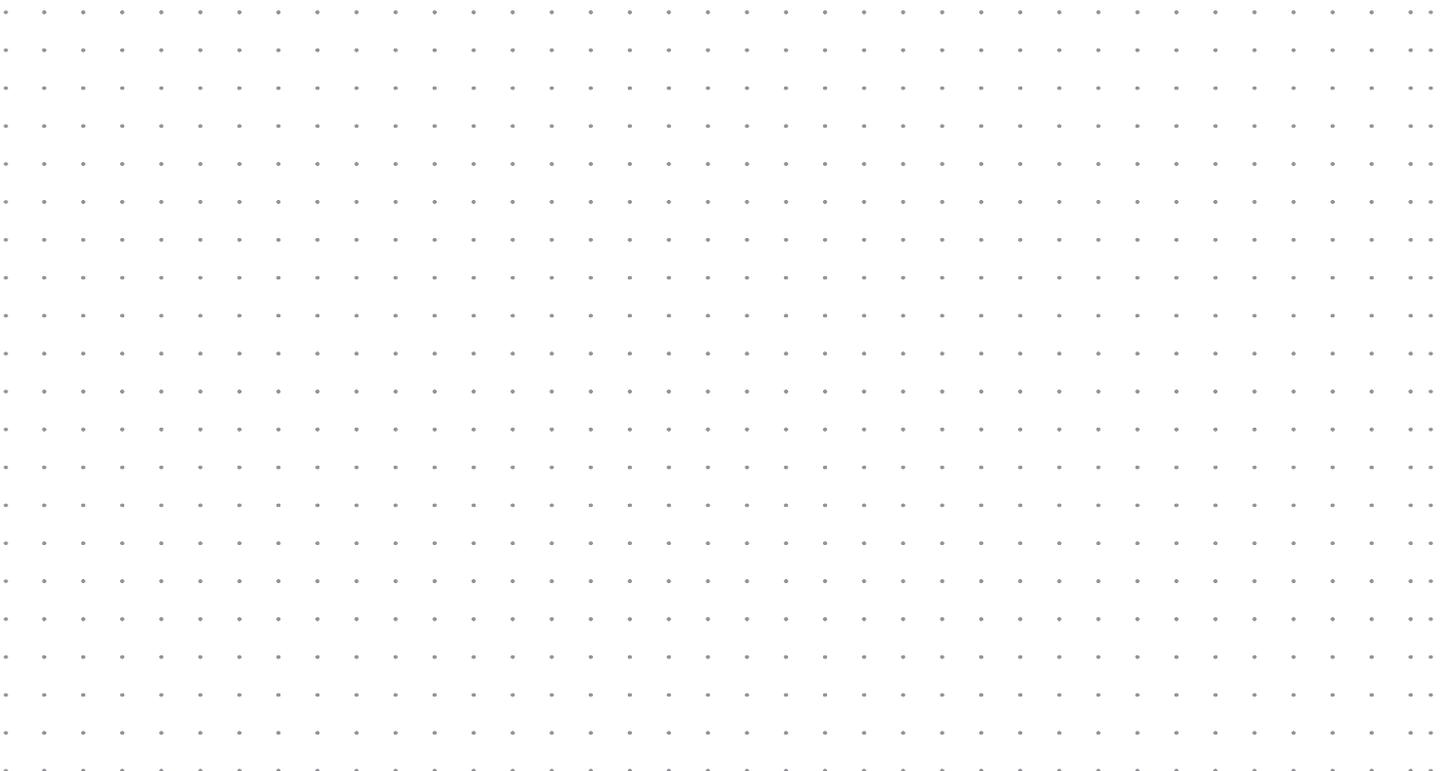
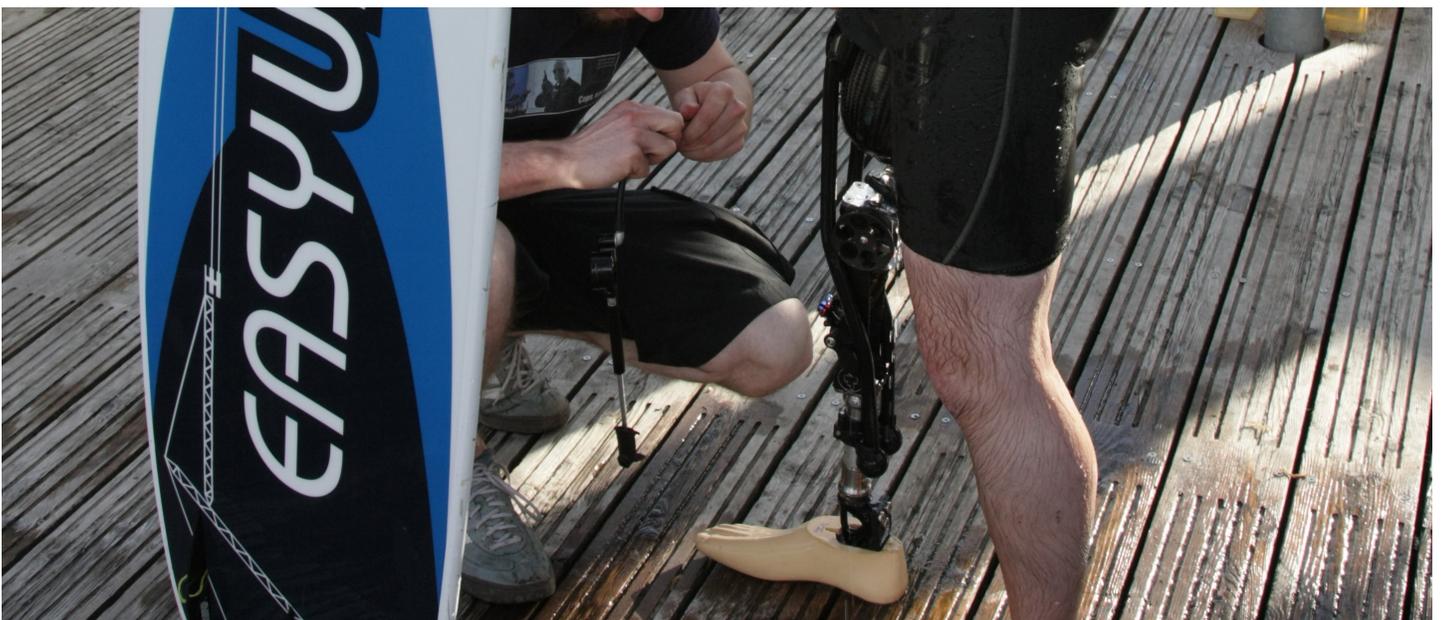


