



Hightech mit Hand & Fuß

Hightech-Prothesen. Moderne Bein- und Armprothesen sind wahre Hightech-Produkte, die nahezu natürliche Bewegungen möglich machen. Trotz intensiver Forschung und technologischer Weiterentwicklung sind sie aber noch immer weit vom Original entfernt.

Michaela Darmann

Martin Falch ist ein Sportfreak. Er schwimmt, läuft, fährt Rad und Ski. Neben der Arbeit in einem Sägewerk trainiert er täglich drei Stunden, um in Form zu sein. Dass es sich lohnt, beweisen seine sportlichen Erfolge: Bronzemedaille im Slalom, Sieg im Gesamt-Europacup, Silbermedaille bei der WM in der Wildschönau, Weltmeistertitel im Triathlon – genauer gesagt: im Behinderten-Triathlon, denn nach einem Arbeitsunfall im Jahr 1998 wurde dem Leistungssportler der Unterschenkel amputiert. „Einen Tag vor meinem Unfall war ich noch Schwammerlsuchen“, erinnert sich der 40-Jährige aus St. Anton am Arlberg. „Da habe ich mir gedacht, dass ich zumindest das wieder machen will. Ein Jahr später bin ich schon in der Ski-Nationalmannschaft der Behinderten mitgefahren. Und inzwischen kann ich eigentlich alles wieder tun, was ein Nichtbehinderter auch kann.“

Möglich ist ihm das durch eine Prothese, die seinen fehlenden Unterschenkel ersetzt. Das heißt, eigentlich sind es insgesamt neun Prothesen, die individuell auf seine Bedürfnisse zugeschnitten sind. Ein „Bein“ für den Alltagsgebrauch, eines zum Schwimmen, Ski fahren, Rad fahren usw., eine spezielle Sportprothese fürs Laufen und einige andere mehr. Als seine „Beine“ sieht Martin sie nicht, aber als unentbehrliche „technische Hilfsmittel“. Hilfsmittel, in denen viel Entwicklungsarbeit und Know-how stecken und die immer ausgefeilter werden. Schließlich hat sich in der Prothesentechnik seit dem ersten Einsatz hölzerner Stelzbeine und eiserner Handprothesen (siehe Kasten S. 15 u. 16) unglaublich viel getan. Neben mechanischen Prothesen – wie Martin sie verwendet – sind inzwischen auch mikroprozessor-gesteuerte Modelle erhältlich, die den Träger aktiv unterstützen, ob beim Gehen oder beim Greifen mit den Händen.

COMPUTERGESTEUERT. Moderne Beinprothesen sind längst keine unbeweglichen Krücken mehr, mit Hilfe derer sich Beinamputierte humpelnd vorwärts bewegen. Gut gebaute Modelle ermöglichen heute ein dynamisches und gleichmäßiges Gangbild – Reha und Gehtraining vorausgesetzt, denn ohne Mitarbeit des Patienten läuft auch mit der besten Prothese nichts. Prothesen sind nämlich passive Gliedmaßenersatz, das heißt, die

eigene Kraft und Geschicklichkeit sind nötig, um die Gelenke und Federn der Prothese mit dem richtigen Schwung zu versorgen, der eben jenes nahezu natürliche Gangbild möglich macht. Außerdem ist für einen einfachen Schritt ein komplexer Bewegungsablauf erforderlich. Was bei Menschen mit zwei eigenen Beinen fast völlig automatisch erfolgt, muss von einem Oberschenkelamputierten bewusst gesteuert werden. So verlangt insbesondere das Gehen in unterschiedlichen Geschwindigkeiten von einem ungeübten Prothesenträger volle Aufmerksamkeit, weil er sich auf seine Prothese einstellen muss. Seit einigen Jahren sind aber auch computergesteuerte Beinprothesen auf dem Markt. Wahre Hightech-Produkte, die mit Hilfe eingebauter Sensoren und Mikroprozessoren einiges von dieser „Denkarbeit“ übernehmen und den Patienten auf diese Weise aktiv entlasten. Beim „C-Leg“ – das „C“ steht für „computerized“ – des Wiener Prothesenherstellers Otto Bock zum Beispiel ermitteln hochsensible Sensoren 50 Mal pro Sekunde, in welcher Bewegungsphase sich das

