

Ph. Kampas, M. Seyr

Technologie und Funktionsweise des Genium-Prothesenkniegelenks

Technology and Function of the Bionic Prosthetic System Genium

Mit dem Genium wird eine neue Generation von elektronischen Beinprothesensystemen vorgestellt. Für die Entwicklung des Genium haben die Bedürfnisse der Prothesenträger und die Rückmeldungen von Technikern während 14 Jahren Erfahrung mit dem C-Leg eine große Rolle gespielt. Dieser Artikel beschreibt die technischen Hintergründe und die angestrebten Vorteile der neuen Eigenschaften, die mit der Genium-Technologie zugänglich gemacht werden.

The Genium establishes a new generation of electronic leg prostheses. User needs and market feedback during 14 years of experience with the C-Leg played an important role in the development of the Genium. This article illustrates the technical background and projected benefits of the features which are now available through Genium technology.

Das vorrangige Ziel bei der Entwicklung des C-Leg war, sicheres Gehen bei verschiedenen Geschwindigkeiten zu unterstützen und Alltagsaktivitäten durch einen Zusatzmodus zu erleichtern. Hinter dem Genium (Abb. 1) steht die Motivation, bei erhöhtem Sicherheitsniveau eine



Abb. 1 Genium Bionic Prosthetic System.

weitere, deutliche Verringerung der Ungleichheit zwischen natürlicher Körperfunktion und künstlichem Ersatz zu erreichen und damit auch den erhaltenen Bewegungsapparat zu schonen. Angestrebt wird dies durch Verbesserungen der Steuerung für das Gehen wie auch durch Integration von Funktionen, die automatisch Aktivitäten des täglichen Lebens (ADL) unterstützen. Die Vision dahinter ist es, von der Bedienung eines technischen Gerätes (wie zum Beispiel eines Autos oder eines Mobiltelefons mit aufwändiger Menüsteuerung) möglichst zu einer intuitiven Nutzung ohne bewusste Steuerung zu kommen. Das Vorbild

stellt die gesunde Gliedmaße dar, die gewünschte Bewegungen ausführt, ohne dass wir darüber nachdenken müssen. Dieser Artikel gibt einen Einblick in die technischen Hintergründe zu den neuen Konzepten, mit denen der Hersteller versucht, diese Vision umzusetzen.

Das Genium ist wie das C-Leg ein elektronisches, hydraulisches, monoaxiales Kniegelenk. Die Steuerung des Genium erfolgt ähnlich wie beim C-Leg über Sensoren und eine mikroprozessorgeregelte, passive Hydraulik, die das System in Echtzeit und dynamisch an die Gegebenheiten anpasst. Im Gegensatz zum C-Leg werden jedoch beim Genium statt drei Sensor-signalen neun Sensorsignale zur Steuerung herangezogen. Auch die Leistungsfähigkeit des Prozessors wurde deutlich erhöht, um komplexere Situationserkennungsalgorithmen umsetzen zu können. Dies bildet die Basis, um mit diesem System auch ohne aktiven Antrieb der natürlichen Körperfunktion der verlorenen Gliedmaße deutlich näher zu kommen als es der Stand der Technik bisher erlaubte. Die Nachteile heute bekannter, aktiver Prothesen wie eine kurze Akkulaufzeit, eine hohe Geräuschentwicklung und gegebenenfalls eine Zwangssteuerung von Bewegungsabläufen werden vermieden.

Natürlicheres Gehen

Im Basismodus – also der Steuerung für das Gehen – werden wesentliche Neuerungen eingeführt. Zusammengefasst werden diese durch den Begriff „Optimiertes Physiologisches Gehen“ (OPG). Anhand des Gangzyklus lassen sie sich wie folgt erläutern:

Preflex

Der Kniewinkel des Genium wird vor dem Fersenauftritt auf vier Grad geregelt (Punkt 1 in Abb. 2). Das bedeutet, dass das Knie bei Fersenauftritt leicht gebeugt ist. Dadurch wird das Gehen mit Yielding (Standphasenbeugung) erleichtert, der Fuß erreicht schneller den Vollkontakt mit dem Boden (erhöhte Stabilität) und die Kraftspitze des Fersenauftritts wird in eine Vorwärtsbewegung umgewandelt (Schockabsorption).

