

Die gewünschte Bewegung wird vom Patienten gedacht. Der Impuls wird über die Nervenstränge an den Brustmuskel geschickt

**Gedankenübertragung**

Wie die neuen, mental gesteuerten Prothesen betätigt werden können.

Die neuen Nervenenden werden miteinander vernäht und bilden einen neuen Strang zum Brustmuskel

Die alten Nervenbahnen von Brust- und Armmuskel werden getrennt

Der Impuls wird über 18 Elektroden in eine Elektronik-Box geleitet

Die neuen Nervenbahnen werden in fünf Abschnitte des Brustmuskels geleitet

Ellenbogengelenk

Bewegungen bis hin zu Teilen der Hand sind möglich



Quelle: APA/Otto Bock Health Care Products

**Unfallopfer Kandlbauer** Verbrennungen durch Starkstrom führten dazu, dass dem Mechaniker im Jahr 2005 beide Arme abgenommen werden mussten

# Der Cyborg-Arm

**Prothetik.** Ein Großteils in Wien entwickelter, gedankengesteuerter Bionik-Arm markiert den Beginn einer neuen Ära künstlicher Hightech-Gliedmaßen.

Von Robert Buchacher

Der 20-jährige Steirer Christian Kandlbauer strahlt. Dort, wo einmal sein rechter Arm war, sitzt jetzt auf dem übrig gebliebenen Oberarmstumpf eine Prothese aus Metall und Plastik, mit der er gerade einmal drei Bewegungen ausführen kann. Dort, wo einmal sein linker Arm war, befindet sich hingegen eine Hightech-Prothese aus hochwertigem Metall und Kunststoff, vollgepackt mit Elektronik. Anders als mit seinem herkömmlichen Plastikarm kann er mit der Hightech-Prothese sieben verschiedene Bewegungen vollführen, und zwar nicht ruckartig, sondern rund und durchgehend. Und er steuert diese Bewegungen allein mit seinen Gedanken. Es ist dies

die erste Prothese dieser Art, die einem Europäer angemessen wurde. Das in Wien entwickelte und am Dienstag der Vorwoche präsentierte Gerät markiert eine neue Ära in der Prothetik.

Kandlbauer weiß, wie es sich lebt, wenn man zwei gesunde Arme hat. Als junger Automechaniker hatte er diese Arme tagtäglich für die kniffligsten Handgriffe benutzt. Im Jahr 2005 erlitt er bei einem Starkstromunfall derart schwer wiegende Verbrennungen, dass ihm der linke Arm inklusive eines Teils des Schultergelenks und der rechte Arm bis auf einen Oberarmstumpf amputiert werden mussten.

„Das Fernziel ist, dass die natürlichen Nerven, die einst den Arm steuerten, eines Tages wieder ebenso mühelos die Prothese lenken können“ Hans Dietl, Forschungsleiter

Der Steirer weiß auch, wie es sich mit herkömmlichen Prothesen lebt. Obwohl auch diese mit komplexer Technik ausgestattet sind, haben sie eine Reihe von Schwachpunkten. Vor allem ist die bisher gebräuchliche Art der Prothesensteuerung verhältnismäßig langsam, da Bewegungen aus einzelnen Gelenken des künstlichen Armes nur nacheinander ausgeführt werden können. Jede der drei möglichen Bewegungen muss dort, wo noch Reste der

Muskulatur vorhanden sind, durch einzelne Muskelanspannungen erzeugt und über elektrische Impulse an die Prothese übertragen werden. Der Prothesenträger muss in der Lage sein, die eingesetzten Muskeln möglichst unabhängig voneinander anzuspannen.