Bein befindet. Aufgrund der Daten regelt der Mikroprozessor die Kniefunktion über eine Hydraulik. Das C-Leg stellt sich also automatisch und in Echtzeit auf die jeweilige Situation ein – die Gefahr des Wegrutschens oder Ein-

„Mit meiner Prothese kann ich inzwischen eigentlich alles wieder tun, was ein Nichtbehinderter auch kann.“

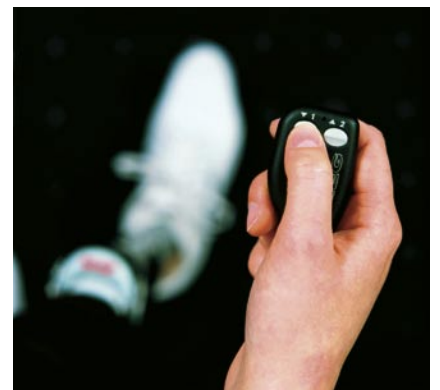
Martin Falch, seit seiner Unterschenkelamputation im Behindertensport aktiv

knickens auf abschüssigem oder unebenem Boden soll dadurch nicht mehr gegeben sein. Laut Angaben des Herstellers stellt das C-Leg die bisher beste Annäherung an das natürliche Gehen dar. Durch eine spezielle Einstellsoftware seien damit sogar Sportarten wie Inline-Skaten oder Ski-Langlaufen kein Problem. „Der größte Vorteil des C-Legs ist der, dass es sich auf den Betroffenen einstellt und nicht umgekehrt“, betont Hans Dietl, Geschäftsführer von

VOM HOLZ- ZUM COMPUTERBEIN

Die ersten Beinprothesen bestanden aus Holzstelzen – die wahrscheinlich älteste Darstellung des Stelzfußes wurde auf einer Vase aus dem zweiten Jahrhundert entdeckt – und noch im 16. Jahrhundert zählte die Holzstelze zur Standardversorgung für Unterschenkelamputierte. Erst nach dem Ersten Weltkrieg wurde die erste Prothese mit Kniegelenk entwickelt, die Oberschenkelamputierten eine gewisse Bewegungsfreiheit ermöglichte. Inzwischen wurden nicht nur die Werkstoffe von Beinprothesen verbessert, sondern auch deren Mechanik und Steuerung. Seit einigen Jahren sind computergesteuerte Beinprothesen auf dem Markt, die mittels eingebauter Sensoren und Mikroprozessoren erkennen, in welcher Bewegungsphase sich das Bein befindet und wie schnell sich die Person bewegt. Das „C-Leg“[®] des Wiener Prothesenherstellers Otto Bock war das weltweit erste vollelektronisch gesteuerte Kniegelenksystem, das bis zur Anwendungsreife entwickelt wurde. Das Neuartige daran: Das C-Leg[®] denkt beim Gehen mit, stellt sich auf die aktuelle Situation automatisch und in Echtzeit ein, wodurch

nahezu natürliche Bewegungsabläufe möglich sind. Individuell anpassbare Sonderfunktionen (z.B. Radfahrmodus) können vom Träger über eine Fernbedienung (siehe Foto) aktiviert werden. Die Kosten für ein C-Leg[®] (gesamte Beinprothese, Prothesentraining und dreijähriges Service inklusive) belaufen sich auf etwa 26.000 Euro. In Fällen, in denen ein klinischer Nutzen nachgewiesen werden kann, werden die Kosten im Allgemeinen von der Versicherung übernommen.

