

Ein Beitrag zur Entwicklung einer additiv
gefertigten Unterschenkelorthese unter
Berücksichtigung biomechanischer
Aspekte des Charcot-Fußes

Tommy Schafran



Ein Beitrag zur Entwicklung einer additiv gefertigten Unterschenkelorthese unter Berücksichtigung biomechanischer Aspekte des Charcot-Fußes

zur Erlangung des akademischen Grades
DOKTOR DER INGENIEURWISSENSCHAFTEN (Dr.-Ing.)
der Fakultät für Maschinenbau
der Universität Paderborn

genehmigte
DISSERTATION

von
Tommy Schafran, M. Sc. M. Eng.
aus Kamen

Tag des Kolloquiums: 12. August 2021
Referent: Prof. Dr.-Ing. Gunter Kullmer
Korreferent: Prof. Dr. Stefan Grau

Berichte aus der Medizintechnik

Tommy Schafran

**Ein Beitrag zur Entwicklung einer additiv gefertigten
Unterschenkelorthese unter Berücksichtigung
biomechanischer Aspekte des Charcot-Fußes**

D 466 (Diss. Universität Paderborn)

Shaker Verlag
Düren 2021

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Paderborn, Univ., Diss., 2021

Copyright Shaker Verlag 2021

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-8203-6

ISSN 1431-1836

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren
Telefon: 02421 / 99 0 11 - 0 • Telefax: 02421 / 99 0 11 - 9
Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

VORWORT

In seinen Forschungen lässt LEONARDO DA VINCI (1452–1519) bereits die Komplexität und Genialität des menschlichen Körpers erahnen. Mit Bezug zu dem unten stehenden Zitat handelt es sich bei dem von Natur aus geschaffenen menschlichen Körper in der Tat um ein geniales Gesamtsystem, dem es anscheinend an nichts fehlt und das zugleich eine außerordentlich umfangreiche und nahezu unübertroffene Leistungsfähigkeit besitzt. Selbst moderne Hochleistungsrechner können zum Beispiel die hochkomplexen Gedankenvorgänge nicht abbilden, die das menschliche Gehirn tagtäglich leistet. Auch das Vermögen, sich sowohl körperlich als auch geistig stetig an neue oder unerwartete Bedingungen anpassen zu können, ermöglicht es dem Menschen, unentwegt Bestleistung zu erbringen und gleichzeitig in Summe dauerhaft effizient zu agieren. Die Voraussetzung hierfür ist, dass alle Teilsysteme des Körpers gut funktionieren und optimal aufeinander abgestimmt sind. Eine Vielzahl von Erkrankungen oder Verletzungen können dem menschlichen Körper allerdings natürliche Grenzen setzen. Neuste medizinische Erkenntnisse sowie moderne Technologien ermöglichen es jedoch, diese Grenzen zu verschieben.

Im oben genannten Zusammenhang setzt sich die vorliegende Arbeit mit einem Krankheitsbild auseinander, das vor allem aufgrund von Nervenschädigungen schlimmste Fußdeformitäten hervorrufen kann. Es handelt sich hierbei um den sogenannten Charcot-Fuß. Die nachfolgenden theoretischen und praktischen Auseinandersetzungen dienen daher dazu, einen Beitrag zu leisten, die mit dem Krankheitsbild einhergehenden Grenzen zu verschieben.

*„Human ingenuity...
...will never devise any inventions more beautiful,
nor more simple, nor more to the purpose than nature does;
because in her inventions nothing is wanting,
and nothing is superfluous.“*

LEONARDO DA VINCI

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird auf die gleichzeitige Verwendung der Sprachformen männlich und weiblich verzichtet und das generische Maskulinum verwendet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichermaßen für beide Geschlechter.