Das erfordert einen hohen Lernaufwand. Und selbst wenn der Prothesenträger das Steuerungsmuster bestens beherrscht, kann er die Prothese nicht betätigen, ohne sich auf die Steuerung zu konzentrieren. Die herkömmliche Armprothese kann auch das „Gefühl“ der gesunden Hand nicht ersetzen, sie gibt keine Rückmeldung. Daher ist der Anwender darauf angewiesen, die Funktion der Prothese visuell zu überwachen, was seine Aufmerksamkeit für die Umwelt noch zusätzlich verringert. All diese Schwachstellen führen dazu, dass viele einseitig Amputierte das Tragen einer solchen Prothese ablehnen.

**Künstlicher Arm.** Daher arbeiten Forscher schon seit Jahren an neuen Konzepten, welche irgendwann zur Entwicklung einer Prothese führen sollen, die in ihren Funktionen nahe an einen menschlichen Arm herankommt. Einer der Pioniere des Fachs ist der Rehabilitationsmediziner Todd A. Kuiken, 46, Abteilungsleiter am Rehabilitation Institute of Chicago und Professor an der Northwestern University. Kuiken, der sowohl Medizin wie auch Technik studiert hat, ist der eigentliche Kopf hinter der gedankengesteuerten Armprothese.

Erst in jüngster Zeit konnten verschiedene Forscherteams, darunter eine Arbeitsgruppe um Gert Pfurtscheller an der TU Graz, zeigen, dass sich die im Gehirn erzeugten Gedankenströme über Kabel an einen Computer übertragen lassen, der die Signale dann an eine

Reportage

## „Nicht aufgeben, nicht jammern“

Die US-Armee treibt die Prothesenentwicklung voran, um Kriegsversehrten aus dem Irak zu helfen.

Am 6. Juli dieses Jahres patrouilliert der 23-jährige Infanterist Thomas Graham in einem Humvee-Jeep durch Sadr City im Norden Bagdads, eine schrittweise Hochburg, in der die Mahdi-Armee des radikalen Predigers Moktada al-Sadr das Sagen hat. Graham sitzt im Geschützstand, als ein EFP – ein „explosiv geformtes Projektil“ – den schlecht gepanzerten Wagen durchschlägt. Fahrer und Beifahrer sind sofort tot, Thomas Grahams beide Unterschenkel abgerissen, auf der Hinterbank verliert ein weiterer Soldat beide Arme, ein anderer hat ein zerschmettertes Bein. Als die Sanitäter Graham aus dem Wrack ziehen, ist ihm schwindlig: „Ich schrie: Weckt mich auf, worauf ich zur Antwort bekam: Du bist wach, du Idiot.“

Jetzt sitzt Graham im Rollstuhl auf der Amputiertenstation 57 des Walter Reed Hospital, keine fünf Meilen vom Weißen Haus entfernt. Er trägt ein T-Shirt, sein Gesicht ist klein und kinderrund, der Kopf kahl geschoren. Manchmal braucht er Hilfe, sich an ein Wort zu erinnern – „Phantomschmerz“ oder „Kampfein-

heit“ –, dann fährt er fort. „Der Phantomschmerz ist heftig. Manchmal wache ich nachts auf, und ich habe das Gefühl, mir fährt eine Dampfwalze über die Zehen. Da ist aber nichts, ich kann es ihnen zeigen.“ Mit diesen Worten krempelt er die gelbe Trainingshose hoch, rollt die beiden Gummistrümpfe herunter und zieht die beiden Beinstümpfe aus dem Prothesensack. Die Narben, erklärt er, stammten nicht von der Operation. Es sind Schrapnellwunden. „In der Kniebeuge habe ich noch einen Splitter, das ist ein Andenken an den Irak.“