Adaptive Yieldingkontrolle

Beim ebenen Gehen wird das Yielding nach dem Fersenauftritt auf einen Winkel von maximal 17 Grad begrenzt (Punkt 2 in Abb. 2). Das Flexionsventil schließt während des Yieldings kontinuierlich und verhindert damit, dass der Prothesenträger zu weit einbeugt. Somit kann auch von weniger aktiven Prothesenträgern mit schwachen Stumpfbedingungen das natürliche und den Bewegungsapparat schonende Gehen mit Yielding genutzt werden. Die technische Herausforderung an der Yieldingkontrolle ist, dass man diese nicht rigide umsetzen kann, da der Prothesenträger in vielen Situationen, wie zum Beispiel auf Treppen und Neigungen, beim Hinsetzen oder bei Bremsschritten, weiter als 17 Grad einbeugen muss. Die adaptive Yieldingkontrolle ermöglicht die notwendige Variabilität. Anhand der Lage des Kraftvektors zum Kniegelenk wird über die ganze Beugebewegung die Situation überwacht und der Flexionswiderstand kontinuierlich und der jeweiligen Situation entsprechend angepasst. Somit ist beispielsweise ein fließender Übergang vom ebenen Gehen mit limitiertem Yielding (blaue Kurve in Abb. 2 – Flexionsventil sperrt situationsbedingt bei maximal 17 Grad) über flache Neigungen (violett) bis zu steilen Neigungen

(rot – Flexionsventil bietet angemessenen Widerstand für Beugewinkel größer als 17 Grad) möglich.

Schwungphasenauslösung

Der sichere Wechsel zwischen Stand- und Schwungphasenwiderstand ist eine der wesentlichen Auf-

gaben und zugleich Herausforderungen für Beinprothesen. Mittels Dynamischer Stabilitätskontrolle (DSC) verwirklicht Genium einen neuen Ansatz zur höchst zuverlässigen Realisierung dieser Aufgabe in allen Bewegungssituationen. Das Genium unterstützt zwei Arten von Schwungphasen, eine für das ebene Gehen und eine für das Abwärtsgehen auf Neigungen. Beim Gehen in der Ebene wird die Notwendigkeit der Freischaltung der Schwungphase im Wesentlichen über die geometrische Position des Kraftangriffspunktes am Fuß erkannt (Auslöseschwelle in Abb. 3). Der Kraftangriffspunkt muss zur Auslösung der Schwungphase die Auslöseschwelle nach anterior überschritten haben. Durch rechnerische Kombination mehrerer Sensordaten ist es im Gegensatz zu anderen mikroprozessorgesteuerten Kniegelenken möglich, nicht nur die Größe der Kraft (Länge des Pfeils) beziehungsweise die Größe des Moments, sondern auch die genaue geometrische Lage zu bestimmen. Die Schwungphase wird somit präzise ausgelöst, egal, ob der Prothesenträger zusätzliche Lasten trägt oder sich etwa gerade auf einem Einkaufswagen abstützt, wobei eine Mindestlast als Grundvoraussetzung vorhanden sein muss. Zusätzlich wird die Schwungphasenauslösung durch ein Gyroskop abgesichert, das eine Auslösung nur bei einer Vorwärtsrotation der Prothese erlaubt (Winkelgeschwindigkeit).

Da durch die Vorwärtsrotation der Prothese erlaubt (Winkelgeschwindigkeit). Dadurch wird erstmals zuverlässig vermieden, dass die Schwungphase ungewollt beim Rückwärtsgehen auslöst.

