

SWR2 Wissen

Fühlende Prothesen

Wie Gedanken künstliche Körperteile steuern

Von Margrit Braszus

Sendung: Mittwoch, 11. Mai 2016, 08.30 Uhr

Redaktion: Sonja Striegl

Regie: Autorenproduktion

Produktion: SWR 2016

Bitte beachten Sie:

Das Manuskript ist ausschließlich zum persönlichen, privaten Gebrauch bestimmt. Jede weitere Vervielfältigung und Verbreitung bedarf der ausdrücklichen Genehmigung des Urhebers bzw. des SWR.

Service:

SWR2 Wissen können Sie auch als Live-Stream hören im **SWR2 Webradio** unter www.swr2.de oder als **Podcast** nachhören: <http://www1.swr.de/podcast/xml/swr2/wissen.xml>

Die **Manuskripte** von SWR2 Wissen gibt es auch **als E-Books für mobile Endgeräte** im sogenannten EPUB-Format. Sie benötigen ein geeignetes Endgerät und eine entsprechende "App" oder Software zum Lesen der Dokumente. Für das iPhone oder das iPad gibt es z.B. die kostenlose App "iBooks", für die Android-Plattform den in der Basisversion kostenlosen Moon-Reader. Für Webbrowser wie z.B. Firefox gibt es auch sogenannte Addons oder Plugins zum Betrachten von E-Books:

Mitschnitte aller Sendungen der Redaktion SWR2 Wissen sind auf CD erhältlich beim SWR Mitschnittdienst in Baden-Baden zum Preis von 12,50 Euro.

Bestellungen über Telefon: 07221/929-26030

Bestellungen per E-Mail: SWR2Mitschnitt@swr.de

Kennen Sie schon das Serviceangebot des Kulturradios SWR2?

Mit der kostenlosen SWR2 Kulturkarte können Sie zu ermäßigten Eintrittspreisen Veranstaltungen des SWR2 und seiner vielen Kulturpartner im Sendegebiet besuchen. Mit dem Infoheft SWR2 Kulturservice sind Sie stets über SWR2 und die zahlreichen Veranstaltungen im SWR2-Kulturpartner-Netz informiert. Jetzt anmelden unter 07221/300 200 oder swr2.de

MANUSKRIFT

Atmo: Geräusche

1. O-Ton - Karl-Heinz Weber (unterschenkelamputiert):

Ich merke das Aufsetzen der Ferse, das Abrollen des gesamten Fußes und ich fühle den künstlichen Fuß als meinen eigenen.

2. O-Ton - Roland Zahn (beinamputiert):

Dann spürt man das so, als wäre die Fußsohle oder die Wade noch vorhanden, das spürt man trotzdem. Und das Gefühl ist einfach wichtig um eine Sicherheit beim Laufen zu haben.

3. O-Ton - Thomas Stieglitz (Neuroingenieur):

Skywalkers Hand ist immer noch das Muster-Beispiel: Wir nehmen die elektrischen Signale, die auf den Nerven vorhanden sind, (die unser Gehirn dorthin sendet und wir versuchen das mit elektrischem Strom zu überschreiben,) so dass der Mensch das fühlt, was er fühlen würde, wenn die Hand noch dran wäre.

4. O-Ton - Bernhard Gaimann (Prothesenentwickler):

Wenn man diesen Film kennt, dann ist die Luke Skywalker Hand eine fast natürliche Hand, mit den Fähigkeiten einer natürlichen Hand, und davon sind wir tatsächlich ganz weit entfernt.

Atmo: sphärische Klänge von Star Wars

Sprecher:

„**Fühlende Prothesen – Wie Gedanken künstliche Körperteile steuern**“. Eine Sendung von Margrit Braszus.

Atmo: Surren der Prothese, Piepsen Bluetooth

Autorin (über Atmo):

Als der Science-Fiction-Film Star Wars 1977 in die Kinos kam, war Roman Ochs drei Jahre alt. Damals wusste er nichts von Luke Skywalkers kybernetischer Prothese, die der Jedi-Ritter als Ersatz für seine im Kampf verlorene Hand bekommt. Vor eineinhalb Jahren geriet der linke Arm des 42-Jährigen in eine Strickmaschine und musste amputiert werden. Seit kurzem hat er nun selbst eine künstliche Hightech-Hand:

5. O-Ton - Roman Ochs (armamputiert) und Ergotherapeutin Daniela Wüstefeld:

Ich mache das mit meinem Phantomarm, das heißt ich denke, dass ich mit meinem Phantomarm die Finger schließe – vielleicht deswegen ist es dieser Begriff mit „gedankengesteuerter Prothese“.

