

Gefühle aus zweiter Hand

Schon jetzt sind moderne Handprothesen wahre Wunderwerke der Technik, deren komplizierte Mechanik sich per Gedankenkraft steuern lässt. In Zukunft könnten die künstlichen Körperteile ihren Benutzern sogar den verlorenen Tastsinn zurückgeben.

Als Luke Skywalker im finalen Lichtschwertkampf von „Das Imperium schlägt zurück“ seine rechte Hand verliert, ist das nur eines von vielen Problemen, die den aufstrebenden Jedi-Meister beschäftigen. Schließlich ist sein bester Freund gerade in die Fänge eines fiesen Kopfgeldjägers geraten – und dann muss er auch noch erfahren, dass der Oberbösewicht, der ihn gerade verstümmelt hat, sein leiblicher Vater ist. Doch vielleicht ahnt er schon, was ihn nur wenige Filmminuten später an Bord eines Lazarettschiffs erwartet: eine neue Hand. Die Prothese sieht nicht nur aus wie seine echte Hand, der junge Jedi kann sie auch auf Antrieb genauso bewegen. Und seine Reaktion auf die Pikser mit der Nadel des Roboterarztes zeigt, dass sie ihm sogar das Empfindungsvermögen seiner verlorenen Gliedmaße zurückgibt.

FOTO: SHUTTERSTOCK

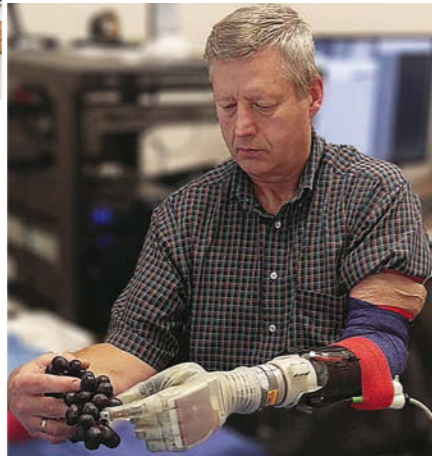
Zwar ist eine derartige Technologie auch knapp vierzig Jahre nach diesen legendären Filmszenen noch immer Science-Fiction – die aktuellen Fortschritte in der Medizintechnik lassen die Vision jedoch langsam näher rücken. Schon jetzt ist es gang und gäbe, dass Handprothesen elektrische Muskelsignale aus dem Armstumpf auslesen und damit Elektromotoren steuern, die einfache Greifbewegungen ausführen. Und in den Laboren der Forscher wird bereits an Prototypen gearbeitet, die über implantierte Elektroden direkt an das Nervensystem des Trägers gekoppelt sind und ihm so zumindest einen rudimentären Tastsinn zurückgeben können.

Vom Holzzeh zum mechanischen Arm

Verlorene Gliedmaßen durch Prothesen zu ersetzen hat in der Menschheitsgeschichte eine lange Tradition. Als das älteste noch erhaltene Exemplar gilt ein künstlicher Zeh aus Holz, der wahrscheinlich vor rund 3.000 Jahren im Alten Ägypten mit einem Lederband am Fuß der Tochter eines Priesters befestigt war. Er war sehr präzise gefertigt und wurde damals vermutlich bereits mehrmals überarbeitet, um ihn perfekt an den Körper seiner Besitzerin anzupassen.

Im späten Mittelalter wiederum wurden wesentlich komplexere, aus Metall gefertigte Prothesen verwendet, die bereits eine vergleichsweise hohe Funktionalität aufwiesen. Prominentestes Beispiel ist die „Eiserne Hand“ des Götz von Berlichingen, deren Finger über einen Federmechanismus und mithilfe der anderen Hand bewegt werden konnten. Angeblich war es dem Ritter, der seine Hand im Kampf durch den Treffer einer Kanonenkugel verlor, damit möglich, sowohl ein Schwert zu führen als auch mit einer Feder zu schreiben.

Kriegsinvaliden aus dem Ersten Weltkrieg durften, sofern sie das nötige Geld dafür aufbringen konnten, bereits auf Hand- beziehungsweise Armprothesen hoffen, die alleine von den im Armstumpf verbliebenen Muskeln aktiviert wurden. >



Prototyp mit Gefühl.
In den Forschungslaboren wird bereits mit Prothesen experimentiert, die dem Träger einen rudimentären Tastsinn vermitteln (oben). Das erleichtert den Umgang mit empfindlichen Objekten wie zum Beispiel beim Traubepflücken (links).