Fachliteratur Prothetik

Ästhetik und Funktion im Fokus moderner Gestaltungsvarianten in der Beinprothetik

S. Posch, M. Schäfer, Verlag Orthopädie-Technik 2015/06



S. Posch, M. Schäfer

Ästhetik und Funktion im Fokus moderner Gestaltungsvarianten in der Beinprothetik

Focus on Aesthetics and Function of Modern Design Variations in the Field of Leg Prosthetics

Die Optik von Beinprothesen stellt für viele Anwender ein sehr wichtiges Merkmal in der prothetischen Versorgung dar. Letztendlich repräsentiert das Aussehen der Beinprothese in einem gewissen Maße auch die körperliche Integrität sowie die Identifikation des Anwenders mit dem Hilfsmittel. Durch zunehmend komplexer werdende Geometrien im technischen Layout moderner prothetischer Funktionsteile wird auch der Anspruch der adäquaten spiegelähnlichen Replik der kontralateralen Beinseite erschwert. Hinzu kommen die erhöhten funktionalen Anforderungen, die durch die äußere Gestaltung der Prothese nicht beeinträchtigt werden dürfen. Der folgende Beitrag greift die unterschiedlichen Anforderungen an moderne beinprothetische Gestaltungsvarianten auf und spannt dabei einen Bogen von traditionellen Kosmetiküberzügen bis hin zur modernen Formgestaltung mit neuartigen Fertigungsansätzen.