Herr Ochs, dann würde ich Sie bitten, dass Sie die Prothese noch einmal neu einschalten, damit das Bluetooth aktiviert ist. Ich würd jetzt die Prothese mit dem Computer verbinden, damit wir eine Chance haben Ihre Muskelsignale auf dem Bildschirm zu verfolgen. (**Atmo: Maus klicken etc.**)

Ok, da sehen wir schon die ersten Signale auf dem Bildschirm. (**weiter Atmo drunter lassen**)

Autorin:

Blaue und rote Linien mit Zacken entstehen auf dem Bildschirm, sobald Roman Ochs seine verbliebenen Muskeln im Stumpf anspannt. (**Atmo: Maus klicken und Tastatur**) Zweimal pro Woche kommt der 42-Jährige ins therapeutische Zentrum der Firma Ottobock im niedersächsischen Duderstadt. Mit Hilfe von Ergotherapeutin Daniela Wüstefeld lernt er, mit der sogenannten „gedankengesteuerten Prothese“ umzugehen. 2013 hat das Medizintechnik-Unternehmen sie entwickelt. Erst seit kurzem ist sie auf dem Markt und wird bundesweit von zehn Trägern genutzt. Roman Ochs ist einer von ihnen.

6. O-Ton - Daniela Wüstefeld (Atmo: Geräusch Computermaus klicken):

Dann spannen Sie doch bitte mal den Bizeps so an, dass Sie ein Signal geben für das „Hand schließen“, genau, das kann man jetzt auch sehr schön auf dem Bildschirm sehen, und dann das rote Signal am Trizeps zum „Hand öffnen“.

Autorin (über Atmo):

Die Hightech-Hand kann sich drehen, und die Finger können zugreifen, so dass Roman Ochs etwa einen Becher halten, oder eine Flasche umschließen kann. Sieben verschiedene Griffarten sind mit der Hand möglich. Was die künstliche Hand machen soll, steuert er zunächst über seine Gedanken. Das bedeutet, er muss sich vorstellen, dass er einen bestimmten Griff mit seinem nicht mehr vorhandenen Arm und der Hand macht:

7. O-Ton - Daniela Wüstefeld (Therapeutin):

Herr Ochs führt Bewegungen mit seinem Phantomarm aus, das heißt, wir haben gemeinsam erarbeitet, dass er seinen Phantomarm explizit bewegen kann, und Ziel wäre es, dass im Prinzip nachher die Prothesenbewegung sehr nah an sein Phantomgefühl herankommt, dass wir eine sehr intuitive Steuerung erzielen können.

Autorin:

Jedes Mal, wenn Roman Ochs aus der Erinnerung heraus seinen amputierten Arm bewegt, entstehen über die Muskelanspannung elektrische Nervensignale. Diese Signale werden von den Elektroden im Prothesenschaft gemessen und an den Minicomputer im Inneren der Prothese weiter gegeben, der sie in die entsprechende Bewegung umsetzt. Noch ist der 42-Jährige dabei zu lernen, welche Muskeln er anspannen muss, damit die künstliche Hand sich so bewegt, wie er das will:

8. O-Ton - Daniela Wüstefeld:

Herr Ochs hat fünf Sensoren, wobei einer für das Beugen des Ellenbogens, einer für das Strecken des Ellenbogens zuständig ist, dann Hand schließen und Hand öffnen, und wenn er langsam anfängt den Muskel anzuspannen, dreht sich die Hand nach innen, wenn er schneller damit startet, dreht sich die Hand nach außen. (**Atmo: Surrendes Geräusch**)

Autorin:

Damit er die Hightech-Armprothese überhaupt ansteuern kann, wurde bei ihm eine selektive Nerventransplantation durchgeführt, kurz TMR für „*Targeted Muscle*

Reinnervation“. Nerven in seinem Oberarmstumpf, die ursprünglich den jetzt amputierten Arm und die Hand versorgt haben, wurden chirurgisch in seine Bizeps- und Trizepasmuskulatur „verlegt“:

9. O-Ton - Roman Ochs (mit russischem Akzent):

Bizeps und Trizeps wurden durchgetrennt und die Nerven wurden eingepflanzt. Das ist auf jeden Fall hilfreich. Zum Beispiel wenn ich einkaufen gehe, kann ich schon die Tüte halten mit der linken Hand, mit der rechten Hand kann ich was reinpacken, dann so Kleinigkeiten wie Zeitung tragen, zum Beispiel wenn ich Joghurt esse, dann kann ich das schon festhalten, das hilft schon.

