

A. Baier

Der Echelon Fuß

Nutzen für Anwender und Techniker

The Echelon Foot – its Benefit for Users and Technicians

Mit freundlicher Empfehlung



A. Baier

Der Echelon Fuß

Nutzen für Anwender und Techniker

The Echelon Foot – its Benefit for Users and Technicians

Menschen, die traumatische Verletzungen erlitten haben, die ihr Leben verändern, oder die sich krankheitsbedingt der Amputation einer Gliedmaße unterziehen mussten, haben heutzutage weitaus höhere Anforderungen und Erwartungen an ihre Lebensführung und Lebensqualität. Die Aufgabe der Industrie ist es, Prothesenpassteile zu entwickeln, die es diesen Menschen ermöglichen, wieder ein aktives Leben zu führen. Der vorliegende Artikel beschreibt, wie der Prothesenfuß Echelon der Firma Endolite dazu beitragen kann.

People who have suffered traumatic injuries that have changed their lives, or those who had to undergo an amputation of a limb as a consequence of an illness, today have significantly higher demands and expectations on their way of life and their life quality. It is the task of the industry to develop prosthetic parts which enable these people to lead an active life again. The present article describes how the Echelon prosthetic foot from Endolite can contribute to this task.

Einleitung

Zur Entwicklung einer individuellen Beinprothese müssen die Bewegungsabläufe im Alltag genauestens untersucht werden. Die komplexe Anatomie des menschlichen Unterschenkels besteht aus 26 verschiedenen Knochen sowie den dazugehörigen Muskeln und Nerven. Über das funktionelle Zusammenwirken des Knöchelgelenks mit der Schien- und Wadenbeinmuskulatur gelingt es dem Körper, sich stets neuen Untergründen anzupassen, sich auszurichten und zu stabilisieren (Abb. 1). Der neuromuskuläre Bewegungsapparat steuert diese Vorgänge, ermöglicht die Kraftübertragung und sorgt für Stabilität im menschlichen Bein. Dabei ist dieses System anpassungsfähig, selbstausrichtend und optimiert die Aufnahme und Abgabe der Energie. Menschen, denen der Unterschenkel amputiert wurde, fehlt jedoch diese Regelungs- und Steuerungseinheit [5].

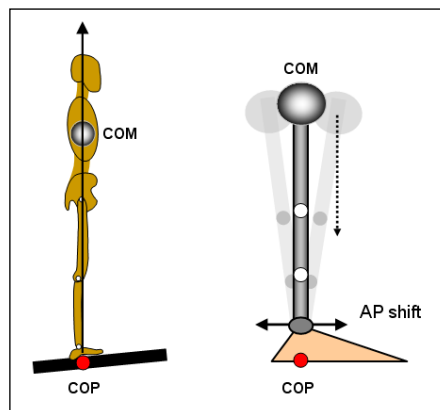


Abb. 1 Das umgekehrte Pendelmodell des menschlichen Gleichgewichts veranschaulicht, dass der Körper zur Aufrechterhaltung der Stabilität nach vorne bewegt werden muss, um den Körperschwerpunkt (COM) über den Kraftangriffspunkt (COP) zu verlagern. AP zeigt die anteriore/posteriore Verlagerung (Quelle: © Blatchford).



Abb. 2 Endolite mimetics – die Natur als Vorbild.

2008 kam der Prothesenfuß Echelon zur Karbonfederfuß-Familie von Endolite hinzu. Der Begriff „Echelon“ bedeutet im Englischen eine dreidimensional gestaffelte Kampfanordnung oder auch die Flugformation von Zugvögeln. Der Echelon ist das Ergebnis einer zehn Jahre dauernden Forschung und Entwicklung, bei der Biomimetik eine entscheidende Rolle spielte (Abb. 2). Die Biomimetik erforscht die Eigenschaften und Verhaltensweisen lebender Organismen, Tieren und Pflanzen, die die Firma Chas A. Blatchford, Prothesenhersteller seit mehr als 120 Jahren, unter dem Begriff „Endolite mimetics“ nachzuahmen versucht [5]. Um dem Amputierten das optimale Maß an Sicherheit, Schutz und Integration zu bieten, war bei dieser Entwicklung die größte Herausforderung, das natürliche Knöchelgelenk mit seiner Fähigkeit, sich an verschiedene Untergründe anzupassen, zu imitieren und das feh-

