungen. Forscher haben deshalb Brain-Computer Interfaces entwickelt, welche mit auditorischen oder visuellen Reizabfolgen arbeiten. Die verschiedenen Herangehensweisen nennen sich Paradigmen zur BCI-Kontrolle. Je nach Einschränkung



Interaktion der einzelnen Komponenten eines Brain-Computer-Interfaces.

kann der Patient nun durch gehörte oder gesehene Reize lernen, seine Gehirnsignale dem BCI anzupassen. Doch auch der Computer lernt, die individuell unterschiedlichen Signale der Patienten zu lesen. Das ereignis-korrelierte Potential P300 ist eine positive Auslenkung im EEG, welche etwa 300 ms nach dem Stimulus zu sehen ist. Dieses Signal zeigt an, dass der Patient eine Entscheidung fällt, wobei er einen Zielreiz in einer Reihe zufälliger Reize erkennt. Wir benutzen es als Kontrollsignal für ein visuelles Brain-Computer-Interface.

„LIEBE“ in der Matrix!

Der BCI-Nutzer sitzt mit einer EEG-Haube vor einem Bildschirm und betrachtet eine Matrix aus Zahlen, Buchstaben und anderen Zeichen. Ihre Zeilen und Spalten blinken zufällig auf.

Das Ziel des Nutzers ist es, dem Computer das Wort „LIEBE“ beizubringen: Hierzu möchte er die Buchstaben „L“, „I“, „E“, „B“ und „E“ auswählen. Leuchtet nun die Zeile oder Spalte der Matrix, die das „L“ enthalten auf,

so zählt der Nutzer im Kopf um eines nach oben. Dies zeigt an, dass er den Zielreiz „L“ aus der Reihe von zufälligen Reizen erkannt hat und löst eine P300 im Gehirn des Nutzers aus, welche vom Computer erkannt wird.

Wie aber entscheidet der Computer, welchen Buchstaben der Patient ausgewählt hat? Die Auswertung erledigt der Computer mit dem Klassifizierer – ein Programm, das EEG-Daten analysiert, um das neuronale Signal P300, das den Zielbuchstaben angibt, eindeutig zu bestimmen. Besonders wichtig ist hier das Protokoll, das die Interaktionen und das Timing regelt. In mehreren Trainingsdurchgängen wird dem Nutzer ein Buchstabe vorgegeben, den er durch Gedankenkraft auswählen soll. Hat der Nutzer den Zielbuchstaben etwa fünfzehn Mal richtig erkannt, so ist er durch den Computer eindeutig zu bestimmen. Die Auswahlzeit kann herabgesetzt werden, wenn der Patient häufig übt. Der Nutzer lernt also, seine Aufmerksamkeit auf den Zielbuchstaben zu erhöhen und die dadurch ausgelöste neuronale Aktivität zu verstärken. Absolviert der Patient mehrere Trainingsdurchgänge, kann er natürlich

auch frei schreiben. Die Matrix ermöglicht uns aber noch viel mehr! Sie kann nämlich nicht nur mit Buchstaben, sondern auch mit beliebigen Inhalten gefüllt werden. Der Prozess und die Auswahl bleiben gleich. Am Institut für Medizinische Psychologie und Verhaltensneurobiologie wurde ein Browser Add-On entwickelt, welches die Links auf einer Internetseite mit Buchstaben kodiert. Diese können dann neben dem Browserfenster in der P300 Matrix mit dem BCI ausgewählt werden. Für locked-in Patienten eröffnet dies unzählige Möglichkeiten, eigenständig am sozialen Leben teilzunehmen – auf ebay oder Amazon einzukaufen, Freundschaften auf Facebook oder Google+ zu pflegen oder E-Mails zu schreiben.

„LIEBE“ geht durch den Kopfhörer

Die Matrix arbeitet im bisher vorgestellten Paradigma mit visuellen Reizen. Es ist aber auch möglich, dieses Paradigma mit auditorischen Reizen durchzuführen. Grundsätzlich bleibt der Aufbau gleich, nur werden nun die Zeilen und Spalten der Matrix

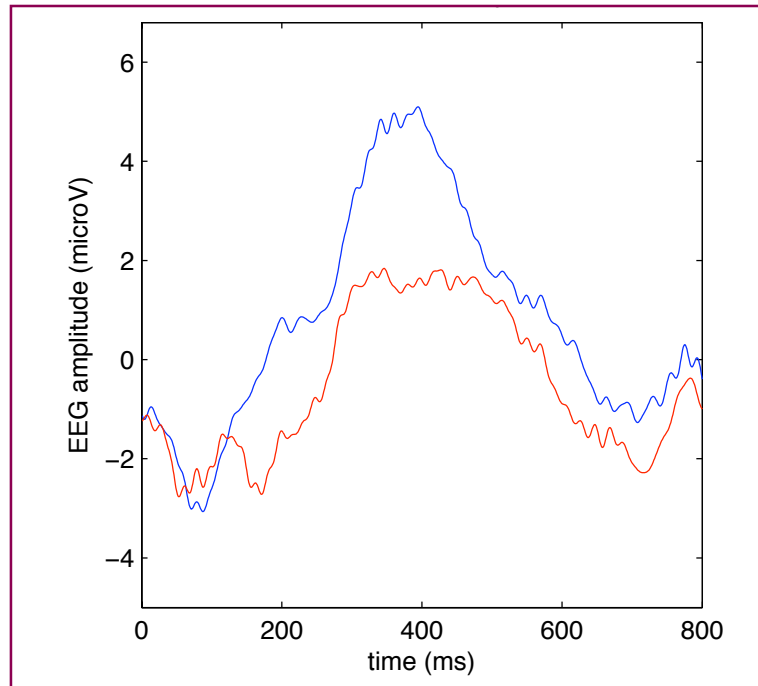
durchnummeriert: Die Zeilen erhalten die Nummern Eins bis Fünf und die Spalten die Nummern Sechs bis Zehn.