Autorin:

Die Methode, Nervenenden in andere, nahegelegene Muskeln umzuleiten, haben Forscher des „Rehabilitation Institute of Chicago“ vor zehn Jahren entwickelt. Sie nutzten das Phänomen, dass das zentrale Nervensystem weiter Signale an amputierte Gliedmaßen sendet, und dass durchtrennte Nerven sich in anderen Zielorganen regenerieren können und neue Funktionen übernehmen. Damit die umgeleiteten Nerven einwachsen ist es nötig, die Muskulatur regelmäßig zu trainieren. Daher ist es wichtig, dass Roman Ochs immer wieder gedanklich Bewegungen seines verlorenen Arms und der Hand durchspielt, und dazu entsprechende Muskelkontraktionen übt:

10. O-Ton - Roman Ochs und Daniela Wüstefeld (Therapeutin):

Roman Ochs: (*längeres Surren*) Beugen und strecken ist ein anderes Geräusch, schließen und öffnen, das ist ein ganz anderes Geräusch. (*kurzes Surren*)

Therapeutin: Geduld und Motivation sind die beiden wichtigsten Schlagwörter. (*Geräusche Prothese*) Jetzt haben sich die muskulären Fähigkeiten so sehr verbessert, dass er zum Beispiel Zeitlupenbewegungen durchführen kann, oder auch schnell. Also ganz gezielt die Hand öffnen, und dann z. B. mal diesen Plastikbecher ganz vorsichtig greifen. (*Geräusch Becher greifen*)

Autorin:

Dass Roman Ochs einen Becher ansteuert, funktioniert nur, wenn die Schnittstellen zwischen den Sensoren auf seiner Haut und den Elektroden an der Prothese exakt übereinstimmen – dabei kann es um Millimeter gehen. Deshalb muss er üben, die Armprothese richtig anzuziehen, immer wieder, auch in dieser Therapiestunde. Roman Ochs legt die Prothese ab und zieht sie wieder an.

In einem dreiviertel Jahr, hofft der junge Familienvater, wird er seine Arbeit als Maschinenführer wieder aufnehmen können. Besonders zuversichtlich macht ihn, dass der quälende Phantomschmerz zurückgegangen ist, seit er die gedankengesteuerte Armprothese einsetzt.

11. O-Ton - Roman Ochs:

Weil meistens der Phantomschmerz so stark ist, dieser Schmerz geht nicht runter, er ist immer da, und deswegen diese Operation mit Nerveneinpflanzung, das hilft auf jeden Fall. Nerven kriegen seine Funktion wieder, wird durch das Gehirn weiter verarbeitet, und deswegen geht ziemlich runter, der Schmerz. Geht's mir auf jeden Fall besser wie vorher, das hilft auf jeden Fall.

Atmo: Geräusche

Autorin:

Nach Amputationen kommt es häufig zu sog. Phantomempfindungen. Viele Betroffene meinen, dass sie den amputierten Arm oder das verlorene Bein noch spüren. Sie empfinden ein jucken oder starkes kribbeln. Die meisten – von 60 bis 80 Prozent spricht die Deutsche Schmerzgesellschaft – verspüren wiederkehrende, brennende Schmerzen. Ursachen für Phantomschmerzen liegen im Gehirn, fanden Neurowissenschaftler heraus. Wird beispielsweise ein Arm amputiert, erhält das zuständige sensorische Hirnareal keine Signale mehr. Das Gehirn reagiert und stellt sich um: Empfindungen für den fehlenden Arm werden von der *benachbarten* Hirnregion übernommen. Dabei können diffuse, fehlgeleitete Nervensignale entstehen, die Schmerzen verursachen.

Forscher haben erkannt, dass Phantomschmerzen zurückgedrängt werden können:

12a. O-Ton - Thomas Stieglitz (Mikrosystemtechniker):

Wenn die Hand weg ist, hat das Gehirn keine Eingangssignale mehr und die Nachbargebiete übernehmen das, so wie im Garten, wenn ich ein Beet habe und mich nicht drum kümmere, dann wächst das Unkraut von den Rändern da rein.

Autorin:

... erklärt Professor Thomas Stieglitz vom Freiburger Institut für Mikrosystemtechnik.