lende Steuerungssystem des Amputierten zu kompensieren. Bisher wurden nahezu 700 Echelon-Versorgungen allein in Deutschland durchgeführt. Das Ergebnis der Forschungen im Hause Blatchford wurde mit dem MacRobert Award 2010 der Royal Academy of Engineering sowie mit dem Queens Award ausgezeichnet [5].

Die Fußkonstruktion

Die Basis für den Echelon bietet ein patentiertes Drei-Punkt-System, bestehend aus zwei getrennt voneinander konstruierten Karbonfedern (Ferse- und Vorfuß; Abb. 3 u. 4). Dadurch ist eine Spaltung der langen Vorfußfeder nahezu über ihre gesamte Länge möglich, was wiederum zu einer optimalen Anpassung in der Pro- und Supination führt.

Frühere Tests am Endolite Esprit-Fuß, bei dem die gleichen Federn, die in acht verschiedenen Kategorien, abhängig vom Gewicht und der Mobilität des Anwenders, eingesetzt werden, belegen, dass diese bei einer mittleren Kategorie und in fünf Grad m-l-Ausrichtung nur 500 Nm Belastung (entspricht 50 kg Körpergewicht) benötigen, um seitlich



Abb. 3 Echelon Karbonfederfuß.

den vollen Bodenkontakt zu erreichen und somit dem Anwender die nötige Sicherheit durch vollflächige Auflage des Prothesenfußes zu bieten, den der Amputierte bei Pro- und Supinationsanpassung benötigt. Bei vergleichbaren anderen Karbonfederfüßen waren es 1500 Nm – also etwa die dreifache Belastung.

Die Fersen und die nach vorne dünn auslaufende Vorfußfeder sorgen zudem für Stoßabsorption, Komfort und hohe Energierückgewinnungsraten (Ferse 93 Prozent, Vorfuß 91 Prozent) [5]. Bei der hy-

draulischen Steuerung des Knöchelgelenks wurden unter anderem Titan- und Aluminiumlegierungen aus Luft- und Raumtechnik zur Ge-

dern resultiert, zu der des hydraulischen Gelenkelementes, so können Plantarflexionswinkel von ca. 15 Grad und Dorsalextensionswin-

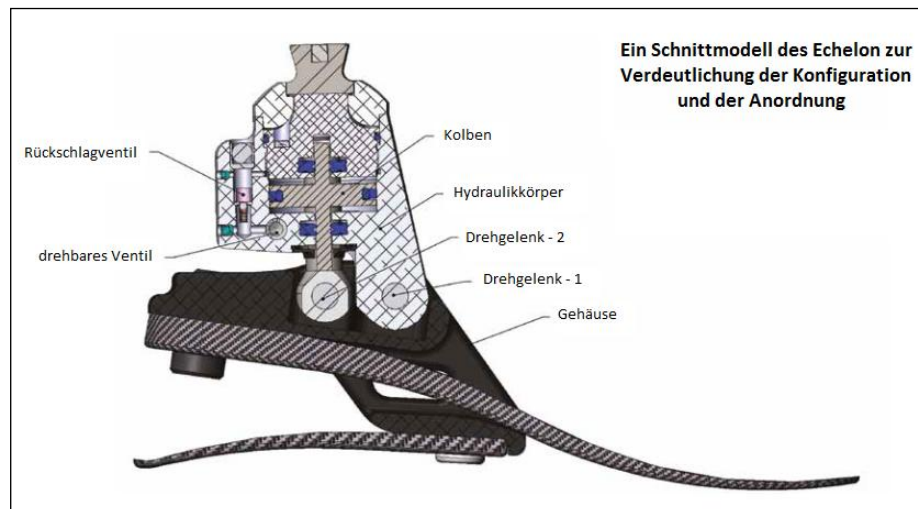


Abb. 4 Technisches Schnittmodell (Quelle: © Blatchford).

