

Unterstützte Kommunikation nach Schlaganfall oder degenerativen Erkrankungen des motorischen Nervensystems¹

Vergleich der Kommunikationsgeschwindigkeiten

Karl-Heinz Pantke, Christine Kühn, Gudrun Mrosack

Einleitung

Besonders schmerzlich wird von Betroffenen nach einem Schlaganfall der Verlust verbaler Kommunikation empfunden. Geht dieser einher mit einer Lähmung von den Augen abwärts, bei gleichzeitig erhaltenem Bewusstsein, so spricht man auch von einem Locked-in-Syndrom (Pantke 2011). Unterschieden werden ein klassisches, ein inkomplettes und ein totales Locked-in-Syndrom (Bauer et al. 1979). Dieser Zustand ist in der Regel transient (ebd.) und ein Teil der Betroffenen erlernt sogar das Sprechen wieder.

Aus einer Umfrage von LIS e.V. unter Betroffenen des Locked-in-Syndroms aus dem Jahr 2005 geht hervor, dass dieses für 67 % zutrifft, 33 % können nicht sprechen. Der Anteil von Personen, die auf Hilfsmittel der Unterstützten Kommunikation angewiesen sind, ist jedoch doppelt so hoch, da wegen der Lähmung oft kein Schreibgerät oder keine normale Tastatur bedient werden kann. Er liegt bei 68% (Krüger-Brand 2008).

In der Zeit direkt nach dem Infarkt sind alle Betroffenen ohne verbale Kommunikationsmöglichkeiten. Sie können wegen der Lähmung auch nicht zeigen und nichts aufschreiben. Wir empfehlen für diese Übergangszeit eine Kommunikation über die Augensprache und eine Buchstabentafel (kostenlose Buchstabentafeln auf der Homepage von LIS e.V. (Onlinequelle 1)). Ersetzt man den nichtbetroffenen Kommunikationspartner bei der Verständigung mit einer Buchstabentafel durch einen Computer, so kommt man zu einem technischen Scanning-Verfahren. Vorteil ist, dass eine von einem Assistenten unabhängige Kommunikation möglich ist. Nachteil ist die Abhängigkeit von einem technischen Gerät, das jederzeit einer Störung unterliegen kann.

Es sollte in diesem Zusammenhang angemerkt werden, dass symbolorientiert konzipierte Kommunikationshilfen für diesen Kreis von Betroffenen nicht geeignet sind. Es kommt einer Entmündigung gleich, wenn Personen, die über ein vollständiges Sprachsystem verfügen, ausschließlich über ein Symbolsystem kommunizieren sollen. Die Arbeit im Verein LIS e.V. zeigt, dass Betroffene manchmal mit der Bemerkung „Man könne die symbolorientierte Kommunikation ausschalten und im Schriftmodus arbeiten“ von Vertretern der Hilfsmittelfirmen doch zu der Anschaffung eines solchen Gerätes gedrängt werden. Diese Vorgehensweise ist nicht akzeptabel, bedenkt man, dass das am Ende vorgestellte Scanningprogramm Mediwrite für wenige Euro über einen gemeinnützigen Verein bezogen werden kann.

Nach einem Schlaganfall findet aufgrund der Spontanremission fast immer eine Verbesserung des gesundheitlichen Zustands statt. Diese führt bei nicht-sprechenden Betroffenen dazu, dass zumindest eine Restmotorik wiedererlangt wird. Das kann die Bewegung eines Fingers, des Knies usw. sein, die genutzt werden kann, um einen Kommunikationskanal aufzubauen.

Ganz anders ist die Situation bei einer progredienten, immer weiter fortschreitenden Erkrankung wie z. B. ALS (weitere Informationen auf der Homepage der Deutschen Gesellschaft für Muskelkranke DGM (Onlinequelle 2)). Es findet eine stete Verschlechterung des Gesundheitszustands statt. Was nach einem Schlaganfall der Anfangszustand ist, wird jetzt zum Endzustand. Dieser besteht in einer von Kopf bis Fuß reichenden Lähmung. Durch in Augenschein nehmen lässt sich kein Unterschied zu einem klassischen Locked-in-Syndrom erkennen. Da die Ursache jedoch eine andere ist als bei einem Schlaganfall, spricht man auch von einem Pseudo Locked-in-Syndrom (Leon-Carrion 2002). Eine Kommunikation kann jetzt nur über die erhalten gebliebene Beweglichkeit der Augäpfel durch ein Eye-gaze-System hergestellt werden.

Seltene Verlaufsformen von ALS enden in einer völligen Bewegungslosigkeit. Bis vor wenigen Dekaden war es unmöglich, zu diesen Betroffenen Kontakt aufzunehmen. Mittlerweile wurden Verfahren entwickelt, die es ermöglichen, Gedanken zur Generierung eines Kommunikationscodes zu benutzen. Mit dem notwendigen Brain-Computer-Interface können zwar keine Gedanken sichtbar gemacht werden. Wir können jedoch dem Gehirn bei der Arbeit zuschauen oder wie ein Neurowissenschaftler die Situation umriss: „Wir hören das Motorengeräusch des Gehirns“ (Curio 2009).

UK bei Tetraplegie nach einem Schlaganfall

Scanning-Systeme



Abb. 1: Patient, dessen Sprach-/Schreibcomputer im Scanning-Modus Zeilen-Spalten arbeitet. Zu sehen sind das Display der Kommunikationshilfe und der Taster in der linken Hand des Betroffenen.

Foto: Gudrun Müller

Abbildung 1 zeigt einen Patienten, der mit einem Taster ein Programm im Scanning-Modus für Zeilen-Spalten bedient. Bei diesem leuchten nacheinander zu Zeilen angeordnete Buchstaben auf. Die Auswahl einer Zeile erfolgt durch Warten und einen einfachen Klick. Durch einen zweiten Klick erfolgt die Auswahl eines Buchstabens innerhalb einer Zeile. Bedingung für diese Methode ist das Vorhandensein von Restmotorik, mit der ein Taster bedient werden kann. Verschiedenartige Taster sind denkbar (ohne Anspruch auf Vollständigkeit): Lidschlagsensor, Gesichtsmuskelsensor, Wangensensor, Schalter für die Betätigung mit der Zunge, Saug-Blas-Schalter und natürlich einfache mechanische Taster, die mit einem Finger, Arm oder Bein bedient werden können. Weitere Erläuterungen zu den Scanningverfahren erfolgen im Kapitel „Kommunikationsgeschwindigkeiten“.