12b. O-Ton - Thomas Stieglitz:

Die Idee ist jetzt, diesem Hirngebiet wieder sinnvolle Signale durch Elektrostimulation anzubieten, dass die nicht gewünschten Signale oder Areale durch Lernen sich wieder umorganisieren, und der Patient dort sinnvolle Signale empfängt, und dadurch der Phantomschmerz geringer wird.

Autorin:

Die internationale Forschergruppe, der Thomas Stieglitz angehört, will Nerven durch elektrische Signale gezielt reizen. Dem Gehirn wird dadurch signalisiert, dass die Hand noch vorhanden ist – dann lässt der Schmerz nach, so die Experten. Doch damit Signale wieder im Gehirn ankommen, müssen *Gefühle* von den Fingern der künstlichen Hand weitergeleitet werden. Eine große Herausforderung:

13. O-Ton - Thomas Stieglitz:

Wie schaffe ich das, dass das in der richtigen Art und Weise zugeht, dass die Hand in der richtigen Position ist, um eine Tasse oder einen Bleistift zu greifen, und dass ich weiß, wie fest ich zugreifen muss. Stellen Sie sich vor: Eine Plastikflasche, geschlossen, und wenn ich dann den Verschluss öffne, dann wird es sehr schwierig, eine volle Flasche nicht auf dem Tisch zu verschütten, weil sie auf einmal eine ganz andere Weichheit hat. Und dies ist genau eine der Schwierigkeiten, das rauszufinden und ganz schnell nach zu regeln, dass ich die Kraft etwas nachlasse, ohne aber den Gegenstand fallen zu lassen.

Atmo: Geräusche

Autorin:

Zusammen mit Kollegen aus Italien und der Schweiz ist den Freiburger Forschern am Institut für Mikrosystemtechnik eine neurotechnische Sensation geglückt: 2012 stellten sie die weltweit erste Handprothese vor, die „fühlen“ kann:

14. O-Ton - Thomas Stieglitz:

Das wirklich Besondere an dieser Prothese ist, dass ich damit die Härte eines Gegenstandes und die Kraft, mit der ich zugreife, spüren kann, quasi intuitiv, so als ob die biologische Hand noch dran wäre. Und das ist gelungen, indem die italienischen Forscher Kraftsensoren, also kleine Druckplatten, in zwei Fingerspitzen in der Hand eingearbeitet haben. Diese Signale werden von einem Computer aufgenommen und berechnet und in Stromimpulse umgesetzt, die dann an die Nerven gegeben werden, die im Armstumpf noch vorhanden sind.

Autorin:

Kernstück des Systems sind neuronale Implantate: winzige Elektroden, die sensorische Daten der künstlichen Hand über das periphere Nervensystem direkt ins Gehirn übertragen. Sie informieren darüber, ob ein Objekt rund oder eckig, weich oder hart ist, und wie viel Kraft etwa ein Händedruck erfordert. Ein 53-jähriger Patient, der in Italien lebt, bekam zwei dieser Elektroden in Nerven seines Oberarmstumpfes eingepflanzt. Mit hauchdünnen Kabeln wurden die Elektroden mit seiner Handprothese verbunden. Dreißig Tage lang konnte er im Rahmen des wissenschaftlichen Projekts mit der „führenden Laborhand“ leben:

15. O-Ton - Thomas Stieglitz:

Der Patient war sehr zufrieden, hatte eine Verringerung des Phantomschmerzes, deutlich, und konnte unterschiedliche Gegenstände greifen: Er hat Würfel von Gläsern und Orangen unterscheiden können, und er konnte sagen: ist etwas hart, ein Glas, ist etwas weich, wie ein Plastikbecher, oder ist es etwas wie „in der Mitte“, eine Packung mit Papiertaschentüchern. Das konnte er recht sicher, so dass er mindestens in 9 von 10 Fällen das richtige erfühlen konnte ohne dass er hingucken musste.

Autorin:

Mit den Ergebnissen, veröffentlicht in der Fachzeitschrift „Science Translational Medicine“, sind die Forscher des internationalen Projekts „LifeHand2“ zufrieden. Eine größere klinische Studie soll nun folgen. Problematisch bleibt die Frage, wie lange die neurotechnischen Implantate halten, und wie gut sie verträglich sind:

16. O-Ton - Thomas Stieglitz:

Diese Materialien dürfen nicht giftig sein, sie dürfen sich nicht auflösen im Körper, sollten möglichst nicht vom Körper als Fremdkörper erkannt werden, und sie müssen fertigbar sein, man muss sie reproduzieren können und auch öfter als ein Mal. Das klingt sehr einfach, bedeutet aber, dass wir für unseren einen Patienten, den wir bislang hatten, mit einer Kleinserie von 120 Stück anfangen mussten, um alle Sicherheitstests durchführen zu können: Sind die Endprodukte sauber sind sie keimfrei, sind sie noch intakt, wenn sie sterilisiert sind, so dass das die höchsten Anforderungen an Medizinprodukte sind, die wir erfüllen mussten.