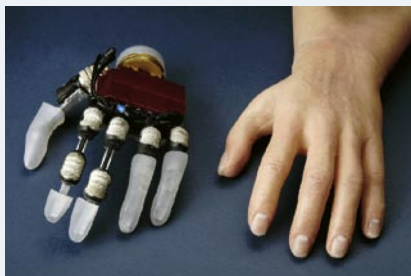




BEWEGEND. Martin Falch vollbringt sportliche Höchstleistungen – trotz Unterschenkelamputation. Seine Prothesen machen es möglich.

HAND-ERSATZ

Im 16. Jahrhundert musste man noch mit unbeweglichen Handprothesen aus Eisen (eiserne Hand von Götz von Berlichingen) oder Holz vorlieb nehmen. Erst für die vielen verstümmelten Opfer des Ersten Weltkriegs, die Gliedmaßen verloren hatten, wurden die ersten modernen Prothesen, die auch einfache Bewegungen ermöglichten, entwickelt. Eine Revolution war zweifellos die 1916 von Ferdinand Sauerbruch entwickelte Armprothese, zu deren Steuerung man die Restmuskulatur des verletzten Arms verwendete. Heute haben sich myoelektrische Handprothesen durchgesetzt, bei denen man die körpereigenen elektrischen Potenziale der Muskulatur im Armstumpf nutzt, um die Bewegung der künstlichen Hand zu steuern. Auch Rückkopplung, also Informationen etwa über die Stärke des Griffs, ist mittlerweile in gewissem Umfang möglich. Völlig neu sind bionische Fluidhände, die noch leichter und beweglicher sind.



INNOVATIV. Fluid-Hände bestechen durch große Beweglichkeit und niedriges Gewicht.

Otto Bock Österreich. Unzufriedenstellend sei hingegen noch das Aufwärtsgang auf einer Treppe oder Rampe mit dem Computerbein, da das Gangbild dabei noch wesentlich vom natürlichen Gangbild abweiche. „Grundsätzlich hat jede Prothese ihre Defizite“, will Dietl diese Einschränkung nicht beschönigen. „Natürlich gelingt es mit Hightech-Prothesen, dass sich die Betroffenen wieder gleichwertig im Alltag zurechtfinden können. Aber ihr amputiertes Bein oder ihren Arm kann man durch eine Prothese nicht eins zu eins ersetzen. Wer behauptet, dass das irgendwann einmal möglich wäre, ist einfach nur überheblich.“

HANDARBEIT MIT GEFÜHL. Trotz intensiver Forschung und technologischer Weiterentwicklung bis hin zu computer-gesteuerten Kniegelenken gibt es also noch keine Oberschenkelprothese, die alle natürlichen Funktionen des Beins ersetzen kann. Ähnlich verhält es sich bei den Versuchen, menschliche Hände und Arme zu imitieren. Vielmehr machen es die noch komplexeren Bewegungsabläufe der oberen Extremitäten ungleich schwieriger, einen künstlichen Ersatz dafür herzustellen. Fremdkraftprothesen, die auch als myoelektrische Prothesen bezeichnet werden, stellen einen echten Fortschritt in der Armprothetik dar. Durch Steuerung von Muskelsignalen, die aus dem verbliebenen Stumpf abgenommen werden, sind damit