Schlüsselwörter: Beinkosmetik, Selektives Lasersintern, Protektoren, Beinprothetik, Silikonkosmetik

The appearance of a leg prosthesis is a very important feature for many users. To a certain extent, the appearance of a leg prosthesis ultimately represents the physical integrity and user's identification with the device.

Increasingly complex geometries in the technical layout of modern prosthetic components make it increasingly difficult to replicate the mirror image of the contralateral leg. There are also increasing functional demands that may not be impaired by the external design of the prosthesis.

This article addresses the different requirements of the various designs of modern leg prostheses and covers

all aspects from traditional cosmetic covers to modern design with innovative fabrication methods.

Key words: cosmetic leg cover, elective laser sintering, protectors, leg prosthetics, silicone cosmetic cover

Einleitung

Die äußere Gestaltung von Beinprothesen verfolgt seit jeher die Aufgabe, eine möglichst unauffällige und ästhetisch hochwertige Wiederherstellung der Körperform und der farbangepassten Außenerscheinung von Prothesen zu erfüllen (Abb. 1). Zu Recht hegen viele amputierte Mitmenschen den Wunsch, sich in der Gesellschaft unauffällig und mit höchstmöglicher Teilhabe darzustellen. Die Akzeptanz des prothetischen Ersatzes hängt dabei in vielen Fällen auch von der Gestaltung der Prothese ab. Vor allem jene Anwender, die die Prothese auch zum Baden und Schwimmen anziehen, also diese im permanenten Sichtbereich der Umwelt tragen, äußern vermehrt das Bedürfnis nach einem möglichst unauffälligen äußeren Erscheinungsbild der Prothese.

Global kann festgestellt werden, dass das Bedürfnis nach einer möglichst natürlich aussehenden ästhetischen Außengestaltung der Prothese differieren kann. Während in den europäischen Staaten ein hoher Wert auf das möglichst form- und farbadaptierte spiegelgetreue Äußere der prothetischen Verkleidung gelegt wird, ist der Umgang in vielen Staaten anderer Kontinente, z. B. in den USA, deutlich technikbetonter. Die Prothesen er-

fahren häufig auffällige Designs und Outfits, die den Charakter des prothetischen Ersatzes unterstreichen und von der Umwelt auch direkt als solche wahrgenommen werden. Bleibt festzustellen, dass in jenen Ländern auch der Umgang der Bevölkerung mit dem Thema der körperlichen Behinderung ein anderer ist und die soziale Integration der Betroffenen in die Gesellschaft besser gelingt.

Der Stellenwert einer unauffälligen Verkleidung der Prothesen nimmt in Europa von Nord nach Süd deutlich zu. Hierzulande kann ein Trend dahingehend beobachtet werden, dass vor allem jüngere Amputierte eine hohe Wertschätzung gegenüber den funktionsbetonten, mehrteiligen und technisch anmutenden Designvarianten haben. Dies mag nicht zuletzt daran liegen, dass gerade bei den hohen Amputationsformen wie Knieex-, Oberschenkel- und Hüftexamputation die funktionale Beeinträchtigung durch eine durchgehende Kosmetikvariante erheblichen Einfluss auf die Funktion der PASTEILE haben kann.

Auswahlkriterien für die äußere Gestaltungsvariante von Beinprothesen

Die Auswahl der prothetischen Gestaltungsvariante sollte bereits vor Versorgungsstart mit dem Anwender abgeklärt und festgehalten werden. Die Bedürfnisse können dabei sehr unterschiedlich sein und orientieren sich zumeist am Alltagsleben und den daraus resultierenden Anforderungen und Einsatzgebieten, die der Anwender mit der Prothese zu bewältigen hat.