Verschiedene Ausformungen einer Kopfmaus

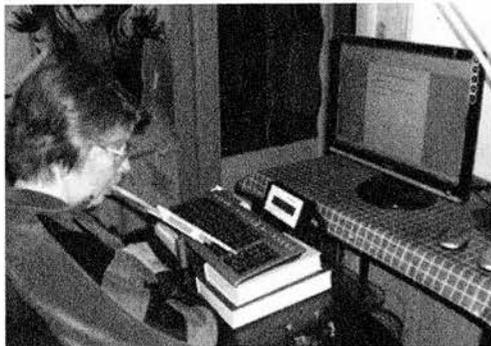


Abb. 2: Einfache mechanische Ausführung: Mittels eines Mundstabes bedient die Betroffene eine normale PC-Tastatur.

Foto: Wolfgang Ufer

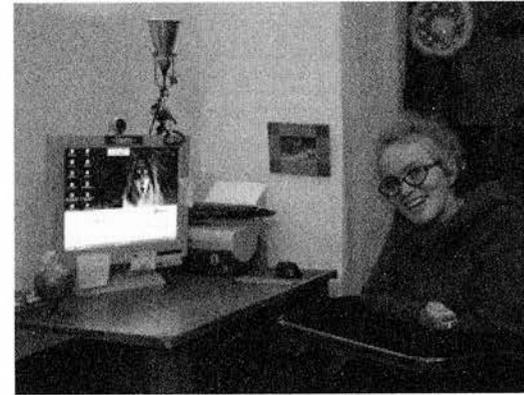


Abb. 3: Elektronische Ausführung: Mittels eines Lichtzeigers, der durch einen Reflektor zwischen den Brillengläsern erzeugt wird, kann eine Bildschirmtastatur bedient werden. Das Kamerasystem oberhalb des Computers misst die Position des reflektierten Strahles.

Foto: Christian Tiede



Abb. 4: Elektronische Ausführung: Seitlich vom Kopf befindet sich ein Laserpointer, mit dem eine Tafeltastatur bedient wird.

Foto: Tetricks 2007

Nach einem Schlaganfall gewinnt der Betroffene oft die Kontrolle über den Kopf zurück. Gelingt dies, so kann die Feinmotorik der Kopfbewegung als Mäusersatz genutzt werden. Die Abbildungen 2 – 4 zeigen verschiedene Ausführungsformen von Kopfmäusen. Bei der einfachen mechanischen Ausführung bedient der Betroffene mit einem Mundstab eine normale PC-Tastatur. Das ist langsam, auch besteht bei intensivem Gebrauch die Gefahr der Deformation des Kiefers. Ähnlich problematisch ist es für die Nackenmuskulatur, wenn der Stab z. B. vorne an einem Helm befestigt ist. Dafür ist diese Methode unempfindlich gegen technische Störungen. Deutlich schneller sind elektronische Methoden, bei denen mittels eines Lichtstrahls berührungsfrei eine Bildschirmtastatur bedient werden kann.

UK bei Tetraplegie nach einer degenerativen Erkrankungen des motorischen Nervensystems

Eye-gaze-Systeme

In Abbildung 5 ist eine Betroffene mit ihrem Eye-gaze-System zu sehen. Die Dame ist als Folge von Amyotropher Lateralsklerose völlig gelähmt und kann lediglich ihre Augen bewegen. Sie fixiert einen Buchstaben auf einer Bildschirmtastatur und die Position der Pupille wird von einem Kamerasystem beobachtet. Aus der Geometrie der Anordnung kann geschlossen werden, welcher Buchstabe ausgewählt wurde. Die Bildschirmtastatur ist als Projektion im Hintergrund sichtbar.

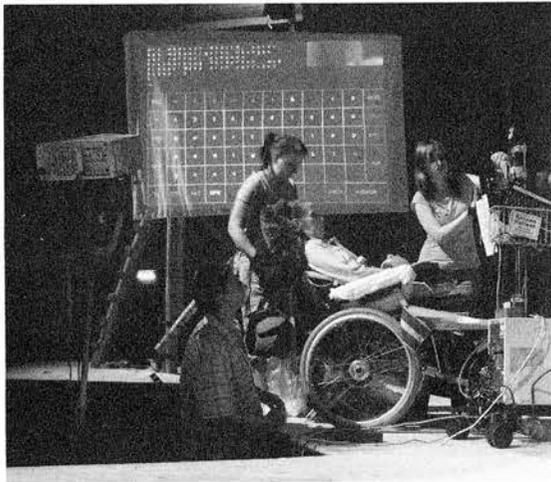


Abb. 5: Patientin mit einem Eye-gaze-System. Vorne an den Rollstuhl angeflanscht sind der Monitor, die Beleuchtungseinheit sowie die Kameraeinheit. Im Hintergrund zu sehen ist eine Projektion des Computerbildschirms.

Foto: Farah Lenser

UK bei vollständiger Lähmung

Bei ALS gibt es auch seltene Verlaufsformen, bei denen mit fortschreitender Erkrankung die Beweglichkeit der Augenmuskulatur nicht erhalten bleibt, d.h. die in einer kompletten Lähmung enden. Bis vor einigen Jahren war es nicht möglich mit Betroffenen, bei denen jegliche Willkürmotorik erloschen ist, zu kommunizieren. Es ist der Pionierarbeit von Birbaumer (Birbaumer et al. 2009) zu verdanken, dass Methoden entwickelt werden, die eine Kommunikation allein durch die Kraft der Gedanken ermöglichen. Das mutet futuristisch an. Ein vollständig gelähmter Mann, der Kraft seiner Gedanken ein Lichtsignal einmal blinken lässt für „ja“ und zweimal für „nein“, taucht auch bereits in den 80er Jahren in der Serie Raumschiff

Enterprise (Onlinequelle 3) auf. Die Grundzüge dieser Technik werden im nächsten Kapitel über Brain-Computer-Interface (BCI) erklärt. In den darauf folgenden Kapiteln wird erklärt, wie dieses zur Kommunikation genutzt werden kann. Zur Vertiefung sei das Buch von Pantke (2010 a) empfohlen.