ZUSAMMENFASSUNG

Mit steigender Anzahl diabeteserkrankter Personen geht ein Anstieg der Fallzahlen krankheits- und neuropathiebedingter Fußleiden einher. Zu diesen zählt auch der Charcot-Fuß. Dieses kontrovers diskutierte Fußleiden, das nicht zwangsläufig nur auf Diabetes mellitus zurückzuführen ist, hat vermehrt entzündungsbedingte Amputationen der unteren Extremitäten zur Folge. Zur Prävention einer Amputation setzt das Fachpersonal bei der technisch-orthopädischen Versorgung des Fußes unter anderem Unterschenkelorthesen ein. Diese Versorgung kann zum Beispiel durch eine handwerklich oder industriell gefertigte Orthese erfolgen. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird erstmals die Entwicklung und Herstellung eines additiv gefertigten Orthesenprototyps vorgestellt, der in der Versorgung des Charcot-Fußes eingesetzt werden soll. Hierbei werden neben der Vorstellung relevanter Grundlagen sowohl medizinische als auch technische Anforderungen berücksichtigt, die in die Erarbeitung eines methodischen Rahmens einfließen. Zudem wird ein Prüfverfahren zur Vermeidung von potenziellen Risiken entwickelt, das neben dem Nachweis einer ausreichenden Mindestfestigkeit auch eine funktionale Prüfung des Prototyps ermöglicht. Anhand experimenteller Untersuchungen wird gezeigt, dass das Vorhaben im Rahmen dieser Arbeit erfolgreich umgesetzt werden konnte. Bei genauerer Betrachtung der Ergebnisse lässt sich vor allem das noch offene Potential erkennen, das im abschließenden Ausblick aufgezeigt wird.

SUMMARY

The increasing number of people suffering from diabetes is accompanied by the number of neuropathic disease-related foot problems, like the Charcot foot. This controversially discussed clinical picture, which is not necessarily caused by diabetes, often results in inflammation-related amputation of the lower limbs. To prevent an amputation and to provide orthopaedic care of the foot, the health staff uses a lower leg orthosis among other things. For this medical treatment, for instance, either handcrafted or industrially manufactured orthoses can be used. The work at hand presents for the first time the development and production of an additively manufactured prototype of an ankle-foot orthosis for Charcot foot patients. Besides the presentation of the relevant basics, medical and technical aspects are considered, which are incorporated into the development of a methodological framework for the prototype. Furthermore, a test procedure is elaborated, which, in addition to proving sufficient operational minimum strength, also enables a functional test of the orthosis. In this way, potential risks can be avoided. Experimental investigations show that the project is implemented successfully. A closer look at the results reveals the remaining potential, which is emphasised in the final outlook of this work.