Die folgenden Faktoren sollten bei der Auswahl der geeigneten Methode berücksichtigt werden:

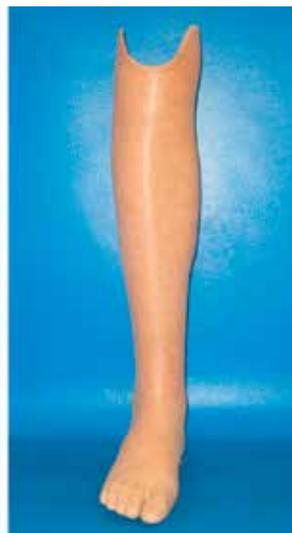


Abb. 1 Geteilte Silikonkosmetik für Knieex-Prothese.

Abb. 2 Unterschenkel-PE-Schaumkosmetiken mit Beschichtungstechniken, links: nach Botta, rechts: Superskin.

Abb. 3 Geteilte Kosmetikvariante mit Superskin-Beschichtung für OS-Prothesen.

Aus Sicht des Anwenders – Nutzungsprofil:

- Wunsch nach einer unauffälligen und spiegelgetreuen ästhetischen Wiederherstellung der amputierten Gliedmaße durch einen individuell angepassten Form- und Farbaufbau der prothetischen Außenform
- Möglichkeit zur Adaptivität der Außenform an unterschiedliche Absatzhöhen
- möglichst geringes Gewicht des Formausgleiches
- einfaches Handling bei Handhabung und Pflege
- Berücksichtigung und Gewährleistung der Pasteilfunktionen
- Anbringen von Tattoos

Aus Sicht des Technikers – Belastbarkeit und Haltbarkeit [3]:

- normale Alltagsbelastungen, Art und Intensität
- mechanische Belastungsspitzen in Beruf und Freizeit
- spezifische Anforderungen, z. B. Schmutz- und Geruchsresistenz, Wasserbeständigkeit etc.
- Kleiderordnung (Hosen, Röcke, offenes Schuhwerk etc.)
- Pasteilkonfiguration und Bewegungsumfänge der prothetischen Funktionsteile

Letztendlich müssen in die Beratung und Auswahl auch die Aufwände und Kosten zur Herstellung einer modernen Prothesen-Gestaltungsvariante einfließen, sodass der Anwender bereits vor der Anfertigung informiert ist und etwaige Kostenübernahmeanträge mit den zuständigen Versicherern geklärt werden können.

Äußere Gestaltungsvarianten in der Beinprothetik

Die Anforderungen an die äußere Gestaltung von Beinprothesen finden unter Berücksichtigung von drei wesentlichen Gestaltungsmerkmalen statt:

Äußere Formgebung:

- Imitation der anatomischen Bein- oder einer Sonderform
- einsatzorientierte Materialauswahl des Formausgleiches
- Schutzfunktion für die Funktions- und Strukturteile der Prothese

Äußeres Design und Farbgestaltung:

- bei kosmetischen Versionen: farb-adaptierte Imitation der Hautfarbe
- bei Protektoren und Fairings: Wahl eines Wunschdesigns
- Schmutzresistenz gegen äußere Einflüsse
- ausreichende mechanische Belastbarkeit
- Wasserresistenz bei wasserfesten Prothesenvarianten

Berücksichtigung der dynamischen Pasteilfunktionalitäten und Vermeidung von bewegungslimitierenden Einflüssen:

- Berücksichtigung der Prothesenfußbewegungen und -aktivitäten
- Berücksichtigung der Prothesenkniebewegungen und -aktivitäten
- Berücksichtigung der Prothesenhüftgelenkbewegungen und -aktivitäten

Resultierend aus diesen Anforderungen können folgende Gestaltungsvarianten unterschieden werden:

Beinkosmetikvarianten aus PUR-/PE-Schaum

Seit Einführung der Modularbauweise in der Prothetik haben sich auch kosmetische Formausgleiche aus geschäumten Polyurethanen und Polyethenen bewährt. In der Unterschenkelprothetik kommen bevorzugt die festeren PE-Schäume zum Einsatz, während knie-gelenkübergreifende Kosmetikvarianten auch heute noch aus den wesentlich weicheren PUR-Schaumsystemen hergestellt werden. Obgleich bei der Anfertigung einer Oberschenkelkosmetik zusätzliche Schaum-Komprimierungsmengen hinzugerechnet werden, beklagen viele Oberschenkelprothesenträger die negativen Einflüsse der gelenkübergreifenden Kosmetikvarianten auf die Bewegung des Prothesenkniegelenkes. Vor allem bei elektronisch geregelten Gelenkvarianten machen sich die limitierenden Eigenschaften negativ bemerkbar. Eine Verbesserung bieten bei den knieübergreifenden Kosmetikvarianten die deutlich stabileren PE-Schaumaufbauten im Bereich des Unterschenkels, da diese ein zusätzliches Stauchen des Schaumes im gelenknahen Kniebereich ermöglichen, wodurch eine geringere Beeinträchtigung der Kniebewegung sichergestellt werden kann.

Zur Imitation der Hautfarbe können bekannte Techniken der Außenbeschichtung, z. B. die Botta-Technik (bei festen Unterschenkelkosmetiken) bzw. die Superskin-Beschichtungstechnik, zum Einsatz kommen (Abb. 2).



Abb. 4 Differenzierte Pigmentierung, eingearbeitet in US-Silikonkosmetik.



Abb. 5 Integration von Haaren in der kosmetischen Silikonhaut bei stark behaarten Patienten.



Abb. 6 Ein- und zweiteilige Oberschenkel lange Silikonkosmetiken bei wasserfesten OS-Prothesen.

Geteilte Kosmetiksysteme

Anwendern, die auf eine zusätzliche Beeinträchtigung der Bewegungsfunktionen der Funktionsteile komplett verzichten wollen, bietet sich die Versorgungsmöglichkeit mit geteilten Kosmetikvarianten. Leichte Abstriche beim ästhetischen Äußeren in Kauf nehmend, können die zweigeteilten Kosmetiksysteme den vollen Bewegungsumfang der Passteilfunktionen gewährleisten.

Es hat sich bewährt, diese zweiteiligen Kosmetiklösungen im Finish ebenfalls mit einer lackierten Botta- oder Superskin-Technik zu versehen (Abb. 3). Dadurch bleiben diese Kosmetiksysteme im Vergleich zu den PUR-Schaumkosmetiken deutlich verschleißfreier und besitzen eine vergleichsweise höhere Haltbarkeit. In der äußeren Formgestaltung von Hüftexprothesen sind diese geteilten Systeme nicht mehr wegzudenken. Es sei an dieser Stelle jedoch auch angemerkt, dass diese Form der Kosmetikverkleidung einem vergleichsweise deutlich höheren Arbeitsaufwand gegenüber der PUR-Schaumkosmetik unterliegt. Der Formaufbau erfolgt schichtweise, und die überlappenden Formausführungen im Bereich des Kniegelenkes müssen passgenau aufeinander abgestimmt werden, sodass während der Bewegung – auch unter der Kleidung – keine beeinträchtigenden Friktionen und lästige Geräusche auftreten.

Beinkosmetikvarianten aus Silikon

Beinkosmetikvarianten aus Silikon sind genau genommen individuell gefertigte Silikonhäute, die im Bereich des Fußes entweder mit dem Fußpassteil fest verbunden werden oder eine konstruktive Fußschale zur Adaption von modernen Prothesen-

füßen enthalten. Sie benötigen ebenfalls einen formgebenden Unterbau an der Prothese, welcher wahlweise aus PUR-/PE-Schäumen oder aus harten Außenformen z. B. aus Kunststoff oder Gießharz angebracht werden kann. Aufgrund der materialtechnischen hochwertigen Eigenschaften des hochtemperaturvernetzten Silikons [3, 4] können unter Zugabe von Farbpigmenten und Fasermaterialien hautähnliche Farben und Strukturen hoher Güte realisiert werden (Abb. 4).