Für den sogenannten „Sauerbruch-Arm“, benannt nach dem deutschen Sanitäts-offizier und Chirurgen Ferdinand Sauerbruch, wurde durch die Oberarmmuskeln ein Hauttunnel gelegt, durch den ein Elfenbeinstift geführt wurde. Spannte man die Muskeln an, bewegte sich der Stift und öffnete oder schloss über einen Mechanismus die künstliche Hand.

Steuerung per Gedankenkraft

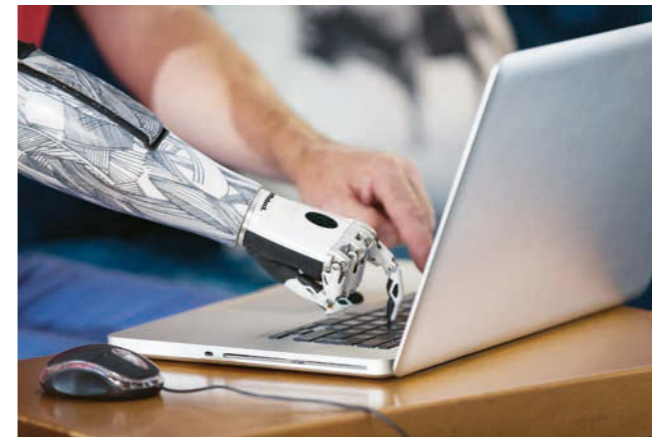
In den 1960er-Jahren kamen schließlich die ersten Prothesen auf, die anstelle der mechanischen Bewegung der Muskeln nur noch die elektrischen Signale des Nervensystems verwenden, die bei diesen Bewegungen entstehen. Diese Signale werden über Sensoren auf der Haut ausgelesen und ermöglichen es dem Träger, quasi per Gedankenkraft Elektromotoren in der Prothese zu steuern und so verschiedene Bewegungen auszuführen.

„Bei Unterarmamputierten werden üblicherweise zwei verschiedene Signale ausgelesen und für die Steuerung einer Handprothese verwendet“, erklärt Michael Russold, Leiter des Research Hub Vienna des Prothesenherstellers Ottobock. Das ermöglicht es, einen zuvor eingestellten Griff zu öffnen und zu schließen. Damit kann zwar bereits eine ganze Reihe von Tätigkeiten ausgeführt werden, eine echte Hand ist aber

natürlich deutlich vielseitiger. So ist etwa die Art, wie man die Seite eines Buches zum Umblättern anfasst, kaum mit dem Ergreifen eines Besenstiels oder dem Halten eines Kugelschreibers vergleichbar. Damit die Prothesen vielfältiger einsetzbar sind, werden ihnen deshalb gleich mehrere verschiedene Arten von Griffen einprogrammiert. Um zwischen den einzelnen Griffprogrammen umzuschalten, steuert der Patient kurz beide Muskelsignale gleichzeitig an. Das Öffnen und Schließen erfolgt dann wieder mithilfe der einzelnen Signale.

„Diese Methode ist zwar etwas umständlich in der Bedienung, ist aber nach wie vor die am weitesten verbreitete“, sagt Russold. Mittlerweile ist jedoch auch schon die nächste Generation am Markt, die acht anstelle von nur zwei Sensoren verwendet und damit individuelle Bewegungsmuster des Trägers

FOTOS: UNIVERSITY OF UTAH



Vielseitige Helfer.
Moderne Hightechprothesen ermöglichen es Patienten bereits jetzt, per Gedankenkraft verschiedene Griffmuster auszuwählen und zu steuern. So lässt sich die künstliche Hand für eine Vielzahl unterschiedlicher Tätigkeiten einsetzen.

FOTOS: OTTOBOCK

erkennen kann. Diese Muster werden dann direkt einem konkreten Prothesengriff zugeordnet, was die Steuerung intuitiver macht und es dem Anwender erlaubt, die mechanischen Möglichkeiten der Prothese besser zu nutzen. Allerdings ist eine solche komplexe Art der Steuerung nur möglich, wenn der Patient noch in der Lage ist, sich die gewünschten Bewegungsmuster genau vorzustellen. Denn nur dann sendet das Gehirn auch auswertbare Signale an die Armmuskulatur.