Die Nummern werden dem Patienten vorgespielt. Dies ersetzt das Blinken der Matrix im visuellen Paradigma. Ein Assistent erklärt dem Nutzer die Inhalte der Matrix. Der Nutzer weiß nun, dass das „L“ in Zeile Drei und Spalte Zwei - also der Nummer Sieben - steht. In einem Trainingsdurchgang werden nun die Nummern vorgelesen. Hat der Nutzer die richtige Zielnummer erkannt hat, zählt er um Eins nach oben. Für Patienten ist der auditive Ansatz sehr erschöpfend. Blinde Nutzer hingegen können so auch vom Brain-Computer-Interface profitieren.

Auf der Suche nach einem geeigneten Kontrollsignal hatte mein Chef die Idee, das ereigniskorrelierte EEG-Potential N400 zu untersuchen. N400 tritt bei der Wahrnehmung semantischer Unstimmigkeiten auf, wie im nächsten Satz deutlich wird: „Ich trinke meinen Kaffee mit Milch und Socken“. Auch bei falschen Wortpaaren in einer Serie von richtigen Wortpaaren wird dieses Signal ausgelöst: „Katze – Maus; Tisch – Stuhl; Thunfisch – Auto“. Kann das Signal N400 zur Steuerung auditorischer BCIs genutzt werden? Wir glauben: Ja!

Mein Job: Finde das Kontrollsignal!

Im folgenden Aufbau versuchen wir, unsere Idee in Wirklichkeit umzusetzen. Wortpaare werden dem Nutzer über Kopfhörer auf beiden Ohren zugleich durch einen Computer vorgespielt. Nun muss der Nutzer seine Aufmerksamkeit entweder auf die linke oder auf die rechte Seite richten. Hört der Nutzer ein semantisch falsches Wortpaar auf der mit Aufmerksamkeit bedachten Seite, tritt ein N400-Signal auf. Der Versuchsleiter stellt dem Nutzer vor Beginn des Messvorgangs eine Ja/Nein-Frage. Möchte der Nutzer mit Ja antwor-



Das ereigniskorrelierte Potential N400 ist eine Auslenkung im EEG, die etwa 400 Millisekunden nach dem Stimulus auftritt – zum Beispiel bei semantischen Unstimmigkeiten in der Sprache. Dieses Signal ist ein potentielles Kontrollsignal für ein Brain-Computer-Interface.

ten, so soll er seine Aufmerksamkeit auf die linke Seite lenken. Für eine Nein-Antwort richtet er sie auf die rechte Seite. Nach einigen Versuchsdurchgängen kann der Klassifizierer erkennen, auf welche Seite sich der Nutzer konzentriert hat. So ist klar, ob der Nutzer mit „Ja“ oder „Nein“ antworten möchte. Meine Aufgabe war es, den Klassifizierer so anzupassen, dass er das N400-Signal richtig erkennen und somit die durch den Nutzer ausgewählte Seite ausgeben kann. Diese Art von BCI ermöglicht in diesem Aufbau nur die beiden Antwortmöglichkeiten Ja oder Nein. Menschen, die

überhaupt nicht kommunizieren können, bedeutet dies aber schon sehr viel.

Uns allen und mir ganz besonders ist wichtig, dass Patienten in Zukunft ein kostengünstiges Brain-Computer Interface, das die Versuchspartnern und Parameter selbst auswählt, auch ohne Hilfe von Experten nutzen können. Wer weiß, ob Brain-Computer Interfaces nicht doch irgendwann die Mäuse und Tastaturen unserer Computer ersetzen und wir an einen Text wie diesen nur zu denken brauchen, bis er schließlich wie von Geisterhand auf dem Bildschirm erscheint. •

Dirk Tassilo Hettich (hier bei einem EEG-Experiment) studiert Bioinformatik und beschäftigt sich in seiner Masterarbeit am Institut für Medizinische Psychologie und Verhaltensneurobiologie Tübingen mit BCIs. Speziell arbeitet er an ihrer mobilen Anwendung auf Tablet-PCs und des Weiteren mit Biofeedbacktraining für Kinder, die ADHS haben. Neben dem Studium macht Dirk eigentlich nur Musik. Die Spritze sieht übrigens schlimmer aus als sie ist. Man spritzt lediglich Paste zwischen Kopfhaut und Elektroden, um die elektrische Leitfähigkeit zu verbessern.