Weitere Bedingungen der DSC, die das ungewollte Schalten in die Schwungphasendämpfung verhindern, sind: Das Kniegelenk muss gestreckt sein (Beugewinkel) und der Unterschenkel muss nach vorne geneigt sein (Kippwinkel).

Das Genium hat somit von allen am Markt erhältlichen mikroprozessorgesteuerten Kniegelenken die fortschrittlichste und am meisten abgesicherte Methode, die Schwungphase auszulösen [1, 2, 3, 4].

Neben der Schwungphasenauslösung beim ebenen Gehen (Auslösung bei gestrecktem Knie) bietet das Genium auch eine Schwungphase in der späten Standphase auf Neigungen (Auslösung bei gebeugtem, belastetem Knie) (Punkt 3 in Abb. 2). Im Gegensatz zur Schwungphasenumschaltung in der Ebene, wo der Flexionswiderstand abrupt niedrig geschaltet werden kann,

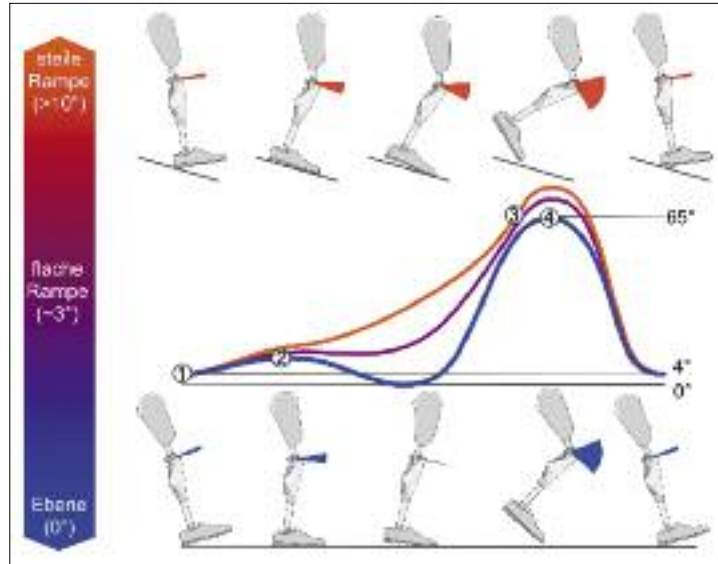


Abb. 2 Optimiertes Physiologisches Gehen (OPG): Kniewinkelverläufe.

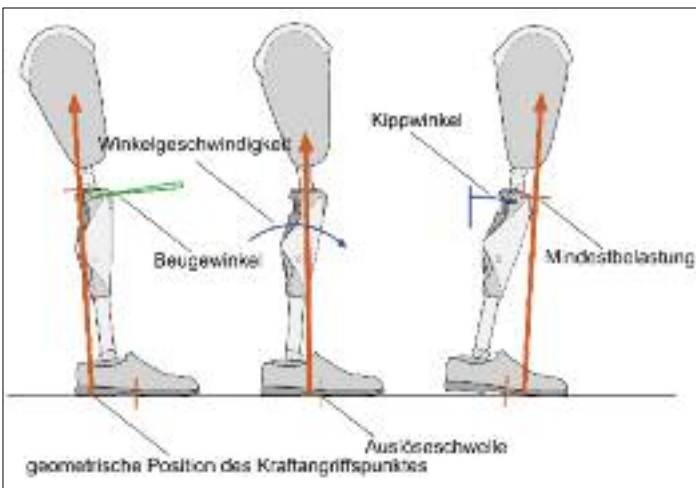


Abb. 3 Schwungphasenauslösung mittels DSC.

weil das Knie durch die Vorfußlast stabil ohne Beugebewegung in der maximalen Extension gehalten wird, wird bei der Schwungphase auf Neigungen die Flexion kontinuierlich geöffnet, sodass die bereits unter Beugebelastung stehende Prothese sanft die Bewegung freigibt. Würde man auch in dieser Situation den Flexionswiderstand abrupt abschalten, würde das Kniegelenk mit einem unangenehm heftigen Ruck in die Beugung schnellen. Durch diese andersartige Auslegung der Schwungphase auf der Neigung sorgt das Genium in dieser Gangsituation für leichteres Durchschwingen und zusätzliche Bodenfreiheit. DSC leistet durch die permanente Bewegungsüberwachung und die beiden Methoden der Schwungphasenauslösung einen wesentlichen Beitrag zur intuitiven und sicheren Nutzung der Prothese.