Von der Prothese zum Cyborg

In Zukunft könnten Prothesen jedoch noch deutlich enger mit dem Menschen verschmelzen. Ähnlich wie bei Zahnprothesen, die mit dem Kiefer verschraubt sind, gibt es auch bereits Systeme, die es erlauben, künstliche Gliedmaßen direkt an den Knochen zu befestigen. Dafür werden Pins in den Stumpf implantiert und mit dem Knochen verschraubt, an die die Prothese dann einfach per Bajonettverschluss angesteckt werden kann. „Im Bereich der Hände und Arme sind davon weltweit aber erst ein paar wenige Prototypen im Einsatz“, erklärt Russold. „Gerade die zwei Knochen im Unterarm, Elle und Speiche, sind nämlich nicht optimal für eine implantierte Befestigung geeignet.“

Um die Vision von Luke Skywalkers Roboterhand Realität werden zu lassen, fehlt aber ohnehin noch eine weitere wichtige Zutat: das Feedback. Wenn ein gesunder Mensch seine Hand bewegt, kennt er auch ohne hinzusehen die Position seiner Finger. Und wenn er etwas berührt, liefern ihm Sinneszellen in seiner Haut wichtige Informationen über Form und Beschaffenheit, die es ihm erleichtern, mit dem Objekt in seiner Hand umzugehen. Damit Prothesen ihren Trägern ähnliche Empfindungen übermitteln können, müssten sie nicht nur mit einer ganzen Reihe von Sensoren ausgestattet sein, sie bräuchten auch einen „direkten Draht“ zum Nervensystem.

„An solchen Prototypen wird zwar bereits geforscht, von einem tatsächlichen Einsatz sind sie aber noch weit entfernt“, erläutert Russold. Ein Beispiel für den aktuellen Stand der Entwicklung haben Forscher der Universität von Utah erst diesen Sommer vorgestellt. Sie haben einem Patienten ein Bündel von hundert Mikroelektroden und Drähten in den Armstumpf implantiert und mit den dortigen Nervenenden verbunden. So ist es ihnen gelungen, die Signale von den Drucksensoren der Prothese in das Nervensystem einzuspeisen und den Patienten seine künstliche Hand „spüren“ zu lassen. Berührte er etwa mit dem Zeigefinger der Prothese ein Objekt, löste das eine Phantomempfindung in seinem nicht mehr vorhandenen eigenen Zeigefinger aus. Das ermöglichte ihm unter anderem feinfühligere Tätigkeiten wie Traubepflücken oder das Hochheben eines rohen Eis, ohne es zu zerbrechen. Und selbst Eigenempfindungen, die Informationen über die aktuellen Ausrichtungen der künstlichen Finger liefern, konnten mit dem neuen System realisiert werden.

Derartige künstliche Empfindungen fühlen sich in der Regel aber nicht genauso an wie echte. „Von Patienten werden solche Eindrücke oft als ‚elektrisch‘ beschrieben oder mit kleinen Nadelstichen oder eingeschlafenen Fingern verglichen“, sagt Russold. Um das zu verbessern, müsse man erst noch die „Sprache der Nerven“ genauer erforschen. <<

Brain Computer Interfaces

PCs mit Gedanken steuern? Viele halten das für Science-Fiction, dabei existieren entsprechende Technologien bereits. *e-media* wirft einen Blick auf den Status quo.

FOTO: SHUTTERSTOCK

Ein junger Mann mit VR-Headset spielt ein Videogame. Er steuert ein Kind, das seine telekinetischen Kräfte einsetzt, um aus einem Regierungslabor zu entkommen. Per Gedankenkraft schleudert es verschiedene Objekte durch die Gegend. Das Interessante an dieser Demonstration ist aber nicht das Spiel, sondern die Art und Weise, wie es gesteuert wird. Die Hände des jungen Mannes verharren regungslos auf dem Schreibtisch. Es gibt keine Tastatur, keine Maus und auch kein Touchpad. Er kontrolliert das Geschehen kraft seiner Gedanken. Elektroden, die auf der Kopfhaut platziert sind, messen die Gehirnaktivität, während eine Software diese Impulse analysiert und in Steuerbefehle umwandelt. Zugegeben – die Spielmechanik ist nicht besonders anspruchsvoll, dennoch wirkt diese Demonstration von Neurable geradezu wie Hexerei. Das US-Unternehmen entwickelt sogenannte Brain-Computer-Interfaces (BCIs), also Hardware- und Software-Schnittstellen, die das menschliche Gehirn mit Computern verbinden.