Die HTV-Silikonkosmetiken erlauben gestaltungstechnische Besonderheiten, die von anderen Kosmetiksystemen nicht in diesem naturangepassten Äußeren erfüllt werden können. Hierzu zählen die folgenden Aspekte:

- Eine separate Zehengestaltung mit Hinterschneidung wird mit individuellen Zehennagel-Imitaten in Silikon- oder Acryltechnik verbunden, die der Gegenseite in Farbe und Form perfekt nachempfunden werden. Hierdurch wird die Auswahlmöglichkeit von offenem Schuhwerk erhöht und gleichzeitig die Lackierbarkeit der Nägel realisiert.
- Tätowierwünsche können auf der Silikonhaut realisiert werden.
- Es können besondere Hautpigmentierungen und Strukturaufbauten, sogar Adern ausgearbeitet werden.
- Das elastische Verhalten des Silikons mit hoher Materialmechanik schützt vor zu schnellem Verschleiß und Faltenbildung. Die Haltbarkeit der Silikon-Kosmetiküberzüge ist im Vergleich zu alternativen kosmetischen Varianten wie z. B. Botta-Kosmetik oder Superskin deutlich besser; sie können problemlos gereinigt werden.

- Schließlich können auch Haare integriert werden (Abb. 5). Es besteht die Möglichkeit des Einknüpfens (wie bei Perücken), wobei diese Methode aufgrund der hohen Kosten nur selten zum Einsatz kommt. Der natürlichen Optik entspricht das Einbinden der Haare in die Silikonoberfläche. Hierbei wird das Haar zu zwei Dritteln der Länge in der Silikonoberfläche verankert. Diese Variante ist allerdings nicht verschleißfrei zu realisieren: Durch alltäglich auftretende Kräfte auf der Oberfläche (z. B. Scheuern der Kleidung) arbeiten sich die Haare über einen längeren Nutzungszeitraum aus dem Verbund heraus. Bei hochaktiven Patienten empfiehlt sich daher das Versiegeln der Haare durch eine ultradünne transparente Silikondeckschicht. Hierbei wird das Haar dauerhaft geschützt und verbleibt im Silikonverbund.

Bei wasserfesten Prothesensystemen können ein- und zweiteilige Silikonkosmetiken zum Einsatz kommen (Abb. 6). Es ist möglich, verdeckte „Wasserschleusen“ mit in die Haut einzuarbeiten, um das Fluten des Wassers beim Ein- und Austreten aus dem Wasser zu gewährleisten.

Bei einteiligen Silikonkosmetiken sollte jedoch beachtet werden, dass durch die begrenzte Elastizität des Silikons der Bewegungsumfang im Kniegelenk auf ca. 50 bis 60° limitiert wird. Aus diesem Grund sollten diese Kosmetiken bereits mit einer leichten Vorflexion eingearbeitet werden. Das wassermechanisch bedingte Ausbeulen der Kosmetik kann verhindert werden, indem wichtige Kontaktstellen am Fuß sowie im Bereich des Prothesenschafes flächig mit Silikon verklebt werden.



Abb. 7 Standardisierte Protpektoren an Oberschenkelprothesen.



Abb. 8 Zweiteilige Design-Cover von UNYQ für OS- und US-Prothesen.

Protektoren und Covers für Beinprothesensysteme

Anwender, die bewusst auf jegliche Bewegungseinschränkungen durch Kosmetiksysteme verzichten und ein modisch-auffälliges Designobjekt präferieren, entscheiden sich meistens für das Tragen von Protektoren bzw. Covers. Während Protektoren (Abb. 7) in der Regel industriell vorgefertigte formverkleidende Systeme für spezifische Prothesenkomponenten – zumeist moderne Knie-systeme – darstellen und in einheitlichen Größen verfügbar sind, die nur noch in der Länge an die Prothese angepasst werden müssen, sind Covers individuelle zweiteilige Formverkleidungen sowohl für Unterschenkel- als auch für Oberschenkelprothesen (Abb. 8). Sie werden im generativen Lasersinterverfahren hergestellt. Zur Gestaltung der Covers können verschiedene Designvarianten ausgewählt und individuell an die Form des kontra-

lateralen Beines angepasst werden.