Was ist ein Brain-Computer-Interface und welche Systeme gibt es?

Ein Brain-Computer-Interface (Gehirn-Computer-Schnittstelle) stellt eine Verbindung zwischen dem Gehirn und einem Computer her, ohne die Nutzung der Extremitäten oder irgendeiner motorischen Aktivität. Mit einem BCI können völlig Gelähmte einen Sprachcomputer bedienen, ihren Rollstuhl steuern oder anderweitig mit ihrer Umwelt in Interaktion treten.

Unser 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 fast ein Viertel des Sauerstoffs (Onlinequelle 4). Vom Gehirn ausgehende Informationen sind als bioelektrische Impulse codiert. Damit wird klar, welche Möglichkeiten bestehen, dem Gehirn beim Denken zuzuschauen.

Eine Methode besteht darin, die Hirnfelder zu beobachten. Mit einem *elektrophysikalischen System* können entweder das elektrische oder das magnetische Feld gemessen werden, welche physikalisch gesehen gleichwertige Informationen liefern sollten. Das elektrische Feld wird nicht invasiv mit der Elektroenzephalographie (EEG) (Pschyrembel 2004) und invasiv mit der Elektrokortikographie (ECoG) (Pschyrembel 2004) sowie der intrakortikalen Elektrodenableitung gemessen. Nicht invasiv befinden sich die Elektroden außerhalb des Schädels, während bei den invasiven Techniken diese auf der Hirnhaut angeordnet bzw. in das Gehirn implantiert werden. Magnetenzephalographische Messungen (MEG) (Pschyrembel 2004), bei denen das kleine magnetische Feld des Gehirnes durch supraleitende SQUIDs (Lenk 1972) gemessen werden, sind zwar möglich, spielen wegen der besonderen Anforderungen an die Messtechnik für die Praxis jedoch keine Rolle. Als Beispiel für ein elektrophysikalisches System stellen wir weiter unten ein BCI vor, das über ein EEG (Elektroenzephalografie) arbeitet.

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 Umstand, dass Hämoglobin, welches den Sauerstoff im Blut transportiert, seine physikalischen Eigenschaften mit der Oxidation ändert und dieses mit einem *hämodynamischen System* beobachtet werden kann. Wir unterscheiden zwischen funktioneller Magnet-Resonanz-Tomographie (fMRT) (Faro 2006, Reul 2007) und funktioneller Nahinfrarotspektroskopie (fNIRS). Mit diesen Techniken kann allerdings nicht festgestellt werden, was gedacht wird, sondern sie zeigen auf, wo im Gehirn gedacht wird (Faro 2006, Reul 2007).

Ein MRT macht es sich zunutze, dass der menschliche Körper zu einem großen Teil aus Wasser und damit aus Wasserstoffkernen besteht. Der Kernspin der Protonen kann in einem statischen magnetischen Feld ausgerichtet werden. Ein zweites gepulstes elektrisches Feld stört diese Ausrichtung. In einem Magnet-Resonanz-Tomographen (MRT) wird das Abklingen dieser Störung gemessen. Man mache sich klar, dass ein MRT keine Organe dargestellt, sondern primär einen physikalischen Prozess, der einer Interpretation bedarf. Diese Erklärung mag vielen unverständlich sein. Ein tiefergehendes Verständnis setzt jedoch ein fundiertes physikalisches Wissen voraus, wie es dieser Artikel weder vermitteln will noch kann. Merken Sie sich einfach, dass die Bildgebung in einem MRT durch starke Felder erfolgt. In der funktionellen Magnet-Resonanz-Tomographie können physiologische Abläufe von Hirnfunktionen sichtbar gemacht werden, da oxydiertes und nicht oxydiertes Hämoglobin andere magnetische Suszeptibilitäten besitzen, also das angelegte Feld unterschiedlich schwächt. Der lokale Verbrauch von Sauerstoff im Gehirn signalisiert, welcher Teil des Gehirns aktiv ist.

Während die Funktionsweise eines MRTs nur schwer veranschaulicht werden kann, lässt sich die funktionelle Nahinfrarotspektroskopie gut erklären:

Arterielles, also sauerstoffreiches Blut, unterscheidet sich in seiner Farbe von venösem, also sauerstoffarmem Blut. In Aufsicht hat arterielles eine hellrote und venöses Blut eine dunkelrote Farbe. (In Durchsicht schimmert wegen der subtraktiven Farbmischung venöses Blut bläulich und gibt den Venen ihre Farbe.) Der Farbe des Blutes entsprechen Absorptionsbanden im Spektralbereich von ca. 600 bis 760 nm. Diese setzen sich im anschließenden Spektralbereich bis zu 1000 nm fort, der für fNIRS zur Anwendung kommt.

Sichtbares Licht wird vollständig von unseren Schädelknochen absorbiert. Nicht so die nahe Infrarotstrahlung; diese kann einige Zentimeter in unsere Schädeldecke eindringen. 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 Lichtes, also einige wenige Zentimeter. Die zeitliche Auflösung einer fNIRS-Messung entspricht der einer fMRT-Messung, also ungefähr eine Sekunde. Mit fNIRS kann also direkt das Verhältnis von venösem zu arteriellem Blut bestimmt werden. Bevor wir uns einzelnen Systemen zuwenden, möchten wir in Tabelle 1 einen Überblick über alle vorhandenen BCIs geben.