wichtsreduktion verwendet. Die Auswahl der viskosen Flüssigkeit, die unterschiedlichen Betriebstemperaturen standhalten soll, war hinsichtlich der Widerstandsfähigkeit und Langlebigkeit des Produktes von entscheidender Bedeutung [5].

So ist ein Hydraulikzylinder entstanden, der selbstausrichtend über zwei separat einstellbare Ventile eine Bewegung von sechs Grad Plantarflexion und drei Grad Dorsalextension bietet. Was drei Grad in der Dorsalextensionsfähigkeit des oberen Sprunggelenkes in dem Bewegungsablauf ausmachen, kann man durch einen einfachen Test leicht nachvollziehen, indem man versucht, ohne Knöchelbewegung vom Stuhl aufzustehen. Dann versteht man sehr schnell, warum drei Grad Dorsalextension des Knöchels bei der Ausführung dieser Bewegung einen erheblichen Unterschied im Kraftaufwand darstellen (Abb. 5 u. 6) [6].

Addiert man die Bewegung, die aus der Flexibilität der Karbonfe-

kel von bis zu ca. 25 Grad erreicht werden [5]. Doch was bedeutet dies letztlich für den Anwender?

Problematik und Nutzen für den Anwender

Die Kontrolle und Haltung des Gleichgewichts erfolgt bei Nichtamputierten über die Extension in der Hüfte und im Kniegelenk – abgesehen von der natürlichen Flexionsstellung – sowie über Flexionsbewegungen im oberen Sprunggelenk. Das bedeutet für das Stehen auf einer Schräge, dass die Anpassung primär über das Knöchelgelenk realisiert wird. Hansen et al. haben die Vorstellung der Fortbewegung auf einem ebenen Untergrund als „rollendes Rad“ begründet, um die biomechanischen Vorgänge anschaulicher beschreiben zu können (Abb. 7). Dabei wird jedes Bein in Bewegung als rollendes Rad verstanden. Bei Nichtamputierten kann man sich zwei in etwa gleich große Räder vorstellen, die damit einen effektiven Gang ermöglichen; diese Effizienz ist bei Amputierten nicht



Abb. 5 Echelon: Bodenfreiheit während der Schwungphase. Abb. 6 Festeingestellter Knöchelgelenkfuß.

automatisch gegeben. Die Tatsache, dass ein gelenkloser Fuß unfähig ist, sich an unterschiedliche Untergründe ausreichend anzupassen und die Fortbewegung geeignet mitzuunterstützen, führt dazu, dass Amputierte allmählich eine unnatürliche Körperhaltung und ebensolche Gangeigenschaften einnehmen müssen, um dies zu kompensieren. Das ursprünglich runde Rad wird quadratisch, was die Fortbewegung deutlich behindert [5].

Die Kompensationsleistung eines Amputierten mit einem gelenklosen steifen Fußgelenk wird besonders auf Schrägen deutlich. Während Unterschenkelamputierte dieses Defizit über eine Kniegelenksflexion bei gleichzeitiger Kontraktion der Oberschenkelmuskulatur und die Verlagerung des Körperschwerpunktes ausgleichen, können Oberschenkelamputierte dies nur bedingt tun, da die Oberschenkelmuskulatur im Prothesenschaft nur eingeschränkt arbeiten kann und Prothesenkniegelenke nur bis zu einem bestimmten Flexionswinkel Standsicherheit gewährleisten können. Hüftexartikulierte sind hingegen gar nicht in der Lage, auf Schrägen sicher und entspannt zu stehen, da ihnen die Oberschenkelmuskulatur vollständig fehlt.