Seit vielen Jahren wird an Maschinen geforscht, die unsere Hirnsignale auslesen und daraus ableiten, was wir möchten. Ein solches Gerät zur Serienreife zu bringen, wäre ein gigantischer technologischer Durchbruch und mit der Entdeckung der Elektrizität gleichzusetzen. Nicht umsonst stecken Investoren und Tech-Firmen Unsummen in entsprechende Labore und Start-ups. Für besonderes Aufsehen sorgte kürzlich Facebook mit der Übernahme von CTRL-labs. Über den genauen

Kaufpreis wurden zwar keine Angaben gemacht, doch Insidern zufolge soll die Facebook Inc. mehr als 500 Millionen für das Neuroschnittstellen-Start-up gelöhnt haben. CTRL-labs entwickelt ein Armband, das elektrische Signale analysiert, die von Nerven an Muskeln gesendet werden, und diese anschließend in Steuersignale umsetzt (siehe Bild S. 75 unten). Es verfolgt einen simpleren Ansatz als Neurables Elektroden-Headset, schließlich schwirren Millionen Signale durch unser Gehirn und es ist extrem kompliziert, die richtigen herauszufiltern. Das Elektromyografie-Armband von CTRL-labs muss lediglich den elektrischen Signalaustausch bewältigen, der zwischen den Nerven und Muskeln des Unterarms erfolgt.

Schöne neue Welt

Tesla-Gründer Elon Musk möchte mehr, als nur simple Steuerbefehle vom Gehirn zum Computer zu übertragen. Deshalb feilt seine Firma Neuralink an einem Chip, dessen Sensoren direkt ins menschliche Gehirn implantiert werden (siehe Infos S. 75/Seitenspalte). Er ist der festen Überzeugung, dass Neuralink das Potenzial hat, neurologische Erkrankungen wie Parkinson und Alzheimer zu heilen. Kein reines Wunsdenken, denn schon heute werden Parkinson-Patienten sogenannte Hirnschrittmacher (Neurostimulatoren) implantiert – und das mit großem Erfolg. Tatsächlich begann die Erforschung neuraler Interfaces in medizinischen Laboren, um Menschen mit Behinderungen mehr Autonomie zu verleihen und die Interaktion mit der Außenwelt zu erleichtern. Das

Rehabilitation Institute of Chicago hat 2013 die „weltweit erste neural-kontrollierte bionische Bein-Prothese“ vorgestellt. Sie ermöglichte es einem Patienten, der sein rechtes Bein bei einem Motorradunfall verloren hatte, die 103 Stockwerke des Willis Towers in Chicago zu Fuß zu bewältigen.

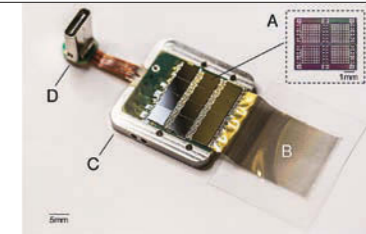
Neuralink, Neurable und Co versprechen, dass Brain-Computer-Interfaces schon in wenigen Jahren allgemein verfügbar sind. Die Prognosen der meisten Wissenschaftler sind deutlich zurückhaltender, sie gehen eher von Jahrzehnten aus. Die Voraussetzungen, um komplizierte Vorgänge per Gedankenkraft zu steuern, müssen erst noch geschaffen werden. Alleine schon einem Computer mitzuteilen, dass er den Internet-Browser starten und die Website *e-media.at* öffnen soll, ist um ein Vielfaches komplizierter, als einen virtuellen Ball von links nach rechts zu bewegen. Ein Brain-Computer-Interface, das mehr als plumpe Richtungsanweisungen versteht, liegt somit noch in weiter Ferne. Neuralink hat seine Technologie noch nicht einmal an Menschen getestet. Bisher wurden die Prototypen lediglich an Labortiere angeschlossen.

Die versteckten Gefahren

Als Tech-Enthusiasten träumen wir natürlich davon, unsere Gehirne mit Computern zu koppeln. Allerdings ist das Ganze nicht nur eine Frage der Technik. Welchen Einfluss werden BCIs auf unsere Gesellschaft haben? Wie verändert sich das Bildungssystem, wenn die Gehirne unserer Kinder zu Suchmaschinen werden? Was bedeuten gedankenlesende Computer für den Datenschutz? Viele Menschen kriegen ja schon graue Haare, weil digitale Assistenten wie Alexa und Siri alles mithören. Welche Gefahr geht von Hackern aus, die versuchen werden, sich Zugang zu unseren Hirn-Computer-Schnittstellen zu verschaffen?