Autorin:

Auch andere Forschergruppen sind dem Traum nähergekommen, eine künstliche *fühlende* Hand zu entwickeln. Wissenschaftler an den Universitäten Göteborg, Cleveland und Pennsylvania weisen in aktuellen Studien nach, dass Probanden mit fühlenden Laborhänden einen Wattebausch, Sandpapier, Weintrauben und anderes ertasten konnten. Doch bis fühlende Handprothesen marktreif sind, wird es noch zehn Jahre dauern, prognostizieren Experten.

Atmo: Klänge**Autorin:**

Dinge fühlen zu können, ist die Voraussetzung dafür, dass man sie mit der Hand sicher halten kann. Ähnliches gilt beim Laufen: Wenn die Fußsohle an das Gehirn übermittelt, wie der Untergrund beschaffen ist, fällt der Schritt entsprechend fest oder vorsichtig aus. Beinamputierte mit herkömmlichen Prothesen klagen oft darüber, dass sie sich unsicher fühlen. Die Gefahr zu stolpern oder zu stürzen sei stets präsent. Meist müssten sie nach unten schauen, um zu kontrollieren, wohin sie treten. Auch Karl-Heinz Weber, Chef einer Messtechnik-Firma im schwäbischen Spaichingen, ist mit herkömmlichen Prothesen mehr schlecht als recht klargekommen:

17. O-Ton - Karl-Heinz Weber (Messtechniker, unterschenkelamputiert):

Ich war dann unzufrieden, dass ich z. B. beim Radfahren immer die Augen benutzen musste, wenn ich in eine Stop-Situation komme, und das Bein vom Pedal nehme und auf die Straße setze. So, jetzt hab ich keine Informationen über Standsicherheit, Untergrund, ich fühl nix. Ich weiß, ich hab das Bein auf dem Untergrund, aber ich weiß nicht im Detail, was unterhalb meinem Knie letztendlich dann vor sich geht.

Autorin:

Sein rechtes Bein ist unterhalb des Knies seit einem Unfall vor einigen Jahren amputiert. Mit dem Unterschenkel war er zwischen zwei Stufen hängen geblieben, als er eine Stahltreppe hinunterlief.

Die Unzulänglichkeiten herkömmlicher Beinprothesen haben dem 58-jährigen Elektroingenieur aus Spaichingen keine Ruhe gelassen. Er fing damit an, an einer fühlenden Beinprothese herum zu tüfteln. Dabei stieß er auf den Forscher Professor Alfred Meier-Koll. Der Physiker und Physiologe von der Forschungsstelle für experimentelle Ergo- und Physiotherapie am Studienzentrum Friedrichshafen beschäftigt sich seit Jahren mit Phantomschmerz und Prothetik. Zusammen entwickelten die beiden einen sogenannten „Phantomstimulator“. Er besteht aus zwei Teilen: Einer Box, die drahtlos Signale empfängt und aussendet, und einer Fußsohle, die mit Sensoren bestückt ist:

18. O-Ton - Karl-Heinz Weber:

Diese Sohle ist im Schuh eingebettet, der Prothesenfuß im Schuh platziert, und jetzt stehen Sie auf Ihre Ferse, dabei entsteht dann ein Druck, was dazu führt, dass von der Ferse Signale ausgesendet werden zu einer Empfängereinheit. Diese Empfängereinheit beinhaltet den eigentlichen Nervenstimulator, das heißt, dort ist ein Generator eingebettet, der ganz gezielt über Elektroden die Nerven anspricht, stimuliert. Über den Nerv wird dieses Empfinden dem Gehirn zugeführt, dem Gehirn

wird gemeldet: „Ich habe meine Ferse“. Sie fühlen Ihre Ferse, obwohl es eine künstliche, mechanische Ferse ist.

Autorin:

Ähnlich wie beim Nerventransfer durch eine Operation basiert das Prinzip des Phantomstimulators darauf, dass brachliegende Nerven Reize weiterleiten, die im schlimmsten Fall Phantomschmerzen auslösen. Da Phantomempfindungen neurobiologische Reaktionen sind, können sie auch ausgelöst werden, wenn bestimmte Hautzonen stimuliert werden, erklärt Wissenschaftler Alfred Meier-Koll.