Ein höherer Energieaufwand, vorzeitige Ermüdung, eine unphysiologische Körperhaltung, erhöhte Stolper- und Sturzgefahr, Schmerzen, Überbelastung des erhaltenen Beines und des Stumpfes mit Folge von Komplikationen wie Neuromen, Ödemen und Druckstellen sind einige der zu erwartenden negativen Folgen. Vorzeitiger Gelenkverschleiß, Hüft- und Wirbelsäulenbeschwerden sowie muskuläre Verspannungen und eine Deaktivierung verschiedener Muskeln sind oft die Auslöser für eine fortschreitende Immobilisierung der Betroffenen und führen letztendlich zum Verlust der Erwerbsfähigkeit und zur Verringerung der Lebensqualität.

Der Echelon-Fuß stellt sich dieser Problematik und ermöglicht es dem Anwender, die Herausforderungen des Alltags einfacher bewältigen zu können. Die permanente An-

passung des Knöchelgelenkes sorgt im Zusammenspiel mit den Karbonfedern für deutlich mehr Sicherheit beim Gehen und Stehen auf unterschiedlichen Terrains (Abb. 8a-c). Die individuelle Einstellung der

ze laufen, um den Vorfußhebel und den damit verbundenen übermäßigen Tibiadruck zu verringern. Beim Bergabgehen wird die Rutschgefahr, die sich oft durch unzureichenden Kontakt der Schuhsohle zum Boden

ergibt, dank des adaptiven Knöchelgelenkes effektiv reduziert. Der natürliche Bewegungsablauf und die Propriozeption werden somit gefördert. Viele Anwender berichten, dass sie gegenüber anderen Prothesenfüßen eine deutliche Rückmeldung vom Fuß verspüren. Doch

wie sieht es unter Berücksichtigung der beschriebenen Vorteile mit der medizinischen Notwendigkeit aus? Gibt es wissenschaftliche Beweise für die Wirksamkeit des Echelon? Ja, durch zahlreiche Studien, sowohl intern und extern durchgeführte, und durch Anwenderbeobachtungen wird diese Wirksamkeit belegt.

Erste durchgeführte Messungen der Herzschlagrate mehrerer Amputierter im Rahmen einer Masterarbeit im Jahr 2008 ergaben eine Energieersparnis von bis zu 13,12 Prozent auf unterschiedlichen Untergründen mit einer durchschnittlichen Verbesserung von 3,64 Prozent. Gleichzeitig stieg die Laufgeschwindigkeit um sieben Prozent [2, 3].

Dies wird durch eine in Deutschland von Erler durchgeführte Studie

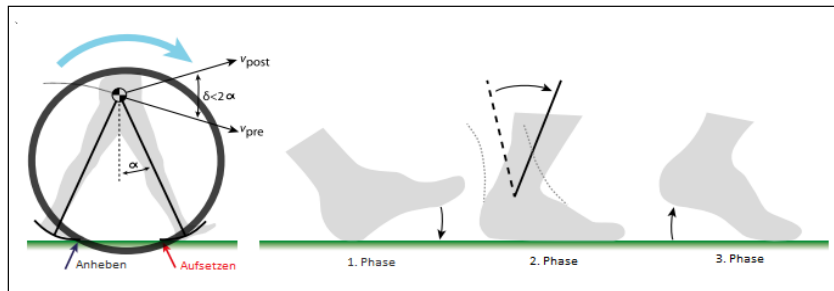


Abb. 7 Das biomechanisch-mathematische Modell menschlicher Bewegung (Quelle: © Blatchford).