Das modische Außendesign der Covers ist bewusst gewählt und soll ein neues Selbstverständnis des Amputierten unterstreichen. Da weder das Fuß- noch das Kniegelenk in die Konstruktion des Covers integriert wurden, finden hier keinerlei bewegungslimitierende Wirkungsweisen statt. Noch wird das Angebot hauptsächlich von jüngeren Anwendern angenommen, es ist jedoch davon auszugehen, dass sich diese Technologie für diejenigen Anwender, die keine unauffällige äußere Formgestaltung wünschen, mittelfristig etablieren wird.

Kosmetik-Funktionselemente in generativen Verfahrenstechniken

Moderne Prothesenpassteile stellen traditionelle Formgestaltungsvarianten für Beinprothesen zunehmend in Frage. Bereits bei Unterschenkelprothesen kann der enorm hohe Bewegungsumfang diverser Carbonfeder-Fußsysteme, vor allem bei Anwendern

der Mobilitätsklasse 3 und 4, kaum realisiert werden. Ein aktiver Fersenauftritt und das damit verbundene tiefe Einsinken des Fußes bedeutet ein Stauchen im Verlauf der Ferse nach proximal. In der Schrittvorlage und bei Zehenablösung wird exakt derselbe Bereich hingegen einer enormen Zugwirkung ausgesetzt. Die Folge sind entstehende Risse zwischen den Prothesenfüßen und den Schaumansätzen der Kosmetik (Abb. 9). Begleitende voluminöse Gestaltungen der Bauteile wie z. B. die Integration von Unterdrucksystemen auf Höhe des B-Maßes sowie funktionelle Schaftzusätze wie z. B. Ausstoßventile können einen zusätzlichen limitierenden Einfluss auf die adaptierte Gestaltung des Formausgleiches ausüben. Hieraus resultiert die Anforderung, Formausgleiche mit minimalen Schichtdicken und trotz alledem ausreichenden mechanischen Eigenschaften zu entwickeln.

In einem ersten Schritt konnte im Hause der Autoren eine spezifische Funktions-Knöchelkosmetik entwickelt werden. Hierbei handelt es sich um ein individuelles Knöchelansatzstück, das zwischen dem Fußpassteil und der formgebenden Unterschenkelkosmetik integriert wird (Abb. 10). Es wird nach den Maßen der kontralateralen Beinseite per CAD-Software größendimensioniert und anschließend im generativen Selektiven Lasersinterverfahren (SLS) aus Polyamid hergestellt. Unter Verwendung einer modifizierten Wabenstruktur wird in diesem Funktionselement der volle Umfang der Fußbewegung berücksichtigt, es bleibt zusätzlich formstabil.



Abb. 9 Typische Rissbildung an traditionellen Schaumkosmetiken.

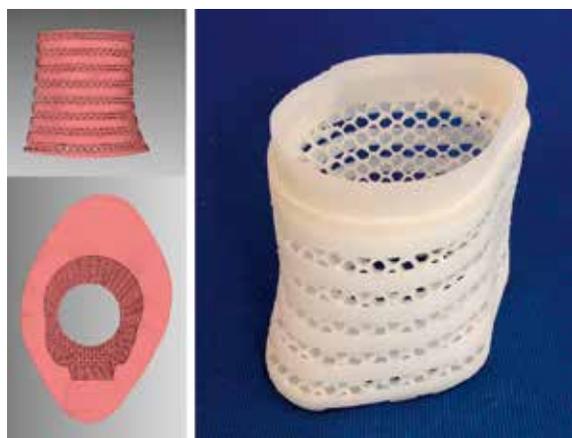


Abb. 10 Funktionsknöchelkosmetik nach Pohlig im SLS-Verfahren.



Abb. 11 Individuelle Silikon-Beinkosmetik mit ultraleichtem wasser-tauglichem Formunterbau, im SLS-Verfahren hergestellt.

Abb. 12 Virtuelle Gestaltung des Formaufbaus an einer Unterschenkelprothese.