LISTE DER VORVERÖFFENTLICHUNGEN

Publikationen

- [For20-P] FORTHi GMBH: Patentanmeldung beim Deutschen Patent- und Markenamt, eingereicht am 05. Juni 2020 mit dem amtlichen Aktenzeichen *10 2020 115 001.6* und der Bezeichnung *Orthese für eine untere Extremität eines Trägers*. Erfinder: GÜTTLER, I.; HENZLER, J.; MITSCHKE, M.; SCHAFRAN, T.; SCHRAEDER, D. T.
- [SGB+20] SCHRAEDER, D. T.; GEISEN, B.; BAUMANN, D.; AFANEH, M.; SCHAFRAN, T.: *Plastisch-chirurgische Verfahren modifiziert nach Lexer zur Versorgung des Diabetischen Fußsyndroms in der Technischen Orthopädie – ein Standard im Hospital Geseke*. In: Orthopädie Technik. 08/20, Verlag Orthopädie-Technik, Dortmund, 2020, S. 52-57.
- [SK19] SCHAFRAN, T.; KULLMER, G.: *Entwicklung eines bioinspirierten Gelenkarmroboters und individueller medizinischer Produkte mittels additiver Fertigung*. In: RUSSACK, T.; JERRENTROP, R. (HRSG.): iaam Schriftenreihe der FOM. Band 1, MA Akademie Verlags- und Druck-GmbH, Essen, 2019, S. 86-117.
- [SSG+20] SCHRAEDER, D. T.; SCHAFRAN, T.; GEISEN, B., RUBBERT, L.: *Ein interdisziplinärer und akutmedizinischer Ansatz zur frühestmöglichen Intervention bei Patienten mit Diabetischem Fußsyndrom*. In: Orthopädie Technik. 09/20, Verlag Orthopädie-Technik, Dortmund, 2020, S. 32-37.
- [SSR18] SCHAFRAN, T.; SCHRAMM, B.; RISSE, L.: *Additive Fertigung in der modernen Orthopädietechnik – Anwendung und Forschungsansätze*. In: Proceedings des Arbeitskreises "Zuverlässigkeit von Implantaten und Biostrukturen". Deutscher Verband für Materialforschung und -prüfung e. V., Berlin, 2018, Beitrag I.
- [SSS+20] SCHAFRAN, T.; SCHRAEDER, D. T.; SCHRAMM, B.; KULLMER, G.: *Postoperative Versorgung des Charcot-Fußes mittels Unterschenkelorthese – aktueller Stand der Versorgung und Perspektiven der additiven Fertigung*. In: OT-World.connect 2020: Internationale Leitmesse und virtueller Weltkongress für Prothetik, Orthetik, Orthopädieschuhtechnik, Kompressionstherapie und Technische Rehabilitation. Leipzig, 27. bis 29. Oktober 2020, ePoster.
- [Upb20-P] UNIVERSITÄT PADERBORN: *Patentanmeldung* beim Deutschen Patent- und Markenamt, eingereicht am 23. Oktober 2020 mit dem amtlichen Aktenzeichen *10 2020 127 967.1* und der Bezeichnung *Extremitätendummy und Verfahren zum Testen der Funktion einer Orthese*. Erfinder: KULLMER, G.; SCHAFRAN, T.; SCHRAEDER, D. T.; SCHRAMM, B.

Vorträge

SCHAFRAN, T.: *Additive Fertigung in der modernen Orthopädietechnik – Anwendung und Forschungsansätze*. Arbeitskreistreffen "Zuverlässigkeit von Implantaten und Biostrukturen" des DVM (Deutscher Verband für Materialforschung und -prüfung e. V.), Berlin, 19. Oktober 2018.

SCHAFRAN, T.: *Entwicklung eines Ansatzes zum Produktentstehungsprozess individueller Orthesen mittels additiver Fertigung*. Fachtagung der GFFC (Gesellschaft für Fuß- und Sprunggelenkchirurgie e. V.), 13. Seminar für Technische/Konservative Therapie und Sport, Geseke, 07. Juni 2019.

SCHAFRAN, T.: *Perspektiven der orthopädischen Versorgung durch Orthesen mittels additiver Fertigung*. 27. Internationales Symposium für Fußchirurgie, PreDay der Arbeitskreise Technische/Konservative Therapie und Sport, München, 05. Dezember 2019.

SCHAFRAN, T.: *Die Charcot-Orthese: Von der handwerklichen Fertigung hin zum digitalen Entstehungsprozess mittels additiver Fertigung*. 28. Internationales Symposium für Fußchirurgie, München, 05. Dezember 2020.