beiden Ventile – vorausgesetzt, sie wurden anwendergerecht eingestellt – ermöglicht mit der Auswahl der richtigen Karbonfederkategorie ein rundes Abrollverhalten (Abb. 9). Das Verbleiben des Fußes in drei Grad Dorsalextension beim Zehenabstoß schafft in der Schwungphase bis zu 20 mm mehr Bodenfreiheit, hilft, Hindernisse besser zu bewältigen und minimiert die Stolper- und Sturzgefahr. Zudem verhilft diese Bewegungsfähigkeit dazu, den Fuß beim Aufstehen sicher unter dem Körperschwerpunkt zu positionieren. Die „Hyperextension“ des Fußes führt beim Bergaufgehen zu einer Verkürzung des Vorfußhebels, was besonders Doppelamputierten zugutekommt, da diese in der Regel bergauf nur über die Zehenspit-

Rückmeldungen der Probanden [1]

„Das Laufen ist wesentlich weniger anstrengend und der Stumpf erholt sich viel schneller.“

(Proband Nr. 1, weiblich, 40 Jahre, Mobilitätsgrad 4, Amputationsgrund: Trauma/M.Sudeck).

„Die ersten Schritte waren schon beeindruckend. Der Auftritt ist weich und das Abrollen flüssig.“

(Proband Nr. 6, männlich, 54 Jahre, Mobilitätsgrad 3, Amputationsgrund: Trauma)

„Der Echelon ist ein dynamischer Prothesenfuß, der ein entspanntes, sicheres und ermüdungsfreies Gehen ermöglicht.“

(Proband Nr. 4, männlich, 33 Jahre, Mobilitätsgrad 3, Amputationsgrund: Trauma)

„Auch bei den Balanceübungen war es wesentlich einfacher, seitliche Schwankungen des Körpers auszubalancieren. Diese wurden vorher über das Knie ausgeglichen, was jetzt einfacher mit dem Prothesenfuß geschah.“

(Proband Nr. 6, männlich, 54 Jahre, Mobilitätsgrad 3, Amputationsgrund: Trauma)



Abb. 8 a-c Komfortables und sicheres Bergauf- und Bergabgehen sowie Gehen auf unebenem Gelände.

aus dem Jahr 2011 bestätigt [1]. Ziel dieser Studie war die Untersuchung der Auswirkungen von Prothesenfüßen auf Gangbild, muskuläre Aktivierung und Gleichgewichtsfähigkeit bei Unterschenkelamputierten mittels verschiedener Untersuchungsverfahren im Vergleich mit dem eigenen Prothesenfuß des Probanden und dem Echelon-Fuß. Es wurden dabei 13 Unterschenkelamputierte verschiedener Mobilitätsklassen untersucht. Das Ergebnis dieser Studie wird im Folgenden dargestellt.

Beim Tragen des Echelon wurde das Dorsalextensionsmoment verringert, das zu einer abgeschwächten Knieextension zum Ende der Standphase hin führte, die die erhaltenen Kniestrukturen im Sinne einer verringerten Hyperextension schonte. Die Messung des Energieaufwandes ergab eine Ersparnis im Hüftgelenk von 23,7 Prozent pro Schritt. Insgesamt wurden weniger Schritte durch eine erhöhte Schrittlänge zum Zurücklegen der gleichen Wegstrecke benötigt. Die Stabilisierung des Körperschwerpunktes erfolgte aktiv durch die Muskulatur anstelle einer passiven Stabilisierung durch Knieextension. Bei einem optimal abgestimmten Zusammenspiel zwischen der Hydraulik und den Federelementen wurde ein energieeffizienteres Gangmuster erreicht. Das Überwinden von Hindernissen wie Bordsteinkanten sowie wechselnde und unebene Geländegegebenheiten konnte durch das stets vollflächige Aufliegen des Fußes auf dem Boden als Folge der Kombination aus der

geteilten Vorfußfeder und Hydraulik sicher absolviert werden. Das Gehen erwies sich als ermüdungsarm, das Überwinden von Treppenstufen und Hindernissen leichtgängiger und auf Schrägen durch die Plantarflexions- und Dorsalextensionsbewegung als problemlos. Beim Balancetest erhöhte sich die Standzeit um 2,1 Sekunden.