Adaptive Schwungphasenkontrolle

Zur Schwungphasenregelung wird ein adaptiver Algorithmus eingesetzt (rote Pfeile in Abb. 4), der seine Charakteristik automatisch an unterschiedliche Kleidung und unterschiedliches Schuhwerk anpasst. Zur Anpassung an die Bedürfnisse des Prothesenträgers muss der Orthopädie-Techniker lediglich den gewünschten Maximalwinkel mittels Einstellsoftware eingeben, wobei die Voreinstellung von 65 Grad zumeist den Idealwert darstellt (Punkt 4 in Abb. 2). Bei Knieexartikulierten wird häufig ein etwas höherer Winkel eingestellt, um ausreichende Bodenfreiheit trotz der geometrisch ungünstigeren Verhältnisse zu gewährleisten. Die adaptive Schwungphasenkontrolle begrenzt den Winkel bei mittleren und hohen Geschwindigkeiten wirksam. Wenn Genium antizipiert, dass der Sollwinkel bei langsamem Gehen nicht erreicht werden wird, bleibt das Flexionsventil vollständig geöffnet, was in dieser Situation mit einem passiven Gelenk die bestmögliche Bodenfreiheit bei geringst möglichem Widerstand bedeutet.

Im gesamten Zusammenspiel der einzelnen Funktionalitäten soll OPG zu einem symmetrischen,

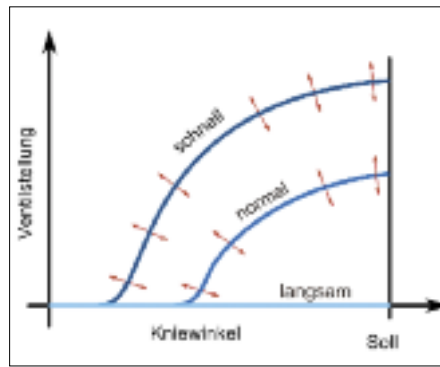


Abb. 4 Adaptive Schwungphasenregelung.

physiologischeren Gangmuster bei gleichzeitiger Reduktion des Kraftaufwandes und des kognitiven Aufwands sowie erhöhter Sicherheit führen. Wird die Funktion OPG in der Einstellsoftware abgeschaltet, bleiben die verbesserte Schwungphasenauslösung beim Gehen in der Ebene und die adaptive Schwungphasenkontrolle weiterhin aktiv; Reflex, die adaptive Yieldingkontrolle und die Schwungphase auf der Neigung werden deaktiviert. Der Standphasenflexionswiderstand bleibt dann während

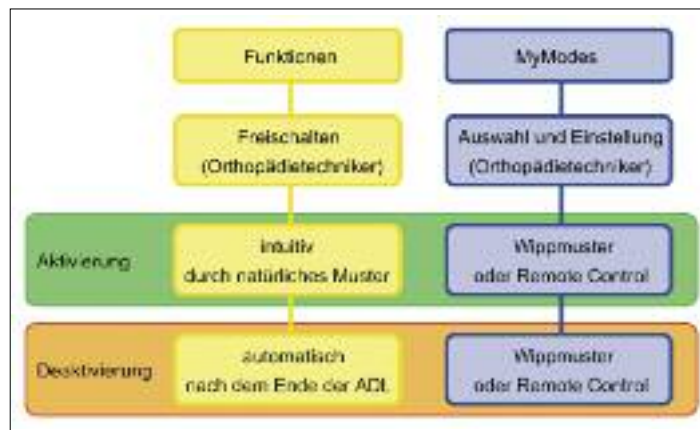


Abb. 5 Funktionen und MyModes.

der gesamten Standphase auf einem konstanten Wert.