natürliche Handbewegungen durchführbar. Allerdings lassen neueste Modelle nur drei Freiheitsgrade, nämlich „Hand öffnen und schließen“, eine Drehbewegung im Handgelenk sowie das Beugen und Strecken im Ellenbogengelenk zu. Vom natürlichen Vorbild, das die Bewegung jedes einzelnen Fingers miteinschließt, sind diese Hightech-Produkte also noch immer weit entfernt. Weltweit tüfteln Wissenschaftler und Techniker nun daran, die Bewegungsmöglichkeiten von Handprothesen zu verbessern. Das Problem dabei ist nur, dass mit der Erhöhung der Greifarten auch das Gewicht der Prothese steigt, deren Bewegungen durch eingebaute Elektromotoren betrieben werden. Ziel von Wissenschaftlern am Forschungszentrum Karlsruhe ist es daher, das Gewicht der Prothese trotz hoher Funktionalität möglichst gering zu halten. Die dort entwickelte Handprothese besteht aus „flexiblen Fluidaktoren“, welche die schweren Motoren des bisher elektronischen Modells ersetzen. Damit lassen sich auch einzelne Fingergelenke bewegen – mit entsprechenden Prototypen werden seit einigen Jahren Testversuche durchgeführt. Die „Fluid-Hand“ soll aber nicht nur in ihrer Funktion, sondern auch in ihrer Erscheinung dem Original möglichst nahe kommen. Modernste Hightech-Materialien werden dafür eingesetzt, die ein möglichst naturgetreues Aussehen verleihen sollen. Die Forscher nennen ihr

„Ein amputiertes Bein oder einen Arm kann man nicht eins zu eins ersetzen. Wer das behauptet, ist einfach nur überheblich.“

Hans Dietl, GF Otto Bock Österreich

Produkt auch „bionische Hand“. Als Bionik wird ein multidisziplinärer Wissenschaftszweig bezeichnet, wobei Bioniker versuchen, natürliche Verfahren und Abläufe der Natur nicht nur zu verstehen, sondern ihre Erkenntnisse auch in neue technische Verfahren umzusetzen.

Auch beim Prothesenhersteller Otto Bock in Wien wird laut Dietl gerade an Armprothesen experimentiert, die sieben Freiheitsgrade besitzen sollen. In einem großen weltweiten Forschungsprojekt werde sogar versucht, Armsysteme mit insgesamt 22 Freiheitsgraden zu entwickeln, mit denen jeder einzelne Finger unabhängig bewegt



SPRINT AUF FEDERN. Auch bei Sportprothesen gibt Hightech den Ton an. Spezielle Carbonfedern erzielen so etwas wie einen „Katapult-Effekt“.

werden kann. Außerdem sollen durch völlig neue Armprothesen Empfindungen, etwa von Druck oder Temperatur, verliehen werden. Das visionäre Ziel ist also eine Prothese, mit der man wirklich wieder etwas fühlen kann. „Im Forschungsbereich tut sich jede Menge“, bestätigt Dietl den enormen technologischen Schub, der schon seit Jahren in der Prothesenentwicklung anhält. Das Ziel sei nach wie vor die vollständige neuronale Kopplung, um mehr Bewegungen ansteuern zu können und dem Patienten eine natürlichere Steuerung seiner Prothese möglich zu machen. „Dafür muss aber die Ableitung von Nervenimpulsen diffiziler werden und diese Steuersignale sind gar nicht so leicht zu isolieren“, gibt Dietl zu bedenken. „Wenn die zu bekommen sind, dann nur mit Verfahren, die sich der künstlichen Intelligenz bedienen. Das geht schon. Das Problem ist aber, dass alle diese Systeme im Labor wunderbar funktionieren, am Patienten allerdings noch immer nicht alltagstauglich sind.“

Nichtsdestotrotz stellen die Entwicklungen im Bereich der Prothesentechnik eine ungeheure Erleichterung für bein- oder armamputierte Menschen dar – selbst wenn es nie gelingen wird, das Original wirklich zu kopieren. <

INTERVIEW

Gesund & Leben führte ein Interview mit Dr. Hans Dietl, Geschäftsführer des Wiener Prothesenherstellers Otto Bock. Das zur gleichnamigen deutschen Firmengruppe gehörende Unternehmen zählt zu den Weltmarktführern in der Exo-Prothetik.

G&L: Seit den ersten Versuchen, menschliche Gliedmaßen durch künstliche zu ersetzen, hat sich in der Entwicklung von Arm- und Beinprothesen viel getan. Wie würden sie die technologische Entwicklung von damals bis heute beschreiben?