Eine anschließende Befragung der Probanden anhand eines definierten Fragebogens ergab in allen Punkten einen Vorteil für den Echelon gegenüber dem Prothesenfuß

sich im beigefügten Kasten. In einer in Israel durchgeführten Studie von Portnoy et al. [4] wurden mithilfe von dünnen Messstreifen als flexiblen Drucksensoren die Belastungssituationen und Spannungszustände des Stumpfes im Schaft von transtibial amputierten Prothesenträgern beim Gehen auf verschiedenen Untergründen untersucht (Abb. 10a-c), und zwar mit den eigenen konventionellen, energierückgebenden Füßen der Probanden und dem Echelon. Dabei wurden zehn männliche, aufgrund eines Traumas transtibial amputierte Probanden rekrutiert. Die Mess-Sensoren wurden schienbeinseitig am distalen Stumpfende angebracht, da sich die Belastung dort höchstwahrscheinlich im hohen Maße konzentriert. Jeder Teilnehmer lief auf verschiedenen Untergründen, Schrägen und Treppenstufen in einer bestimmten Zeit zuerst mit seinem eigenen Prothesenfuß und anschließend mit dem Echelon. Dabei wurden die auftretenden Drücke am distalen Stumpfende und die interne Belastung gemessen und berechnet. Nach anschließender einmonatiger Eingewöhnungstragedauer mit dem Echelon wurde

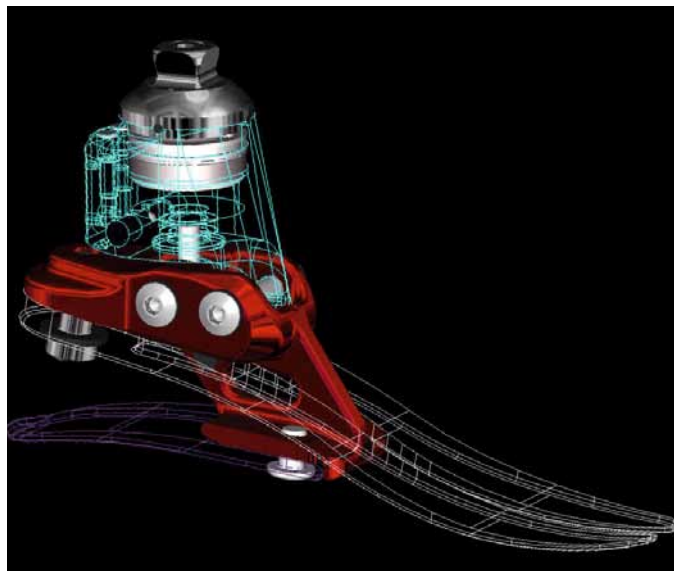


Abb. 9 Einstellbare PF- und DF-Widerstände erlauben eine individuelle Anwenderkonfiguration.

des Probanden hinsichtlich Optik, Gewicht, Schmerzen am Stumpf, Fersenauftritt, Abrollverhalten, Zehenabstoß, Standsicherheit, Gangsicherheit, Ermüdung, Drehung auf der Prothese, Treppen und Steigungen, wechselnde Gehgeschwindigkeiten, Hinsetzen und Aufstehen. Das Feedback der Probanden findet

der Messvorgang wiederholt. Die abschließende Befragung der Probanden hinsichtlich ungewöhnlicher Druckkräfte oder Beschwerden ergab eine volle Zufriedenheit aller Testpersonen mit dem Fuß. Es gab keinerlei Anzeichen ungewöhnlicher Drucküberlastungen und Unannehmlichkeiten am Stumpf. Der

Lastwert, der während der Benutzung des Echelon berechnet wurde, war mindestens dreimal niedriger als der Lastwert beim eigenen Prothesenfuß des Probanden.