Unterstützung von ADLs

Das Genium bietet zwei Konzepte für die Unterstützung von Aktivitäten des täglichen Lebens (ADLs). Einerseits gibt es die Zusatzmodi „MyModes“, die, ähnlich dem C-Leg, über die Fernbedienung oder bewusst ausgeführte Bewegungsmuster wie ein mehrmaliges Wippen auf der Zehe aktiviert werden können. Andererseits wurde das Konzept der Funktionen eingeführt. Funktionen werden intuitiv durch ein Bewegungsmuster akti-

viert, das der ADL entspricht oder sehr nahe kommt. Die MyModes werden vom Orthopädie-Techniker auf die Bedürfnisse des Prothesenträgers angepasst. Funktionen werden vom Orthopädie-Techniker freigeschaltet. Sollte eine Funktion für den Prothesenträger nicht passend sein, kann sie abgeschaltet werden, sodass der betreffende Bewegungsablauf für diesen Prothesenträger nicht gesondert unterstützt wird (Abb. 5).

Funktionen

Die Funktionen sind in den Basismodus integriert. Neben der Funktion, die das OPG unterstützt, gibt es noch Funktionen für

- das alternierende Treppensteigen und Überwinden von Hindernissen,
- das Stehen und
- das Sitzen.

Das Besondere an den Funktionen ist, dass das Kniegelenk sein Verhalten intuitiv an die ADL anpasst, ohne dass der Prothesenträger dafür bewusst in einen getrennten Modus wechseln muss. Je nach ADL verlässt das Gelenk automatisch die Steuerung für das Gehen und verändert den Widerstand, kontinuierlich angepasst an die Anforderung der ADL. Dies bedeutet, es schaltet frei, blockiert oder verändert seinen Widerstand kontinuierlich zwischen diesen Zuständen, angepasst an die Situation. Nach dem Abschluss oder bei

Abbruch der ADL kehrt das Gelenk automatisch wieder in die Steuerung für das Gehen zurück. Das intuitive Deaktivieren der Funktion ist für die Sicherheit und das Vertrauen in die Funktion und damit eine wirksame Unterstützung der ADL mindestens genauso wichtig wie die intuitive Aktivierung.

Treppen- und Hindernisfunktion

Die Funktion ermöglicht es Prothesenträgern, in Abhängigkeit von ihren individuellen körperlichen Fähigkeiten alternierend Treppen hinaufzusteigen. Sie wird durch ein Bewegungsmuster aktiviert, das dem gesunden Bewegungsablauf

beim Treppensteigen sehr ähnlich ist, und unterteilt sich in die vier Phasen Auslösen, Knie beugen, unbelastete Extension und belastete Extension.

Auslösen: Der Prothesenträger löst die Funktion nach dem Anheben des Fußes durch ein leichtes Nach-hinten-Ziehen der Prothese aus (Abb. 6, 1).

Knie beugen: Nach der Auslösung schaltet das Gelenk auf einen niedrigen Flexionswiderstand. Der Prothesenträger kann unter Ausnutzung der Schwungmasse des Unterschenkels durch eine Hüftbeugung eine Kniebeugung erzielen (Abb. 6, 2).

Unbelastete Extension: Nach dem maximalen Beugewinkel wird die Extension stärker gebremst als bei der Schwungphasenextension, um dem Prothesenträger die nötige Zeit zu geben, den Fuß kontrolliert auf der nächsten Treppenstufe aufzusetzen. Der Flexionswiderstand wird blockiert, um bei Belastung der Prothese sicher zu unterstützen (Abb. 6, 3).