Art des Systems			Auflösung	
			räumlich	zeitlich
elektrophysiologische Systeme	Elektrisch	EEG	einige cm	0,001 sec
		ECoG	unter 1 cm	0,001 sec
		Intra. Elektrodenableitung	einige mm	0,001 sec
	Magnetisch	MEG	Wie EEG	Wie EEG
hämodynamische Systeme	funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT)		mm ³	1 - 2 sec
	funktionelle Nah-Infrarotspektroskopie (fNIRS)		2-3 cm Eindringtiefe	1 - 2 sec

Tab.1: Übersicht verschiedener Systeme, geeignet für ein Brain-Computer-Interface

Kommunikation mit einem BCI

Abbildung 6 verdeutlicht das generelle Prinzip von Brain-Computer-Interfaces (BCIs), wie sie für die bewegungsunabhängige Kommunikation zum Einsatz kommen können: Zwei unterschiedliche Gehirnaktivitätsmuster, die durch zwei verschiedene mentale Prozesse (z. B. sich in Gedanken bewegen oder sprechen) erzeugt werden können, werden als zwei unterschiedliche Informationsinhalte interpretiert (z. B. „ja“ und „nein“). Es wäre natürlich einfacher, wenn das Denken an verschiedene Buchstaben oder sogar Wörter in unterscheidbare Gehirnaktivitätsmuster münden würde. Eine Unterscheidung von sehr ähnlichen Gehirnaktivitätsmustern ist bislang allerdings noch nicht möglich (Sorger 2011).

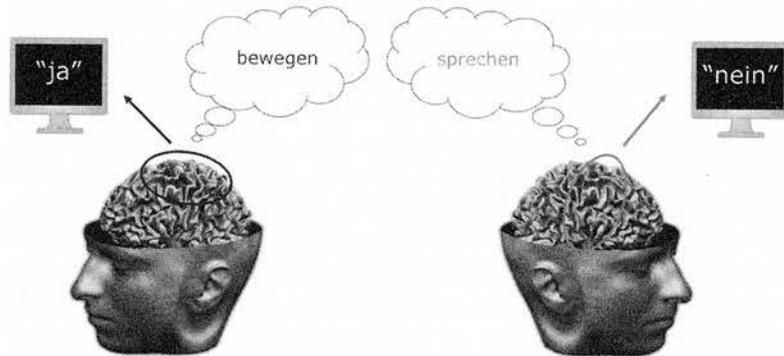


Abb. 6: Prinzip des Brain-Computer-Interface zur Kommunikation
Foto: Bettina Sorger

Bei der Kommunikation mit Hilfe des EEG bekommt der Patient eine Haube mit Elektroden auf bestimmte Punkte der Kopfhaut aufgesetzt. Von der Kopfoberfläche wird eine Spannung von 5 bis 100 μV ($1 \mu\text{V} = 1$ 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. Details können der Literatur entnommen werden (Pantke 2010 a).

Abbildung 7 zeigt eine Person mit einer Elektrodenhaube. Links zu sehen ist ein Text, der von ihr geschrieben wurde. Solche Geräte werden auch „mentale Schreibmaschine“ (engl. BCI speller) genannt.

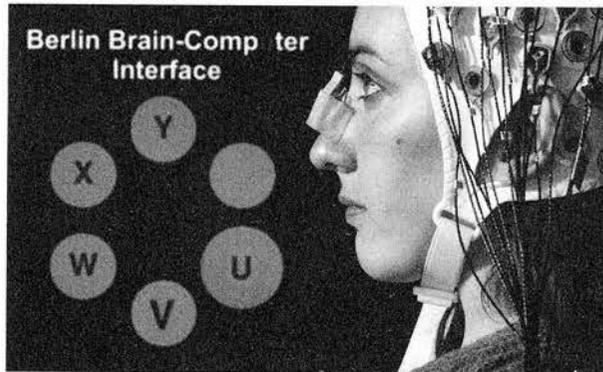


Abb. 7: Brain-Computer-Interface basierend auf dem EEG.
Der Text wurde von der Person geschrieben.
Foto: Michael Tangermann

Kommunikationsgeschwindigkeiten von Scanning-Systemen

Abgesehen von Menschen, die auf ein Brain-Computer-Interface angewiesen sind, werden Scanning-Methoden von fast allen Patienten benutzt. Das Partnerscanning, bei dem der Computer durch einen Menschen ersetzt wird, kann von Schlaganfallpatienten in der Zeit direkt nach dem Infarkt genutzt werden, aber auch von Menschen mit einer degenerativen Erkrankung, falls ein raumforderndes Eye-gaze- oder Kopfmaussystem außerhalb des häuslichen Bereichs nicht eingesetzt werden kann.

Die elektronische Variante des Scannings wird häufig von Schlaganfallpatienten mit Restmotorik genutzt. Leider besteht ein großes Informationsdefizit bezüglich der Kommunikationsgeschwindigkeiten der verschiedenen Hilfsmittel. Deshalb haben wir uns dazu entschlossen, Scanning-Systeme etwas eingehender zu betrachten, um deren Kommunikationsgeschwindigkeiten dann im letzten Kapitel mit denen anderer Systeme zu vergleichen.

Für die Aufschlüsselung der Kommunikationsgeschwindigkeiten bei den Scanning-Systemen unterscheiden wir zwischen zwei ausgewählten Arten von Scanningverfahren: einer linearen Anordnung und einer Gruppierung von Buchstaben, zu denen das Zeilen-Spalten-Scannen gehört (jeweils mit und ohne Häufigkeit).

Für diese vier Anordnungen werden die durchschnittlichen Zeiten t berechnet, die notwendig sind, um einen Buchstaben auszuwählen. Die Abschätzungen erfolgen aus der Geometrie der Anordnung, den Wahrscheinlichkeiten $w_{i, i=A\dots Z}$, mit der ein Buchstabe in einem deutschen Text auftaucht (Onlinequelle 5), wobei das „ß“ nicht berücksichtigt wird. Aus der Analyse eines anderen Textes der gleichen Publikation folgt, dass jedes 7. Zeichen ein Leerzeichen ist (ebd.) und jedes 86. Zeichen ein Punkt ist (ebd.). Die für die Rechnung benutzten Wahrscheinlichkeiten $w_i \approx \text{const.} \cdot w_{i, i=A\dots Z}$ weichen geringfügig von den in Abbildung 10 angegebenen Werten ab, da diese ohne Berücksichtigung von Leerzeichen und Punkt berechnet wurden. Dieses führt zu etwas anderen Normierungsbedingungen, da die Summe aller Wahrscheinlichkeiten konstant eins bleiben muss. Wir erhalten: $\text{const.} = 0,853$. Die Verweildauer t_{scan} auf einem Buchstaben wird in allen Anordnungen zu einer Sekunde gesetzt.