HANS DIETL: Grundsätzlich kann man sagen, dass zu jeder Zeit – und das fängt mit Götz von Berlichingen an – das Thema Gliedmaßenersatz eine technologische Herausforderung war. Es sind sehr viele Dinge gemacht worden, aber oft war die Zeit noch nicht reif, was die technologische Entwicklung anbelangt. Wenn man sich anschaut, was nach dem Zweiten Weltkrieg an hochkomplexen Systemen entwickelt worden ist – nahezu alle haben am Markt nicht standgehalten, weil einfach die Robustheit der Systeme nicht gegeben war. Und das zieht sich einfach durch die Geschichte durch. Man muss also für die Entwicklung in diesem Bereich einen sehr ganzheitlichen Ansatz wählen und immer im Hinterkopf behalten, wie die Entwicklungen dann eingesetzt werden. Das heißt, die Praktikabilität sollte gegeben sein.

G&L: Trotz intensiver Forschung und technologischer Weiterentwicklung können heutige Handprothesen nur die Grundbedürfnisse „Hand öffnen“ und „Hand schließen“ erfüllen. Sind also noch immer weit vom natürlichen Vorbild entfernt.

DIETL: Mit der von Otto Bock entwickelten „Sensorhand Speed“ kann man die Hand öffnen und schließen, außerdem ermöglicht sie im Handgelenk eine Drehbewegung. Bei einer Unterarmprothese hat man also zwei Freiheitsgrade. Wenn man den Ellenbogen dazu nimmt, sind das drei Freiheitsgrade. Das ist das, was momentan der Stand der Technik ist. Wir experimentieren gerade an Armprothesen mit bis zu sieben Freiheitsgraden, die wir entwickeln und früher oder später auch auf den Markt bringen werden.

G&L: Welche Herausforderungen stellen Hightech-Prothesen für den Entwickler dar – insbesondere der künstliche Ersatz menschlicher Arme und Hände, deren Bewegungsabläufe noch komplexer sind als die der Beine?

DIETL: Im Rahmen eines großen Forschungsprojekts – in dem Otto Bock auch eine wichtige Rolle spielt – versucht man, Armsysteme mit bis zu 22 Freiheitsgraden zu entwickeln. Damit kann dann jeder einzelne Finger betätigt werden. Das Problem dabei ist nur, dass diese Prothesen automatisch schwerer werden und von einem Patienten dann getragen werden sollen. Das ist dann das nächste Thema.

G&L: Was glauben Sie, wohin die Entwicklung im Bereich von Hightech-Prothesen noch gehen wird?

DIETL: Das Ziel ist nach wie vor die vollständige neuronale Kopplung, also dass man mehr Steuersignale bekommt, die der Hand, dem Unter- und Oberarm zugeordnet sind. Dadurch soll man mehr unterschiedliche Bewegungen ansteuern können und dem Patienten eine natürlichere Steuerung seiner Prothese möglich machen. Das schließt natürlich auch eine unmittelbare Rückmeldung ein – dass man quasi dem Patienten wieder Gefühl zurückgeben kann. Da gibt es auch etliche Projekte, von denen einige innerhalb der nächsten zwei bis drei Jahre bis zur klinischen Studie kommen sollen – allerdings ist bis dahin doch noch einiges zu tun.

G&L: Das klingt so, als ob im Moment ein deutlicher technologischer Schub in der Prothesenentwicklung herrscht?

DIETL: Im Forschungsbereich auf jeden Fall. Diese Dinge müssen dann aber auch noch zu Produkten umgesetzt werden. Ich würde sagen, dass innerhalb der nächsten fünf Jahre doch deutliche Verbesserungen auf den Markt kommen werden.

G&L: Glauben Sie, dass es irgendwann möglich sein wird, menschliche Gliedmaßen vollwertig durch künstliche zu ersetzen?

DIETL: Das ist eine Utopie. Meine Utopie ist eigentlich die, dass der Patient quasi vergisst, dass er noch eine Prothese trägt. Es wird dann aber noch immer kein vollwertiger Ersatz sein.