**Gehversuche.** Seit über zwei Monaten lebt Graham im Walter-Reed-Krankenhaus. Er ist einer von bislang fast 700 Kriegsversehrten, die im Irak und in Afghanistan eine oder mehrere Gliedmaßen verloren haben. Gut 20 halten sich in dem speziell für Beinamputierte eingerichteten Rehabilitationsraum auf. Zwischen Holzbarren üben sie das Gehen, Physiotherapeuten massieren die verbliebenen Muskeln ihrer Beinstümpfe. „Dabei habe ich noch Glück gehabt“,

meint Graham. „Wäre ich tiefer gesessen, wäre ich heute tot.“ Die Rate der Amputierten im Irak und in Afghanistan ist heute doppelt so hoch als während des Vietnamkrieges. Das hat einen Grund: Moderne Schutzwesten schützen den Rumpf besser, Beine und Arme aber bleiben verwundbar. Das US-Militär setzt deshalb Millionen Dollar ein, um die Prothetik für die verkrüppelten Vaterlandshelden zu revolutionieren. Donald Vandrey, Sprecher des Walter Reed Hospital, der durchs Militärkrankenhaus führt, erklärt: „Wir wollen für diese Soldaten Prothesen schaffen, die es erlauben, ihre Behinderung zu vergessen.“

Der Standard für über dem Knie amputierte Personen ist das C-Leg des deutschen Familienunternehmens Otto Bock aus Duderstadt am Harz. In einem Nebenraum lehnen ein Dutzend der Beinprothesen wie griffbereite Gewehre an der Wand. Sie warten darauf, Amputierten angepasst zu werden. Herzstück des Gelenks sind Mikroprozessoren, die permanent erkennen, in welcher Phase des Gehens sich das Bein gerade befint.

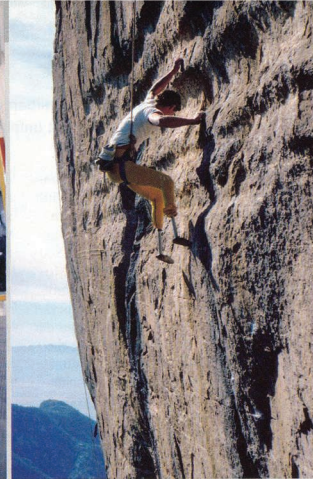
Veteranen im Walter Reed Hospital in Washington (Juni 2007). „Du gibst dein Bein fürs Vaterland und bekommst mehrere zurück.“



REUTERS/JASON REED



Beinamputierter Sergeant im Spital „Prothesen schaffen, die es erlauben, die Behinderung zu vergessen“



MIT-Forscher Hugh Herr Test einer von ihm entwickelten Prothese mit Elektromotor beim Klettern in Arizona

mechanische Prothese weiterleitet, um diese zu bewegen. Aber solche Gehirn-Computer-Schnittstellen können die so genannten myoelektrischen Impulse – das sind die Stop-and-go-Signale des körpereigenen Muskelsystems – nur mangelhaft interpretieren, weil sie für eine Unterscheidung durch den Computer nicht deutlich genug ausgeprägt sind.

Nach jahrelanger Arbeit mit Laborratten fand Kuiken in Zusammenarbeit mit dem Elektroniker und Computerspezialisten Allen Taflove von der Northwestern University aber einen Weg, die Muskelsignale so zu dekodieren, dass er beispielsweise das Signal für das Abwinkeln des Unterarms vom Signal für das Schließen der Hand auseinanderhalten konnte. Die neuen Erkenntnisse erprobte er an einem ehemaligen Mitarbeiter eines Elektrizitätsunternehmens namens Jesse Sullivan, der im Jahr 2001 bei einem Starkstromunfall, ähnlich wie Kandlbauer, beide Arme bis zum Schultergelenk verloren hatte.