Lineare Anordnung (ohne Häufigkeit)

Alle Buchstaben werden in alphabetischer Reihenfolge angeordnet, gefolgt von Leerzeichen und Punkt.

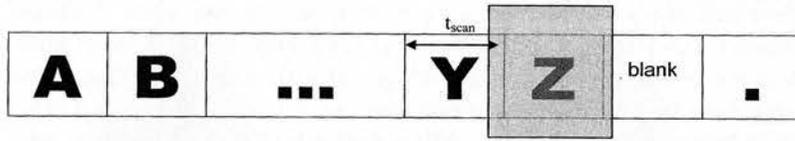


Abb. 8: Bildschirmtastatur, die im Scanning-Modus betrieben wird, in alphabetischer Anordnung.

Nacheinander leuchten alle Buchstaben auf. Der durch einen Klick ausgewählte Buchstabe ist durch ein graues Kästchen markiert. Ausgewählt wurde der Buchstabe „Z“. „Blank“ bezeichnet das Leerzeichen.

Für die Zeit t_{linear} , die durchschnittlich für einen Buchstaben benötigt wird, erhalten wir:

$$Gl. 1: t_{linear} = \{1 \cdot w_A \cdot t_{scan} + 2 \cdot w_B \cdot t_{scan} \dots 25 \cdot w_Y \cdot t_{scan} + 26 \cdot w_Z \cdot t_{scan} + 27 \cdot w_{blank} \cdot t_{scan} + 28 \cdot w_{.} \cdot t_{scan}\} \cdot t_{scan} = 14 \text{ Sekunden}$$

Lineare Anordnung (mit Häufigkeit)

Die Buchstaben werden entsprechend ihrer Häufigkeit angeordnet, das Leerzeichen und der Punkt bleiben jedoch in ihrer Position.

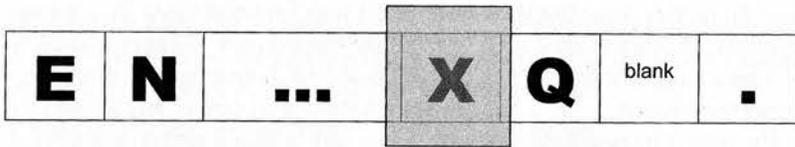


Abb. 9: Wie Abbildung 8, jedoch sind die Buchstaben entsprechend der Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens in der deutschen Sprache angeordnet.

Die Wahrscheinlichkeit kann Abbildung 10 entnommen werden. Der häufigste Buchstabe ist ein „E“. Gewählt wurde „X“. Eine leichte Modifizierung von Gl. 1 ergibt in Gl. 2 die Zeit t_{alpha} , die bei einer Anordnung entsprechend der Wahrscheinlichkeit $w_{n+1} > w_n$ benötigt wird. Die Reihenfolge kann Abbildung 10 entnommen werden.

$$Gl. 2: t_{alpha} = \{1 \cdot w_E \cdot t_{scan} + 2 \cdot w_N \cdot t_{scan} \dots 25 \cdot w_X \cdot t_{scan} + 26 \cdot w_Q \cdot t_{scan} + 27 \cdot w_{blank} \cdot t_{scan} + 28 \cdot w_{.} \cdot t_{scan}\} \cdot t_{scan} = 10 \text{ Sekunden}$$

Zeilen-Spalten-Scannen (ohne Häufigkeit)

Bei einer Zeilen-Spalten-Anordnung wird mit dem ersten Klick eine Zeile und mit dem zweiten Klick innerhalb der Zeile ein Buchstabe ausgewählt, also in Abbildung 10 der Buchstabe „P“.

	1. Buchstabe	2. Buchstabe	3. Buchstabe	4. Buchstabe	5. Buchstabe	6. Buchstabe	7. Buchstabe
1. Zeile	A 0,0651	B 0,0189	C 0,0306	D 0,0508	E 0,1740	F 0,0166	blank
2. Zeile	G 0,0301	H 0,0476	I 0,0755	J 0,0027	K 0,0121	L 0,0344	.
3. Zeile	M 0,0253	N 0,0978	O 0,0252	P 0,0079	Q 0,0002	R 0,0700	S 0,0727 + 0,0031
4. Zeile	T 0,0651	U 0,0435	V 0,0067	W 0,0189	X 0,0003	Y 0,0004	Z 0,0113

Abb. 10: Schematische Darstellung einer Bildschirmtastatur, die im Scanning-Modus betrieben wird. Erst wird eine Zeile, dann ein Buchstabe gewählt, symbolisiert durch die grauen Balken. Die Zahl unter dem Buchstaben gibt die Häufigkeit w_i des Auftretens in der deutschen Sprache an. Es gilt: $w_i = \text{const.} \cdot w_{i=A...Z}$.

Wir möchten die Zeit bestimmen, die ein Patient durchschnittlich benötigt, um einen Buchstaben auszuwählen. Hierzu multiplizieren wir w_i in Abbildung 10 mit der Anzahl der Schritte St diesen zu erreichen (siehe Abbildung 11) und summieren über alle Buchstaben.