Belastete Extension: Sobald der Fuß auf die Treppenstufe aufgesetzt wird, wird der Extensionswiderstand weiter erhöht, sodass das Knie kontrolliert in die Streckung kommt. Der Prothesenträger hebt sich mit Stumpfkraft und gegebenenfalls unterstützt durch Abstützen an einem Handlauf auf die nächste Treppenstufe. Der Flexionswiderstand bleibt blockiert, um bei Belastung der Prothese sicher zu unterstützen (Abb. 6, 4).

In allen Phasen gibt es mehrere Übergänge in die normale Gehsteuerung. Diese Übergänge gewähren Sicherheit im Falle eines nicht vollständig zu Ende geführten Bewegungsablaufes. Mit der gleichen Funktion können auch Hindernisse überstiegen werden, die konventionell nur durch eine Zirkumduktionsbewegung oder ein Nachziehen des Prothesenbeines überwunden werden konnten.

Stehfunktion

Die Stehfunktion blockiert das Gelenk in Beugerichtung, damit die dynamisch aufgebaute Prothese entspannt belastet werden kann, ohne ungewollt einzubeugen. Dies schont den Bewegungsapparat durch gleichmäßigere Belastung von Prothese und kontralateraler Seite. Das Gelenk blockiert, sobald

es in nicht ganz gestreckter Stellung und ohne Bewegung belastet wird. Die Blockade wird sanft wieder gelöst, sobald die Prothese bewegt wird. Eine Bewegung der Prothese wird sowohl durch eine Kniestreckung als auch durch ein Verkippen der Prothese in der Sagittalebene – also nach vorne oder nach

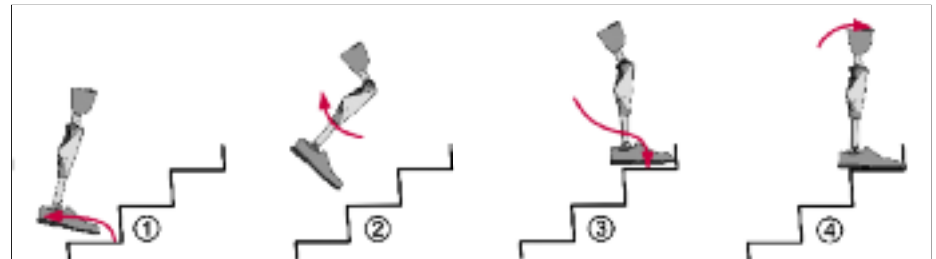


Abb. 6 Treppen- und Hindernisfunktion.

hinten – erkannt. Die intuitive Aktivierung der Stehfunktion erleichtert eine häufige Nutzung; sie ist praktisch immer aktiv, wenn der Prothesenträger steht und das Knie nicht völlig gestreckt. Das Rückführen in die Gehsteuerung über eine Bewegung der Prothese macht die Funktion zudem sicher. Es besteht keine Gefahr, dass die Funktion ein unerwünschtes Blockieren verursacht, auch wenn sie sehr häufig aktiv ist.

Sitzfunktion

Die Sitzfunktion schaltet das Gelenk frei, sobald der Prothesenträger sitzt oder liegt. Dies erleichtert zum Beispiel das Manövrieren des Prothesenbeins. Die Sitzfunktion wird aktiviert, wenn sich der Oberschenkel für mehr als zwei Sekunden in annähernd waagerechter Position befindet.

Modi

Ein Modus ist ein in sich geschlossener Zyklus, der bewusst aktiviert und wieder deaktiviert werden muss. Er differenziert sich so von den Funktionen, die sich im Basismodus intuitiv aktivieren und automatisch wieder in die Gehsteuerung zurückkehren. Das Genium bietet die Möglichkeit, fünf MyModes für spezielle Aktivitäten des täglichen Lebens zu konfigurieren. Zur Auswahl stehen mehrere Konfigurationen der Funktionalität, wie sie vom 2nd Mode des C-Leg bekannt ist, und ein elektronischer Bremskniemodus. Der Prothesenträger kann zwischen den MyModes und dem Basismodus mit

der Fernbedienung wechseln. Zwei MyModes können durch dreibeziehungswise viermaliges Wippen auf der Zehe erreicht werden. Ist ein MyMode aktiviert, kommt der Prothesenträger durch drei- oder mehrmaliges Wippen wieder in den Basismodus zurück. Die Auswahl der Anzahl der MyModes und

die Konfiguration werden durch den Orthopädie-Techniker vorgenommen. Er entscheidet auch, ob ein MyMode durch dreimaliges Wippen aktiviert und ob ein zweiter MyMode durch viermaliges Wippen erreicht werden kann.