Als Schlussfolgerung kann man aus dieser Studie ziehen, dass das Tragen des Echelon Fußes die Spitzenbelastung und den Lastwert signifikant verringert, das schienbeinseitige distale Stumpfende vor hohem Belastungsstress schützt und folglich druckinduzierten Haut- und Tiefengewebsverletzungen vorbeugen kann. Während früher versucht



Abb. 11 My.leg Prothesensystem.

wurde, durch Weichbettung mehr Komfort im Schaft zu erzeugen und Druckstellen vorzubeugen, bietet der Echelon mit seinem recht unkomplizierten und in der Gebrauchsanweisung gut beschriebenen Einbau eine gute Lösung.

Eine weit größere Herausforderung ist die Versorgung eines Knie- und Hüftex- oder Oberschenkelamputierten. Zusätzlich zur Funktionsweise des Unterschenkels gilt es hier, auch die Funktion des menschlichen Kniegelenks nachzuahmen.

Das neue mikroprozessorgesteuerte Orion Hybridkniegelenk soll dem Anwender Sicherheit in der Standphase bieten mittels einer elektronisch gesteuerten hydraulischen Dämpfung und einer autoadaptiven Anpassung an verschiedene Gehgeschwindigkeiten während der Schwungphase. Im Zusammenwirken mit dem Echelon verschmelzen die Komponenten zu dem Prothesensystem My.leg (Abb. 11), bei dem Anwender mit hohen Amputationsniveaus auch von den Vorteilen des Echelon profitieren können.

Fazit

Die Kombination von anpassungsfähigen, energierückgebenden Karbonfedern und dem beweglichen hydraulischen Sprunggelenk des Echelon eröffnet amputierten Menschen neue Möglichkeiten, ihren Alltag sicherer, komfortabler und energieeffizienter zu bewältigen. Er trägt dazu bei, Belastungen am Stumpf zu reduzieren und Muskeln und Gelenkketten zu entlasten, um dem Anwender ein beschwerde-



Abb. 10 a-c Mittels Messstreifen werden Belastungen und Spannungen im Stumpf gemessen.

freieres und aktiveres Leben zu ermöglichen. Das bedeutet für den Techniker mehr Kundenzufriedenheit, weniger Werkstattbesuche und eine daraus resultierende Zeit- und Kostenersparnis. Die Möglichkeiten hinsichtlich der Rehabilitation, Mobilitätssteigerung sowie zum Schutz und der Prävention des Betroffenen vor Langzeitschäden, die enorme Kosten verursachen können, sollten auch unter dem Aspekt der Wirtschaftlichkeit das Interesse der Kostenträger an diesem Prothesenpass teil wecken.

Auf der ORTHOPÄDIE + REHA-TECHNIK 2012 in Leipzig können die Messebesucher die neuen Produkte der Firma Endolite kennenlernen, wie zum Beispiel den Elan, einen mikroprozessorgesteuerten Prothesenfuß.

Der Autor:

Adam Baier, OTM
Endolite Deutschland
Holzstr. 5
95336 Mainleus

Literatur:

- [1] Erler, M.: Einfluss der Eigenschaften eines Prothesenfußes auf das Gangbild von Unterschenkelamputierten, Diplomarbeit im Studiengang Orthopädie- und Reha-technik, Technische Hochschule Mittelhessen, Gießen, 2011
- [2] Hassan, K.: Pilot Study Evaluation of a Novel Prosthetic Foot Design with Viscoelastic Properties, MSc Thesis, University of Surrey, 2008
- [3] Moser, D., et al.: Biomechanical analysis of a novel automatically self-aligning ankle-foot prosthesis, Orthopädie-Technik Quarterly III (2009), 10-15
- [4] Portnoy, S., et al.: Outdoor dynamic subject-specific evaluation of internal stresses in the residual limb: Hydraulic energy-stored prosthetic foot compared to conventional energy-stored prosthetic feet, Gait Posture (2011)
- [5] Zahedi, S.: A Step Change, Ingenia 45 (2010), www.endolite.de/downloads.html
- [6] Zahedi, S.: Echelon, der autoadaptive Gelenkfuß, 800 Versorgungen in 12 Monaten – ein erstes Fazit, 2010, www.endolite.de/downloads.html