A 2	B 3	C 4	D 5	E 6	F 7	blank 8
G 3	H 4	I 5	J 6	K 7	L 8	.9
M 4	N 5	O 6	P 7	Q 8	R 9	S 10
T 5	U 6	V 7	W 8	X 9	Y 10	Z 11

Abb. 11: Gleiche Tastatur wie in Abbildung 10. Die Zahl unter dem Buchstaben ergibt die Anzahl der Schritte St ,

die notwendig sind, um diesen zu erreichen. Diese entsprechen der Addition von Zeilen- und Buchstabenschritten in Abbildung 10. Z. B. kann der Buchstabe „P“ nach 3 Zeilen- und 4 Buchstabenschritten, also $St(P)$ in 7 Schritten erreicht werden. In der Praxis können die Werte von Zeilenschritten t_{scan} (Zeile) und Buchstabenschritten t_{scan} (Buchstabe) unabhängig voneinander gewählt werden. Der Einfachheit halber werden beide Werte gleich gesetzt:

Gl. 3: $t_{scan} (Zeile) = t_{scan} (Buchstabe) = 1 \text{ Sekunde}$

Wir erhalten für die Zeit $t_{z-s \text{ linear}}$ durch Berücksichtigung aller Zeichen in Abb. 10 zu:

Gl. 4: $t_{z-s \text{ linear}} = \{w_A \cdot St(A) + \dots + w_z \cdot St(Z)\} \cdot t_{scan} = 7 \text{ Sekunden}$

Zeilen-Spalten-Scannen (mit Häufigkeit)

Bei einer Zeilen-Spalten-Anordnung mit Häufigkeit sind die Buchstaben entsprechend der Reihenfolge von St in Abbildung 12 angeordnet.

E 2	N 3	S 4	T 5	L 6	O 7	blank 8
I 3	R 4	D 5	C 6	B 7	K 8	. 9
A 4	H 5	G 6	W 7	Z 8	V 9	Y 10
U 5	M 6	F 7	P 8	J 9	X 10	Q 11

Abb. 12: Wie Abbildung 10, die Anordnung der Buchstaben erfolgt jedoch entsprechend der Reihenfolge der Schritte (unterhalb des Buchstaben angegeben) in Abbildung 11, die notwendig sind, um diese Position zu erreichen.

Die Berechnung der Zeit $t_{z-s w}$ erfolgt entsprechend analog. Wir erhalten:

Gl. 5: $t_{z-s w} = 5 \text{ Sekunden}$

In Tabelle 2 sind nochmals alle in diesem Abschnitt ermittelten Zeiten zusammengefasst.

Scanmodus bzw. Programm		Durchschnittliche Zeit benötigt für einen Buchstaben [Sekunden]	Kommunikationsgeschwindigkeit [Buchstaben/Sekunde]
Lineares Scannen	Ohne Häufigkeit	14	0,07
	Mit Häufigkeit	10	0,10
Zeilen-Spalten-Scannen	Ohne Häufigkeit	7	0,14
	Mit Häufigkeit	5	0,20

Tab. 2: Überblick aller errechneten Geschwindigkeiten der Kommunikation mittels elektronischer Buchstabentafeln. Die Kommunikationsgeschwindigkeiten sind die Kehrwerte der durchschnittlichen Zeiten, die pro Buchstabe benötigt werden, und sind aus Gleichungen 1 bis 5 berechnet. Die Konstanz des Verhältnisses $14/10 = 7/5$ in Spalte 2 liegt an der Struktur der Formeln.

Vergleich von Scanningprogrammen mit dem Partnerscanning

In der Praxis sollen die Kommunikationsgeschwindigkeiten möglichst groß sein. Erreicht werden kann dieses durch Wahl eines möglichst kleinen t_{scan} (Zeile) und t_{scan} (Buchstabe). Diese Zeiten geben an, wie lange auf einem Buchstaben bzw. einer Zeile verharrt wird. Hierzu wären aufwendige Testreihen mit verschiedenen Werten notwendig. Diese schwanken sicher individuell; wir sind jedoch nur daran interessiert, ob diese Werte näherungsweise richtig gewählt wurden.

Wir sind deshalb einen anderen Weg gegangen. Beim Partnerscanning mit einer Buchstabentafel wählt ein eingespieltes Team automatisch die richtigen Scanzzeiten. Wir haben deshalb verschiedene Nutzer von Tafeln gebeten, einen kurzen Text zu buchstabieren (siehe Tabelle 3). Ergibt der Vergleich ähnliche Kommunikationszeiten, so haben wir in den Rechnungen t_{scan} (Zeile) und t_{scan} (Buchstabe) richtig gewählt. Alle Nutzer verwendeten ein Zeilen-Buchstaben-System ohne Berücksichtigung der Buchstabenhäufigkeit. Wir bekommen eine sehr gute Übereinstimmung, so dass $t_{scan} = 1 \text{ Sekunde}$ eine realistische Annahme ist. Bei der Anpassung eines Computersystems an einen Nutzer kann mit einer Scanzzeit von einer Sekunde begonnen werden und dieser Wert individuell in kleinen Schritten variiert werden.

Person	Benötigte Zeit [Sekunden]	Zeit pro Buchstaben [Sek.]	Kommunikationsgeschw. [Bu./Sek.]
Frau J.	395	6	0,16
Herr M.	430	7	0,14
Frau U.	540	8	0,12
Herr W.	288	4	0,22
	$\bar{x} = 413 \pm 100$ $\Delta x/x = 30 \%$	$\bar{x} = 6,2 \pm 1,5$ $\Delta x/x = 30 \%$	$\bar{x} = 0,16 \pm 0,04$ $\Delta x/x = 30 \%$

Tab. 3: Von verschiedenen Nutzern ermittelte Kommunikationsgeschwindigkeiten mit Buchstabentafeln, bei denen die Abfrage nach Zeilen und Buchstaben erfolgt. Buchstabiert wurde der Satz „Ich arbeite gerade an einem Artikel über UK. Scanning kommt auch vor.“ und die dafür benötigte Zeit gestoppt.

Die Streuung in Tabelle 3 wurde aus der Standardabweichung abgeschätzt. Alle Tafeln funktionierten nach einem Zeilen-Spalten-Prinzip. Herr M. und Herr W. kommunizierten ohne einen Papiausdruck der Tafel. Über Frau J. und Frau U. liegen diesbezüglich keine Informationen vor. Die Streuung von 30 % entspricht der eines biologischen Systems.