Die Fernbedienung bietet ein Display zur Anzeige des aktuellen MyMode. Neben dem Schalten der MyModes kann die Fernbedienung auch benutzt werden, um

- den Ladestand beziehungsweise die verbleibende Betriebsdauer anzuzeigen,
- Einstellungen in einem begrenzten Rahmen rund um den vom Orthopädie-Techniker vorgegebenen Wert zu variieren,
- einen Tagesschrittzähler einzusehen beziehungsweise zurückzusetzen und
- über Servicefälligkeit oder gegebenenfalls Fehlfunktionen informiert zu werden.

Die verbleibende Betriebsdauer des Genium wird dem Prothesenträger mit sinkendem Akkustand auch über Warnsignale mitgeteilt. Am Ende der Betriebsdauer geht das Genium kontrolliert in einen Leerakku-Modus über. Damit ist gewährleistet, dass der Prothesenträger sich auf die neue Situation einstellen und dass er seine Prothese auch bei leerem Akku belasten kann. Um aktiveren Prothesenträgern, die auch ein freigeschaltetes Kniegelenk durch ihre Stumpfmuskulatur kontrollieren können, entgegenzukommen, kann die Dämpfung des Leerakku-Modus beim

Genium durch den Orthopädie-Techniker auf die Bedürfnisse des Prothesenträgers angepasst werden.

Weiterführende Unterstützung im Alltag

Weitere Eigenschaften des Genium zielen darauf ab, verlorene, natürliche Körperfunktionen des Prothesenträgers in hohem Maße zu kompensieren, sei es durch direkten Funktionsgewinn, durch erhöhte Bewegungsfreiheit, durch einen größeren Bewegungsradius oder durch ein natürlicheres Erscheinungsbild.

So sind die akustischen Signale in Tonhöhe und Lautstärke einstellbar. Dies kommt einerseits Menschen mit einer Hörschwäche entgegen, kann aber auch dazu dienen, mit dem Gelenk in einer Alltagssituation, zum Beispiel während eines Konzertes, unauffällig zu bleiben.

Induktives Laden wurde in das Genium integriert. Es erlaubt, unkompliziert in eine Kosmetik integriert zu werden, ohne das natürliche Erscheinungsbild zu beeinträchtigen (Abb. 7). Die Prothese kann so auch durch Kosmetiküberzüge oder Kleidung bis zu 1,5 mm Dicke geladen werden.

Intelligentes Powermanagement verlängert die Akkulaufzeit je nach Nutzung der Prothese auf bis zu fünf Tage. Dies ist ein wichtiger Faktor für die Bewegungsfreiheit und den Bewegungsradius des Prothesenträgers, unabhängig von einer Stromversorgung. Zudem wurde das Gelenk spritzwasserfest gestaltet. Es gibt keine von außen zugänglichen elektrischen Kontakte. Das induktive Laden ist auch hierfür Voraussetzung.

Das Genium ist in seinen proximalen und distalen Systemhöhen kompakt gestaltet. Es erlaubt damit sowohl die Versorgung von Prothesenträgern mit geringer Körpergröße als auch die Verwendung von typischerweise höher bauenden, funktionaleren Füßen, die ein besseres Gangbild ermöglichen.

Der Kniewinkel wurde mit 135 Grad gegenüber dem C-Leg um mehr als zehn Grad vergrößert und erhöht damit die Bewegungsfreiheit beim Sitzen und Knien.