Reize, die das Gefühl für das verlorene Bein zurückholen, können auf unterschiedlichen Hautfeldern angesiedelt sein, erklärt der Experte. Der erste, bei dem er eine derartige rezeptive Hautfläche feststellen konnte, war einer seiner Studenten: Der junge Mann hatte berichtet, jeweils die rechte Fußsohle seines amputierten Unterschenkels zu spüren, wenn seine Katze ihn an der rechten Hand lecke:

19. O-Ton - Alfred Meier-Koll:

Ich bin der Sache dann nachgegangen, habe die Hand bepinselt mit einem kleinen Malerpinsel, und es stellte sich tatsächlich heraus, dass man dort Felder abgrenzen kann, von denen man selektiv Phantomempfindungen für die Ferse und für den Ballen und sogar Zehen auslösen konnte.

Autorin:

Meier-Koll geht davon aus, dass die meisten Menschen nach Amputationen solche Phantom-Empfindungen spüren können. Wo diese rezeptiven Hautfelder sich entwickeln, lässt sich aber nicht vorhersagen, so der Forscher, der diese Felder über eine relativ aufwändige Prozedur ausfindig macht:

20. O-Ton - Alfred Meier-Koll:

Wir können ja nicht durch die Schädeldecke hindurch beobachten, welche Nervenverbindungen zwischen einem gesunden, intakten Feld und dem brach liegenden Feld hergestellt werden. Wir finden dann durch Bepinseln mit einer Bürste oder einem Aquarellpinsel bestimmte Hautstellen, dass von dort aus bestimmte Hautempfindungen ausgelöst werden können, und wir arbeiten uns vom Amputationsstumpf über den Oberschenkel nach oben über den Rücken oder die Brust, den Arm bis zur Hand, bepinseln wir also einzelne Stücke, und der Versehrte gibt dann an, ob er jetzt eine Phantomempfindung hat oder nicht.

Autorin:

Mit einem Fettstift schraffiert er rezeptive Hautflächen, fotografiert sie, um sie besser wieder zu finden. Später werden in diese Felder die Elektroden geklebt. Der Phantomstimulator ist inzwischen als Patent eingetragen. Doch bislang wurde das Gerät nur in Feldstudien an wenigen Beinamputierten getestet. Die Erfahrungsberichte dazu sind in der Zeitschrift *Orthopädietechnik* veröffentlicht. Geplant ist eine groß angelegte klinische Studie in Zusammenarbeit mit einem isländischen Prothetik-Hersteller. Noch ist ungeklärt, ob und wann der Phantomstimulator samt Zubehör für geschätzte 600 bis 900 Euro flächendeckend eingeführt werden kann.

Atmo: Laufschrirte (Karl-Heinz Weber)

Autorin:

Ohne seine Fußsohle mit den Sensoren und dem Zigaretenschachtel großen Empfänger, den er mit einer Manschette am Arm befestigt, macht Konstrukteur Karl-Heinz Weber jedenfalls keinen Schritt mehr vor die Tür: Dann läuft er manchmal quer durch die Stadt zu seinem Büro, und schafft mühelos die letzten Meter auf dem Schotterweg bis zum Firmengelände. Die Freude zu laufen ist zurückgekehrt, sagt er:

21. O-Ton - Karl-Heinz Weber (Tüftler, beinamputiert):

Mit dem Stimulator empfinde ich die Bewegung wie mit einem biologischen Bein, ich merke das Aufsetzen der Ferse, das Abrollen des gesamten Fußes und kann aber auch in diesem Moment den Untergrund mit erfassen, also ich weiß dann: es ist uneben, es sind Steine, also die Gegebenheiten kann ich lokalisieren. Ich fühle den künstlichen Fuß als meinen eigenen.

Autorin:

Da er seither sicherer läuft hat sich auch sein Gangbild deutlich verbessert. Das Wichtigste aber ist, versichert Karl-Heinz Weber, dass er schmerzfrei seine alten Hobbies wieder pflegen kann:

22. O-Ton - Karl-Heinz Weber:

Mit der Anwendung des Phantomstimulators habe ich keine Phantomschmerzen, bin seit ca. eineinhalb Jahren ohne Schmerzmittel. Ich bin begeisterter Motorradfahrer, ich kann das Motorrad über die Fußraster kontrollieren, ich kann sogar das Bremspedal kontinuierlich steuern, ich fühle es. Ich kann an die Kletterwand, kann vorstehende Teile ertasten und dann auch Druck auf die Prothese oder den Prothesenfuß bringen, indem ich genau weiß, ich stehe jetzt sicher auf Untergrund, spüre den Untergrund und mache dann die entsprechende Aufwärtsbewegung beim Klettern.