INHALTSVERZEICHNIS

| | |
|---|-----------|
| Verzeichnis der verwendeten Symbole und Abkürzungen..... | III |
| Verzeichnis der medizinischen Terminologie | VII |
| 1 Einleitung | 1 |
| 1.1 Motivation und Problemstellung..... | 1 |
| 1.2 Zielsetzung..... | 4 |
| 1.3 Aufbau der Arbeit..... | 6 |
| 2 Anwendung biomechanischer Grundlagen | 7 |
| 2.1 Biomechanik im Allgemeinen und der menschliche Bewegungsapparat | 7 |
| 2.1.1 Anpassungsfähigkeit der Knochen..... | 8 |
| 2.1.2 Prinzip der Zuggurtung..... | 9 |
| 2.2 Biomechanik des Gangs..... | 13 |
| 2.3 Funktionelle Anatomie und Biomechanik des Fußes..... | 17 |
| 2.3.1 Funktionelle Anatomie des Fußes..... | 18 |
| 2.3.2 Biomechanische Betrachtung des Fußes..... | 23 |
| 3 Krankheitsbild und biomechanische Aspekte des Charcot-Fußes | 32 |
| 3.1 Beschreibung des Krankheitsbilds..... | 32 |
| 3.2 Entstehung des Charcot-Fußes | 35 |
| 3.2.1 Diabetes mellitus | 37 |
| 3.2.2 Folgen einer Neuropathie..... | 38 |
| 3.3 Biomechanische Betrachtung des Charcot-Fußes..... | 40 |
| 3.4 Bewertung der Erkenntnisse | 47 |
| 4 Versorgung des Charcot-Fußes..... | 51 |
| 4.1 Technisch-orthopädischer Versorgungsprozess im Allgemeinen | 51 |
| 4.2 Betrachtung des orthopädiotechnischen Versorgungsprozesses..... | 57 |
| 4.2.1 Eigenschaften einer Charcot-Orthese..... | 58 |
| 4.2.2 Arbeitsschritte im handwerklichen Herstellungsprozess..... | 60 |
| 4.3 Verfahrenstechnische Betrachtung der additiven Fertigung für die Versorgung..... | 63 |
| 4.3.1 Einteilung und Merkmale der additiven Fertigungsverfahren | 65 |
| 4.3.2 Einsatz der additiven Fertigung bei der Herstellung von Orthesen | 67 |
| 4.3.3 Restriktionen und Erfordernisse in der Anwendung | 69 |
| 4.4 Bewertung der Erkenntnisse | 70 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 5 | Ableitung einer digitalen Prozesskette..... | 75 |
| 5.1 | Methodisches Vorgehen zur Entstehung neuer Produkte im Allgemeinen..... | 75 |
| 5.1.1 | Produktlebenszyklus und Grundlagen der Produktentwicklung..... | 75 |
| 5.1.2 | Erfordernis einer methodischen Produktentwicklung..... | 78 |
| 5.2 | Notwendige Modifikation zur Ableitung einer digitalen Prozesskette..... | 79 |
| 6 | Anwendung der digitalen Prozesskette zur prototypischen Umsetzung einer Charcot-Orthese..... | 82 |
| 6.1 | Definition und Planung..... | 82 |
| 6.2 | Erarbeitung einer gestalterischen Vorlage..... | 84 |
| 6.3 | Konzeptionelle und gestalterische Ausarbeitung..... | 85 |
| 6.3.1 | Vorstellung eines einteiligen Orthesen-Konzepts..... | 85 |
| 6.3.2 | Vorstellung eines modularen Orthesen-Konzepts..... | 86 |
| 6.3.3 | Bewertung der Ergebnisse..... | 87 |
| 6.4 | Herstellung unter Einsatz der additiven Fertigung..... | 87 |
| 7 | Prüfung und Bewertung des Herstellungsprozesses..... | 89 |
| 8 | Experimentelle Prüfung einer additiv gefertigten Charcot-Orthese..... | 94 |
| 8.1 | Versuchsaufbau..... | 95 |
| 8.2 | Versuchsdurchführung..... | 98 |
| 8.3 | Versuchsergebnisse..... | 101 |
| 8.4 | Durchführung einer klinischen Erprobung..... | 104 |
| 8.5 | Qualität der durchgeführten experimentellen Prüfung..... | 105 |
| 9 | Zusammenfassung und Ausblick..... | 107 |
| 9.1 | Zusammenfassung..... | 107 |
| 9.2 | Ausblick..... | 109 |
| 10 | Anhang..... | 113 |
| | Literaturverzeichnis..... | 119 |