Das Prothesensystem ist für ein Körpergewicht von bis zu 150 kg

freigegeben. Somit können auch schwergewichtige Prothesenträger versorgt oder größere Lasten getragen werden.

Ein Safeguard Monitoring überwacht die Funktion des Gelenks. So erkennt zum Beispiel der intelligente Rohradapter eine gefährliche Überlastung und schaltet seinen Sensor ab. Im Falle eines Sensorausfalls gibt es verschiedene Sicherheitsmodi, die zwar nicht mehr den vollen Funktionsumfang des Gelenks erlauben, dem Prothesenträger aber trotzdem ermöglichen, mit Schwunghausauslösung sicher und ohne allzu große Einschränkung weiterzugehen und „bis nach Hause“ zu kommen.



Abb. 7 Induktives Laden: Anwendungsfall mit Schaumkosmetik.

Erwähnenswert ist noch die innovative Einstellsoftware. Sie hilft bei der Anpassung der Prothese an den Prothesenträger. Der Einstellvorgang wurde so vereinfacht, dass das Gelenk typischerweise nach der Eingabe einiger Anwenderdaten den Ansprüchen des Prothesenträgers bereits in hohem Maße gerecht wird und nur mehr einzelne Parameter geringfügig feinjustiert werden müssen beziehungsweise können. Die Einstellsoftware bietet mit einer computerunterstützten Auf-

bauhilfe (Computer Assisted Alignment – CAA) eine wegweisende Innovation, die maßgeblich zu einem messbaren Versorgungserfolg beiträgt. CAA schlägt für jede individuelle Versorgung einen komponentenabhängigen und an den Prothesenträger angepassten Grundaufbau vor. Es erleichtert dann mithilfe der in das Genium integrierten Sensoren den statischen Aufbau, indem die Bodenreaktionskraft in Echtzeit gemessen und ihre Lage zur Prothese am Bildschirm dargestellt wird.

Zusammenfassung

Der Hersteller ist überzeugt, dass das Genium Beinprothesensystem mit dem optimierten physiologischen Gehen inklusive der dynamischen Stabilitätskontrolle, der Einführung von Funktionen und den fünf MyModes sowie weiteren, im Artikel ausgeführten Verbesserungen einen wesentlichen Beitrag zu Rehabilitation und Behinderungsausgleich leistet. Vorrangiges Ziel ist es, eine deutliche Verringerung der Ungleichheit zwischen natürlicher Körperfunktion des gesunden Bewegungsapparates der unteren Extremität und künstlichem Ersatz durch eine Prothese – sowohl beim Gehen als auch während anderer Aktivitäten des täglichen Lebens – zu erreichen. In den nächsten Ausgaben der Orthopädie-Technik folgen Artikel über die Ergebnisse biomechanischer Studien und statistischer Untersuchungen zu Versorgungen mit dem Genium.

Für die Autoren:

Dipl.-Ing. Philipp Kampas
Otto Bock Healthcare Products
Kaiserstr. 39
A – 1070 Wien

Literatur:

- [1] Bellmann, M., T. Schmalz, S. Blumentritt: Funktionsprinzipien aktueller Mikroprozessor gesteuerter Prothesenkniegelenke, Orthopädie-Technik 60 (2009), 297-303
- [2] Bellmann, M., T. Schmalz, S. Blumentritt: Comparative biomechanical analysis of current microprocessor-controlled prosthetic knee joints, Arch Phys Med Rehabil 91 (2010), 644-652

- [3] Blumentritt, S., M. Bellmann: Potenzielle Sicherheit von aktuellen nicht-mikroprozessor- und mikroprozessorgesteuerten Prothesenkniegelenken, Orthopädie-Technik 61 (2010), 788-799
- [4] Kampas, Ph., M. Bellmann, A. Weigl-Pollack: Das neue C-Leg und seine erweiterten Funktionen, Orthopädie-Technik 62 (2011), 722-727
- [5] Otto Bock: 647G573-06-1105 IFU Genium – Bionic Prosthetic System