Autorin:

Der Anspruch an Prothesen ist gestiegen. Die meisten Prothesenträger wollen ihr Hilfsmittel in allen Lebenslagen einsetzen: beim Sitzen, Stehen, Gehen, Laufen, Treppensteigen und bei sportlichen Tätigkeiten. Diesen Ansprüchen will der weltweit größte Prothetik-Hersteller *Ottobock* im niedersächsischen Duderstadt nachkommen. Dort werden unter anderem technisch ausgeklügelte Prothesensysteme entwickelt und in Testlabors unter Extrembedingungen geprüft: (**Atmo:** *Testlabor, rhythmisches Klacken*) Ununterbrochen marschieren Beinprothesen auf Laufbändern. Mit ihren Gelenken aus Stahl, Metall oder Karbon verursachen sie rhythmisches Klacken:

Atmo: Testlabor, rhythmisches Klacken

23. O-Ton - Alex Humphreys (Prüftechniker Prothetikfirma Ottobock):

Wir haben hier hydraulische Maschinen, auf die wir Proben aufbringen, die dann dementsprechend belastet werden mit definierten Lasten und Zyklenzahlen, die Lasten zum Beispiel entsprechend eines Patientengewichts von 125 Kilo. Das Bein wird in unterschiedlichen Konfigurationen aufgebaut, einmal eine Vorfußlast wird simuliert und in einem anderen Test wird eine Fersenlast simuliert ...

Autorin:

Prüftechniker Alex Humphreys stellt die Maschinen ein und kontrolliert die Testabläufe:

Atmo: unterschiedlich rhythmisches Klacken

24. O-Ton - Alex Humphreys:

Wenn sie jetzt auf die Maschine schauen, sehen Sie ein Knie, was belastet wird mit drei Millionen Zyklen, was sieben Tage dauert. Das Gelenk wird dann untersucht auf Schäden, auf Risse, auf Verformung. Wenn die Tests hier ein bestimmtes Maß erreicht haben, wird dann im späteren Verlauf auch mit Patienten getestet.

Autorin:

Vor knapp zehn Jahren brachte die Firma mit dem sog. *C-Leg* die erste mechatronische Beinprothese auf den Markt, in deren Kniegelenk ein Mikroprozessor eingebaut ist. Der Impuls für das Hightech-Kniegelenk kommt gewissermaßen aus der Hüfte des Prothesenträgers: Sobald er losgehen möchte, bewegt das Hüftgelenk den Beinstumpf; die Prothese erkennt diese Bewegung und „denkt“ fortan mit:

25a. O-Ton - Bernhard Graitmann:

Ein mechatronisches, Mikroprozessor-gesteuertes Kniegelenk, das in Echtzeit den Gang analysiert, erkennen kann: wann brauche ich eine Standphase, wann brauche ich eine Schwungphase, und die Dämpfung, die auch in diesem System mit drinnen ist, dann entsprechend einstellt, und damit ein sehr natürliches Gangbild ermöglicht.

Autorin:

Bernhard Graitmann, Neurotechniker bei Ottobock, hat das System mitentwickelt:

25b. O-Ton - Bernhard Graitmann:

Das war der wichtige Schritt, über einen Mikroprozessor die Steuerung zu machen, und dadurch etwas zu machen, was vorher nicht möglich war. Nämlich: Das System stellt automatisch von Standphase in Schwungphase um, und das ausgesprochen zuverlässig, mit einer Sicherheit, auf die sich der Prothesenträger auch verlassen kann.

Autorin:

Die mikroprozessorgesteuerte Beinprothese wurde seither weiterentwickelt. Sie hat mittlerweile einen verbesserten Stopperschutz. Dass „intelligente“ Prothesen, die sich den Ganggewohnheiten anpassen, ihren Nutzern das Laufen erleichtern und das Sturzrisiko erheblich mindern, belegen zahlreiche Studien wie die des amerikanischen Forschers Michael Goldfarb von der *Vanderbilt University* in Nashville von 2011.