Die Bedienung eines Programms im Scanmodus erfordert ein hohes Maß an Konzentration, welche nur für 10 bis 20 Minuten durchgehalten werden kann. Die hier berechneten Kommunikationsgeschwindigkeiten können lediglich für kürzere Äußerungen erreicht werden. In Pantke (2011 b) ist z. B. ein Betroffener zu finden, der mit einem solchen Programm längere Texte schreibt. Er gibt an, für eine Seite 10-12 Stunden zu benötigen. Geht man von 2100 Buchstaben pro Seite aus, so benötigt er 17 bis 20 Sekunden für einen Buchstaben. Eine Nachfrage beim Patienten bestätigt unsere Vermutung. Der Betroffene gibt an, beim Schreiben längerer Texte oft die Wahl von der Zeile bzw. dem Buchstaben nicht beim ersten Durchgang zu treffen, d. h. das Programm läuft bis zum Schluss durch und scannt dann wieder von vorne.

Zum Abschluss dieses Kapitels möchten wir auf das Programm Mediwrite eingehen. Mediwrite ist ein lineares Scanningprogramm, das die Benutzerfreundlichkeit eines linearen Scanningprogrammes mit der Geschwindigkeit des Zeilen-Spalten-Scannens verknüpft. Der Bedienungsanleitung entnehmen wir: „Mediwrite beschleunigt die Texteingabe durch Buchstabenvorhersage. Ermöglicht wird dies durch einen integrierten umfangreichen deutschen Wortschatz. Die Buchstabenvorhersage passt sich im Laufe der Zeit automatisch dem Benutzer an. Neue Wörter werden automatisch in den Wortschatz aufgenommen und Wörter, die der Benutzer oft verwendet, werden bei der Buchstabenvorhersage stärker gewichtet“ (Onlinequelle 6).

Ein einfacher Test mit einer Scangeschwindigkeit von einer Sekunde ergibt, dass für einen Buchstaben 7,5 Sekunden benötigt werden oder eine Geschwindigkeit von 0,13 [Buchstaben/pro Sekunde]. Uns hat überzeugt, dass ohne jegliche Feinabstimmung Kommunikationsgeschwindigkeiten erreicht werden, die denen geübter Buchstabentafelnutzern entsprechen. Wahrscheinlich sind die fast identischen Kommunikationsgeschwindigkeiten kein Zufall, 0,14 [Buchstaben/Sekunde] beim Partnerscanning gegenüber 0,13 [Buchstaben/Sekunden] bei Mediwrite. Mensch und Programm ist die Fähigkeit gemein, das Ende eines Wortes zu bestimmen: Der Mensch rät die fehlenden Buchstaben, Mediwrite ordnet die fehlenden Buchstaben so, dass diese mit einem oder wenigen Scanschritten erreichbar sind.

Die Anpassung an einen Nutzer ist bei einem linearen Scanningprogramm einfacher als beim Zeilen-Buchstaben-Scannen. Ein Scanningprogramm mit Kommunikationsgeschwindigkeiten größer als beim Partnerscanning gibt es nicht. Mediwrite wird gemeinsam von Bokler und kommhelpe v. V. kontinuierlich weiterentwickelt und kann von dort bezogen werden (Onlinequellen 6, 7).

Kommunikationsgeschwindigkeiten aller vorgestellten Systeme im Vergleich

Die Kommunikationsgeschwindigkeiten für die vorgestellten Hilfsmittel sind in Tabelle 4 zu finden. Außer bei BCIs wurden erfahrene Nutzer von Unterstützter Kommunikation gebeten, den Satz „Ich arbeite gerade an einem Artikel über UK. Scanning kommt auch vor.“ zu schreiben und die dafür benötigte Zeit zu stoppen (wie bereits bei Tabelle 3 erwähnt). Die Daten für BCI-Systeme wurden durch Befragung von Personen gewonnen, die solche Hilfsmittel öfter für Betroffene anpassen.

System	Zeit für einen Buchstaben [Sekunden]		Kommunikationsgeschwindigkeit [Buchstaben/Sekunde]	
Ohne Restmotorik				
<i>Brain-Computer-Interfaces</i>	ca. eine Minute und länger bei ALS, nach Schlaganfall kürzer ¹ ; zwischen 20 Sekunden und gar keiner Schreibfähigkeit ²		0,01 - 0,02	
Mit Restmotorik – es besteht die Möglichkeit einen einfachen Schalter zu bedienen, oder aber die Beweglichkeit von Kopf oder Augen ist vorhanden				
<i>Scanning-Systeme</i>	mindestens 6 Sekunden		0,1 - 0,2	
<i>Kopfmäuse</i>	<i>mechanisch</i>	1	Ø = 0,6	
	<i>elektr. (mit Reflektor)</i>	(2,5) ³		(0,4)
	<i>elektr. (mit Lichtzeiger)</i>	0,3		3
<i>Eye-gaze-Systeme</i>	0,5		1 - 2	

Tab. 4: Kommunikationsgeschwindigkeiten

¹ Birbaumer (Institute of Medical Psychology and Behavioral Neurobiology) persönliche Mitteilungen, 2011.

² Tangermann (BBCI, Berlin Brain-Computer Interface) persönliche Mitteilungen, 2011. Von Blankertz aus der gleichen Arbeitsgruppe werden in (Blankertz 2007) durchschnittliche Übertragungsraten von bis zu 13 Bit pro Minute, sowie höhere peak-Übertragungsraten angegeben. Nach Kübler (1999) können mit 5 Bit ein Buchstabe dargestellt werden, so dass dieses einer Zeit von 23 Sekunden/Pro Buchstabe entspricht.

³ Die Patientin hatte einen Kleinhirminfarkt. Die Nachfrage ergab, dass ein häufiges Verbessern der ausgewählten Buchstaben notwendig ist. Wahrscheinlich leidet die Patientin unter einer Ataxi (Störung der Bewegungskoordination) als Folge des Schlaganfalls. Wir berücksichtigen diesen Wert nicht. Andere Patienten mit Kopfmäusen bzw. einem Eye-gaze-System leiden unter ALS, den Folgen eines nicht näher spezifizierten Schlaganfalls und einer Hirnhautentzündung.