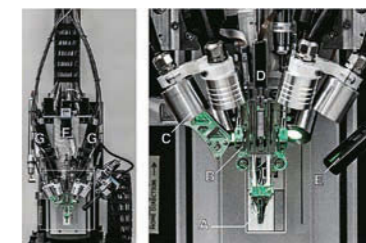
Ein simples Gedankenspiel: Nehmen wir mal an, Sie würden mit ein paar Freunden im Caféhaus sitzen. Sie unterhalten sich angeregt, führen Diskussionen und tauschen Informationen aus. Stellen Sie sich nun dieselbe Szene vor, mit dem Unterschied, dass alle Beteiligten per Gedankenkraft auf ihre Smartphones zugreifen. Wären spannende Diskussionen überhaupt noch möglich? Wer braucht einen regen Gedankenaustausch, wenn allwissende Maschinen in unseren Köpfen sitzen? Wie wirkt sich die Informationsflut langfristig auf die menschliche Psyche aus? Müssen subversive Gedanken gemeldet werden, ähnlich wie heute Hasskommentare im Netz?

Die zunehmende Digitalisierung hat vor allem die Arbeitswelt verändert – und BCIs werden sie endgültig auf den Kopf stellen. Warum hoch bezahlte Fachkräfte einstellen, wenn Brain-Computer-Interfaces in Sekundenbruchteilen das benötigte Fachwissen in jedes Gehirn beamten können? Selbstfahrende Autos bedrohen heute schon Millionen von Jobs. Experten gehen davon aus, dass bis 2030 etwa 70 Prozent aller Lkw-Fahrer überflüssig werden. Alleine in Deutschland sind aktuell mehr als 500.000 Berufskraftfahrer im Straßengüterverkehr tätig. Und das ist nur die Spitze des Eisbergs – wenn alle Menschen von heute auf morgen „smart“ werden, geraten deutlich mehr Jobs in Gefahr. Wir sollten uns deshalb so schnell wie möglich auf die möglichen gesellschaftlichen Folgen vorbereiten, um nicht von ihnen überrollt zu werden. <<



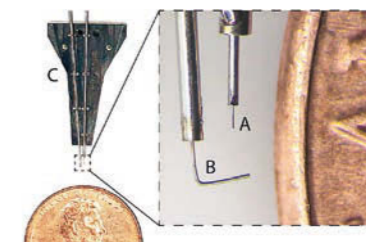
Gehirnsensor von Neuralink

Die Abbildung zeigt eine Neuralink-Sensoreinheit, die mit dem Gehirn verbunden wird.
A: Der neuronale Custom-Chip kann 256 Datenkanäle verarbeiten. Die Sensoreinheit beherbergt gleich zwölf dieser Chips für insgesamt 3.072 Kanäle.
B: Polymerfäden auf Parylen-C-Substrat.
C: Titangehäuse (Abbildung ohne Deckel).
D: USB-C-Anschluss für Strom und Daten.



Roboter-gesteuerte Elektrodensetzer

Diese Vorrichtung implantiert Elektroden mittels hauchdünner Nadeln.
A: Nadelpatrone. **B:** Low-Force-Positionssensor.
C: Lichtmodule für unterschiedliche Wellenlängen.
D: Nadelmotor. **E:** Eine von vier Kameras, die sich auf die Nadel konzentrieren. **F:** Kamera mit Weitwinkelsicht des Operationsbereichs. **G:** Stereoskopische Kameras.



Injektionsnadel

Eine Patrone mit Injektionsnadel im Größenvergleich mit einer 1-Cent-Münze.
A: Nadel. **B:** Führung. **C:** Patrone.

Elektromyografie-Armband von CTRL-labs

Armband-Sensor und Empfänger des CTRL-Kits sind darauf ausgelegt, Bewegungsimpulse zu erkennen und in Steuersignale umzusetzen.



Das Messen von Gehirnaktivitäten mit dem Elektroden-Headset von Neurable ist nicht invasiv. Beim VR-kompatiblen Sensor-Gerät kommen sechs sogenannte trockene EEG-Elektroden zum Einsatz.



FOTOS: NEURALINK