Atmo: Klänge

Autorin:

Im Jahr 2012 haben Wissenschaftler des *Rehabilitation Institute of Chicago* die erste Gedanken gesteuerte Beinprothese getestet. Damals eine wissenschaftliche Sensation wie die fühlende Handprothese aus Freiburg. Wenn ein beinamputierter Patient daran *dachte*, die Treppe hochzugehen, setzte die Prothese sich in

Bewegung. Für den Alltag erwies sie sich jedoch als untauglich, erzählt Bernhard Graimann:

26. O-Ton - Bernhard Graimann:

Prothesen, die zu laut, zu groß, zu schwer sind, die gibt es sehr häufig, insbesondere in der Forschungswelt, weil in der Forschungswelt sind die Anforderungen häufig woanders. Für uns ist es wichtig, dass wir Prothesen entwickeln, die einerseits von der Funktion her den Prothesenträger optimal unterstützen, aber auch von der Nutzerakzeptanz sehr gut angenommen werden. Und da ist es wichtig, dass die Prothesen nicht auffallen, also keine Roboterartigen Geräusche von sich geben, oder extrem groß sind, schwer sind und all diese Dinge.

Autorin:

Jedes Jahr verlieren nach Angaben der Universität Jena circa 250.000 Menschen in Deutschland Gliedmaßen. Häufigste Ursachen sind Unfälle, Krebserkrankungen oder Stoffwechselerkrankungen wie Diabetes. Dass Betroffene nach der Amputation eine Hightech-Prothese erhalten, ist nicht selbstverständlich: Zwischen 30.000 und 70.000 Euro kostet eine technisch hochwertige Beinprothese. Zu teuer, urteilen häufig die Krankenkassen, und argumentieren, dass auch herkömmliche, kostengünstigere Prothesen ihren Dienst tun. (**Atmo: laufen draußen an einem Bach**) Welche Prothese für den Nutzer die beste ist, hängt von seinen individuellen Bedürfnissen und Lebensumständen ab, und sollte mit Ärzten und Orthopädietechnikern sorgsam abgestimmt sein.

27. O-Ton - Roland Zahn (Beinprothesenträger):

Wenn ich so laufe, dann geht die normale Bewegung los, also mit dem Oberschenkel, mit dem Beinstumpf, und man tritt also zuerst mit der Ferse auf, dann rollt der Fuß ab und die Fußspitze hat den letzten Berührungspunkt, und die bekommt dann die Kraft von der Ferse ab und stößt mich dann sogar nach vorn. Das heißt, das ist ein ganz toller, einfacher Prozess, der mir das Laufen erleichtert, das ist durch die moderne Technologie stark unterstützt.

Autorin (weiter über Atmo):

Der 78-jährige beinamputierte Roland Zahn aus Stuttgart ist völlig zufrieden mit dem, was seine Prothese kann: Er geht gern wandern.

28. O-Ton - Roland Zahn (beinamputiert):

Die Idee, wieder wandern zu können, war für mich das Stärkste, nachdem ich eine provisorische Prothese hatte und ein Jahr im Rollstuhl gefahren bin, voller Bequemlichkeit, bekam ich einen wunderbaren verbalen Anstoß; meine Hauswirtin hat gesagt „Herr Zahn, jetzt laufen Sie doch hier mal um das Viereck rum, Sie können doch noch laufen“. Ja, das ging dann auch, und bald kam die Idee des Wanderns, und mein Techniker sagte, „wir brauchen eine elektronische Prothese“.

Autorin:

Seine Krankenkasse stellte sich zunächst quer. Man müsse erst überprüfen, ob sein Wille, eine derartige Prothese zu benutzen auch wirklich vorhanden sei, hieß es. Dreimal lehnte die Kasse den Antrag ab, Roland Zahn legte jedes Mal Widerspruch ein. Über zweieinhalb Jahre hat es sich hingezogen, bis der agile Rentner die elektronische Prothese bekam. Inzwischen wandert Roland Zahn jedes Jahr

tausende Kilometer mit seiner Prothese. Er wirbt als Amputierter für das Laufen, indem er unterwegs Vorträge dazu hält für den „Bundesverband amputierter Menschen“:

29. O-Ton - Roland Zahn:

Wenn ich jetzt so laufe, dann ist das ein ganz normales Gefühl, die Prothese ist mein Partner geworden, und ich akzeptiere das voll und ganz, es macht sogar richtig Spaß. Die Beinbewegung selbst ist für mich etwas ganz wichtiges geworden, und es ist zwar am Anfang so, dass es schwierig ist, aber man kommt da drüber, und es macht ganz einfach nur Spaß, vor allem in der Natur draußen.

Atmo: Geräusche