Die gewählte Geometrie der Wabenstruktur ermöglicht eine gute Beweglichkeit in a-p-Richtung bei gleichzeitiger mediolateraler Stabilisierung des Formausgleiches. Durch die gewählte Fertigungsmethode kann ein geringes Gewicht des Bauteiles erzielt werden. In der Dynamik ist sichtbar, dass die Kosmetik trotz der vollen Bewegungsfreiheit in DE/PF die äußere Form beibehält. Das Bauteil wird in der Funktion nicht beeinträchtigt.

In einer fortführenden Weiterentwicklung wurde ebenso ein kompletter Unterschenkel- und Oberschenkelformausgleich im Selektiven Lasersinterverfahren designt. Zielsetzung dieser Entwicklung war die Anforderung, wasserfeste Modularprothesen mit einem leichtgewichtigen wasserdurchlässigen Formaufbau zu versehen, sodass in Kombination mit einer elastischen Silikonkosmetik eine ästhetisch schöne und zugleich funktionale, wassertaugliche Formgestaltung realisiert werden kann (Abb. 11).

Zur Erstellung der Form erfolgt eine Körpererfassung des prothetischen Istzustandes sowie der kontralateralen Beinseite via videobasiertem dreidimensionalem Scan. Hierzu stellt sich der Anwender auf eine Dreheinheit, auf der der Körper von allen Seiten gescannt wird. Das dadurch generierte virtuelle Modell ermöglicht die anschließende Bearbeitung in einer spezifischen Modelliersoftware.

In diesem Arbeitsschritt werden sowohl die Gestaltung der Knöchelkosmetik als auch der individuelle Auf-

bau der Beinform realisiert (Abb. 12). Durch den Scan der Prothesenseite kann die Verankerung der Kosmetik am Schaft und an den Bauteilen so positioniert werden, dass eine optimale Wartungsfreundlichkeit erreicht wird. In Abhängigkeit zur benötigten Funktion besteht die Möglichkeit einer formgebenden Rendering in derzeit sechs Strukturvarianten.

Fazit

Die Vielfalt moderner prothetischer Gestaltungsvarianten in der Beinprothetik hat ihre Berechtigung – zu unterschiedlich sind die Bedürfnisse und Anwendungsszenarien der einzelnen Anwender, als dass hier allumfassende Präferenzen getroffen werden können.

Der Trend, traditionelle Kosmetikvarianten durch zweiteilige Kosmetiksysteme, kniegelenkfreie Protektoren und Cover zu ersetzen, wird sich in Zukunft fortsetzen. Ferner zeigt sich,

dass die Anwendung generativer moderner Fertigungsverfahren in Kombination mit bewährten Versorgungstechniken wie z. B. der individuellen Silikontechnik höchst funktionale und ästhetisch ansprechende Lösungen zum Ziel hat.

Derjenige Orthopädie-Technik-Mechaniker, der diese Vielfalt erhält und individuell an die versorgungsbezogenen Gegebenheiten der jeweiligen Anwender anpasst, wird auch in Zukunft eine hohe Akzeptanz und Zustimmung erfahren.

Für die Autoren:

Simon Posch, OMM
Pohlig GmbH
Grabenstätter Str. 1
83278 Traunstein
s.posch@pohlig.net

Begutachteter Beitrag/reviewed paper

LITERATUR:

- [1] Baumgartner R, Botta P. Amputation und Prothesenversorgung. Stuttgart: Thieme Verlag, 2008
- [2] Gawron O. Prothesenversorgung nach Hüftexartikulation mit einem halbseitigen Beckenschaff. Orthopädie Technik, 2006; 57 (3): 170-175
- [3] Schäfer M. Individuelle kosmetische Gestaltungsvarianten in der Beinprothetik. Medizinisch Orthopädische Technik; 2006; 126 (5): 170-175
- [4] Schäfer M. Silikone in der Technischen Orthopädie. Medizinisch Orthopädische Technik, 2008; 128 (2): 71-78
- [5] Pröbsting J, Günther N. Generative Fertigungsverfahren in der Orthopädie-Technik. Orthopädie Technik, 2014; 65 (1): 16-19