In der Praxis sind Brain-Computer-Interfaces ca. zehnmal langsamer als Scanning-Systeme oder auch ca. 100mal langsamer als Kopfmäuse oder Eye-gaze-Systeme, die ungefähr gleich schnell sind. Die Schreibgeschwindigkeiten der schnellsten Systeme liegen an der unteren Grenze eines Zehnfingersystems bei einer Schreibmaschine und sind damit deutlich langsamer als das gesprochene Wort.

Schluss

Nach Aristoteles' berühmten Diktums ist es die Sprache, die aus Lebewesen Individuen entstehen lässt. Menschen, die nicht sprechen können, werden nur sehr eingeschränkt als soziale Wesen wahrgenommen. Der Wiedererwerb verbaler Kommunikation nach einem Locked-in-Syndrom ist der wohl wichtigste Schritt zurück in ein menschenwürdiges Dasein.

Bei der Wahl eines Hilfsmittels sollte zunächst der weitere Krankheitsverlauf berücksichtigt werden. Kann ein Hilfsmittel in einem halben Jahr noch genutzt werden? Mit welchem Hilfsmittel kann eine große Kommunikationsgeschwindigkeit erreicht werden? Aber auch andere Aspekte spielen eine Rolle. Nach einem Schlaganfall ist eine Kopfmaus immer einem Eye-gaze-System vorzuziehen, da dadurch verlorengegangene Motorik beübt werden kann. Allerdings ist oft eine Bedienung nicht möglich. Fällt die Wahl auf ein BCI-System, so sollte dessen Benutzung an ein größeres medizinisches Zentrum angeschlossen sein, da die Praxistauglichkeit von kommerziellen Systemen (noch) zu wünschen lässt.

Danksagung

Gedankt sei den zahlreichen Nutzern von Unterstützter Kommunikation sowie deren Partnern. Diese haben sowohl Bildmaterial wie auch Daten zu diesem Artikel geliefert. Ohne ihr Zutun wäre dieser Artikel nicht zu Stande gekommen. Genannt werden sollen Frau Anama Fronhof, Frau Angela Jansen, Herr Günter Müller, Herr Tettricks, Frau Sonja Ufer, Herr Norbert Wernitz und Herr Olaf Westphal. Für die Überlassung von Bildmaterial danken wir Frau Farah Lenser, Frau Dr. Bettina Sorger, Herrn Dr. Michael Tangermann und Christian Tiede. Unser Dank gilt auch Prof. Nils Birbaumer und Dr. Julius Deutsch, die Daten zu dieser Untersuchung lieferten.

Literatur

- Bauer, G.; Gerstenbrand, F.; Rimpl, E.: Varieties of the locked-in-syndrome, in: *J. Neurol.*, 221, 1979: 77-91
- Birbaumer, N.; Murguialday, A. R.; Weber, C.; Montoya, P.: neurofeedback and brain-computer interface: clinical application, in: *Int. review of neurobiology*, vol. 86, 2009: 107-117
- Blankertz, B.; Dornhege, G.; Krauledat, M.; Müller, K.-M.; Curio, G.: The non-invasive Berlin Brain-Computer Interface: Fast acquisition of effective performance in untrained subjects, in: *Neuroimage*, 37, 2/2007: 539-550
- Curio, G.: persönliche Mitteilung, 2009
- Faro: *Functional MRI*, New York, 2006
- Krüger-Brand, H.: Kommunikation bedeutet Lebensqualität, in: *Deutsches Ärzteblatt*, Jg. 106, 17/2009
- Kübler, A. et al.: The thought translation device: a neurophysiological approach to communication in total motor paralysis, in: *Exp Brain Res* 124/1999: 223-232
- Lenk, R. (Hrsg.): *ABC der Physik*. Hier siehe „Josephson-Effekt“, Leipzig, 1972
- Leon-Carrion, J.; Van Eeckhout, P.; Dominguez Morales, M.; Perez-SantaMaria, F.J.: The locked-in-syndrome, a syndrome looking for a therapy, in: *Survey, Brain Inj.* 16, 2002: 571-582
- Pantke, K.-H. (Hrsg.): *Mensch und Maschine*, Frankfurt/Main, 2010 a
- Pantke, K.-H.; Fronhof, A.; Ufer, S.; Wernitz, N.: Unterstützte Kommunikation bei erworbenen motorischen Einschränkungen, in: Pantke, K.-H. (Hrsg.): *Mensch und Maschine*, Frankfurt/Main, 2010 b
- Pantke, K.-H.; Kühn, C.; Mrosack, G.; Scharbert, G.; LIS e.V. (Hrsg.): *Das Locked-in-Syndrom. Geschichte, Erscheinungsbild, Diagnose und Chancen der Rehabilitation*, Frankfurt/Main, 2011
- Psyhyrembel, W.: *Klinisches Wörterbuch*, Berlin & New York, 260. Aufl. 2004
- Reul, J.: *NeuroMRT. Ein praxisorientierter Leitfaden. Teil 1: Gehirn*, Bad Honnef, 2007
- Sorger, B.: persönliche Mitteilung, 2011

Onlinequellen

- Onlinequelle 1: <http://www.locked-in-syndrom.org> [Stand: März 2011]
- Onlinequelle 2: <http://www.dgm.org> [Stand: März 2011]
- Onlinequelle 3: <http://www.trekkiesworld.de> [Stand: März 2011]
- Onlinequelle 4: <http://arbeitsblaetter.stangl-taller.at/news/102/energieverbrauch-des-gehirns> [Stand: März 2011]
- Onlinequelle 5: <http://de.wikipedia.org/wiki/Buchstabenhäufigkeit> [Stand: März 2011]
- Onlinequelle 6: <http://www.kommhelp.de/index.php/tastaturersatz> [Stand: März 2011]
- Onlinequelle 7: <http://www.bokler.de> [Stand: März 2011]

¹ Vollständiger Titel: Unterstützte Kommunikation bei Tetraplegie und vollständiger Lähmung nach einem Schlaganfall bzw. Amyotropher Lateralsklerose (ALS) oder anderen degenerativen Erkrankungen des motorischen Nervensystems