**Nervenumleitung.** In einer mehrstündigen Operation leitete Kuiken die für die Armbewegungen zuständigen, aber abgeschnittenen Nervenbahnen aus Sullivans Schultergelenk zu jenen funktionslos gewordenen Brust- und Rückenmuskeln um, die ursprünglich ebenfalls für die Armbewegungen zuständig waren. Die wissenschaftlichen Grundlagen für diese Nervenumleitung wurden von einer Forschergruppe um den plastischen Chirurgen Manfred Frey an der Wiener Medizinuniversität erarbeitet. Nachdem die Nervenenden in die Muskeln eingewachsen waren, verband Kuiken die Nerven mit insgesamt 115 Elektroden und bat Sullivan, 26 verschiedene Bewegungen auszuführen, sodass er die für jede einzelne Bewegung charakteristische Impulskombination aufzeichnen konnte. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse setzte er in die Entwicklung des Prototyps eines bionischen Arms um, den Sullivan seither trägt und mit dem er alltägliche Tätigkeiten wie Essen, Ankleiden, Rasieren oder Gartenarbeit ausführen kann.

Unterdessen hat die Darpa, der Forschungsarm des US-Verteidigungsministeriums, ein mit fünfzig Millionen Dollar gefördertes Forschungsprogramm unter dem Namen „Revolutionizing Prosthetics“ initiiert, das darauf abzielt, den ersten voll funktionsfähigen bionischen Arm zu schaffen. An dem Forschungsverbund ist das deutsche Medizintechnikunternehmen Otto Bock, dessen Wiener Forschungs-

det. Sie steuern die Hydraulikventile so, dass beim Auftreten das Bein versteift und beim Abrollen durchschwingt. Das Gerät ist nicht billig: Die intelligente Beinprothese kostet bis zu 20.000 Euro. Die Behörde will künftig die Veteranen stets mit neuester Technologie ausstatten; mancher hat inzwischen gar mehrere Prothesen – für den Laufsport, zum Schwimmen, den Alltag. „Du gibst dein Bein fürs Vaterland“, witzelt ein Walter-Reed-Patient, „und bekommst mehrere zurück.“

**Motorprothesen.** Der nächste Schritt ist schon in Angriff genommen. Das US-Ministerium für Veteranenangelegenheiten hat über sieben Millionen Dollar investiert, um auch die Fußprothese mit ähnlicher Intelligenz auszustatten. Hugh Herr am Massachusetts Institute of Technology (MIT) hat in den vergangenen Jahren eine motorisierte Prothese entwickelt, die dem Fuß helfen soll, natürlich aufzusetzen, abzurollen und sich wieder anzuhieven: „Powerfoot“ heißt das Hightech-Ergebnis. Die sonst in Bänder und Sehnen beim Auftreten fließende kinetische Energie übernehmen hier Federn, Steueralgorithmen und ein batteriebetriebener Elektromotor. Die neue Prothese wird dieser Tage käuflich erhältlich sein; am Walter Reed Hospital wurden bereits die Bestellzettel ausgefüllt.

„Das hier nennen wir das Fort Independence“, erklärt Donald Vandrey in

einer auf einen Raum gedrängten Musterwohnung. Da stehen eine Sitzgarnitur, ein Bett, ein Schreibtisch und eine Kochnische. Hier lernen Soldaten, die Arm oder Hand verloren haben, sich mit einer Prothese auf den Alltag vorzubereiten. An der Spüle steht Sergeant Shane Heath und wäscht Teller ab, nachdem er zuvor zwei Dutzend French Toasts gebacken hat. Er trägt ein C-Leg. Anstatt der linken Hand ragt eine silberfarbene Zange aus einem kobaltblauen Schaft. Der 27-jährige Sergeant ist sich unsicher, was er über seine Mission im Irak preisgeben darf. So viel kann er verraten: Am 8. Mai stolperte er bei einer Hausdurchsuchung über einen Draht, der eine Bombe hochgehen ließ. Auch er glaubt, dabei noch Glück gehabt zu haben.

An den verbliebenen Muskeln seines Unterarmes sind zwei Sensoren angebracht, die myoelektrisch messen, wann sie sich kontrahieren. Das ist das Signal für den Handsatz, sich zu schließen oder zu öffnen. „Man muss sich eben umtrainieren“, erklärt Heath. Was er später machen will, weiß er nicht. Er konzentriert sich täglich nur auf den nächsten Schritt, gemäß den Regeln, die an der Wand weit sichtbar aushängen: „Nicht aufgeben, nicht jammern, sich Ziele setzen.“ Für Heath heißt das vorerst: Toast backen, Betten machen, Tomaten schneiden. Und auf die nächste Prothesengeneration hoffen.

Hubertus Breuer



FRANZISKA PERI

**Läufer Oscar Pistorius**  
Der Südafrikaner dürfte bald die Olympianorm erfüllen

Weltrekorde

## Blade Runner

Einem erstaunlich begabten beinamputierten Sportler wird gar unterstellt, dank Prothetik mit unlauteren Mitteln zu kämpfen.

Oscar Pistorius geht mit Prothesen nicht nur spazieren, er läuft den meisten Menschen mit seinen Ersatzbeinen längst davon. Fast täglich schnallt sich der 20-jährige Südafrikaner, dem im Alter von elf Monaten die Unterschenkel abgenommen wurden, Rennprothesen an. Bei den Paralympics hat er damit auf der 100-, 200- und 400-Meter-Strecke bereits alle Weltrekorde für Behinderte gebrochen. Doch inzwischen läuft er auch bei regulären Wettkämpfen mit – im März dieses Jahres belegte er den zweiten Platz bei der südafrikanischen Meisterschaft über 400 Meter: Er bewältigte die Distanz in 46,56 Sekunden. Seither wogt unter Experten ein Streit, ob Pistorius „überbefähigt“ statt nur „behindert“ sei. Sein Trainer jedenfalls erwartet, dass er bald die Olympianorm erfüllen wird.

Kritiker wenden ein, dass die j-förmig gebogenen Fiberglasprothesen mehrere Zentimeter länger als

die Beine eines gesunden Mannes mit gleich langen Oberschenkeln sind – so könne der „Blade Runner“ weitere Schritte machen. Außerdem federten die „Cheetahs“ (Geparden) genannten Prothesen weit stärker, als es ein regulärer Fuß je könnte. Und aufgrund fehlender Waden würde er Muskelübersäuerung weniger zu spüren bekommen.

Alles Unsinn, hält Pistorius dagegen und betont, dass die Prothese nur 64 Prozent der auf sie einwirkenden Energie speichert – weit weniger als die Achillessehne. Eine verlässliche Antwort erwartet der Leichtathletik-Weltverband jetzt von einer wissenschaftlichen Studie. Sie soll prüfen, ob Pistorius durch technische Hilfsmittel einen unerlaubten Vorteil erzielt, kurz: ob er sich des Technodopings schuldig macht. Der Befund entscheidet voraussichtlich, ob Pistorius bei den Olympischen Spielen 2008 in Peking antreten darf. *Hubertus Breuer*

abteilung auch Kandlbauers Armprothese entwickelt hat, maßgeblich beteiligt. In drei bis vier Jahren soll der bionische Arm marktreif sein. „Fernziel ist, dass die natürlichen Nerven, die einst den Arm steuerten, eines Tages wieder ebenso mühelos die Prothese lenken“, erklärt Hans Dietl, Leiter der Forschung und Entwicklung der Otto-Bock-Niederlassung in Wien, das Konzept.

Christian Kandlbauer ist der erste Mensch der Welt, der mit seiner High-tech-Prothese bereits einen Schritt in diese Richtung macht. Im vergangenen Dezember wurde der armamputierte Steirer von den plastischen AKH-Chirurgen Manfred Frey und Oskar Aszmann in einer sechsstündigen Operation auf die Prothese vorbereitet. Dabei wurde auch ein Nerv im Bereich des Schlüsselbeins so präpariert, dass er dem Prothesenträger ein Fingergefühl vermittelt. „Das gibt Menschen wie mir ein Stück Lebensqualität zurück. Demnächst fange ich an meiner alten Arbeitsstätte wieder zu arbeiten an“, sagt Kandlbauer. ■