VERZEICHNIS DER VERWENDETEN SYMBOLE UND ABKÜRZUNGEN

a) Lateinisch

| | |
|-------------------------------------|---|
| A_{Ligament} | Querschnittsfläche von Ligamenten |
| A_{Sehne} | Querschnittsfläche von Sehnen |
| A_{Muskel} | Querschnittsfläche von Muskeln |
| A_{pathos} | Pathologisch effektive Knochenquerschnittsfläche |
| A_{physio} | Physiologisch effektive Knochenquerschnittsfläche |
| D | Strahlendosis |
| E | Elastizitätsmodul (E-Modul) |
| F | Kraft |
| $F_{[\text{Knochenname}]}$ | Resultierende Kraft, die auf den jeweiligen Knochen wirkt |
| $F_{[\text{Ligamentname}]}$ | Resultierende Kraft des jeweiligen Ligaments |
| $F_{[\text{Sehnenname}]}$ | Resultierende Kraft der jeweiligen Sehne |
| $F_{[\text{Muskelname}]}$ | Muskelkraft des jeweiligen Muskels |
| F_{BRK} | Bodenreaktionskraft |
| $F_{\text{D}} \text{Druck}$ | Druckkraft |
| $F_{\text{ext}} \text{extension}$ | Summenkraft jener Muskeln, die eine Extension hervorrufen |
| $F_{\text{flex}} \text{flexion}$ | Summenkraft jener Muskeln, die eine Flexion hervorrufen |
| F_{G} | Gewichtskraft |
| F_{pathos} | Pathologisch wirkende Kraft |
| F_{physio} | Physiologisch wirkende Kraft |
| $F_{\text{R}} \text{Rückfuß}$ | Bodenreaktionskraft, die am Rückfuß wirkt |
| $F_{\text{V}} \text{Vorfuß}$ | Bodenreaktionskraft, die am Vorfuß wirkt |
| $F_{\text{Z}} \text{Zug}$ | Zugkraft |
| l | Länge |
| L | Länge der Achillessehne |
| l_{M1} | Länge des Metatarsalknochens 1 |
| M | Moment |
| n | Anzahl, Häufigkeit |
| P | Porosität |

| | |
|--------|-----------------------|
| p | Druck |
| d, r | Hebelarm |
| t | Zeit, Dauer |
| T | Temperatur |
| U | Spannung (elektrisch) |
| V | Gewebevolumen |

b) Griechisch

| | |
|----------------------|---|
| α | Winkel des Fußlängsgewölbes |
| φ_{1-3} | Winkel der Verdrehung im OSG, USG und MTPG |
| γ | Prüfwinkel an der Verstelleinheit des Versuchsaufbaus |
| ε | Dehnung |
| ε_m | Reißdehnung bzw. Bruchdehnung |
| ρ | Knochendichte |
| σ_B | Biegespannung |
| σ_D Druck | Druckspannung |
| $\sigma_{Knochen}$ | Spannung im Knochen |
| R_m | Zugfestigkeit, bzw. auch maximal ertragbare Zugspannung |
| σ_Z Zug | Zugspannung |
| σ | Spannung (mechanisch) |
| $\sigma_{ertragbar}$ | Maximal ertragbare Spannung |
| τ | Schubspannung |

c) Abkürzungen

| | |
|-----|--|
| 3D | Dreidimensional |
| ATP | Adenosintriphosphat |
| ADP | Adenosindiphosphat |
| BMI | Body-Mass-Index (engl. für Körpermasseindex) |
| BRK | Bodenreaktionskraft |
| CAD | Computer-Aided Design (engl. für rechnergestütztes Konstruieren) |
| CE | Conformité Européenne (frz. für Europäische Konformität) |

| | |
|--------------|---|
| CFK | Carbonfaserverstärkter Kunststoff |
| CFK-Orthese | Orthese (handwerklich gefertigt aus CFK) |
| DFS | Diabetisches Fußsyndrom |
| DIN | Deutsches Institut für Normung |
| DMU | Digitales Versuchsmodell (im engl. Digital Mock-Up) |
| DNOAP | Diabetisch-Neuropathische-Osteoarthropathie |
| DPI | Dots per Inch (engl. für Punkte pro Zoll; Bildauflösung) |
| EN | Europäische Norm |
| F/W | Fest- und Wunschanforderung |
| FEM | Finite-Elemente-Methode |
| FFF | Fused Filament Fabrication |
| GP | Gedächtnisprotokoll |
| IPG | Interphalangealgelenke |
| IR-Strahlung | Infrarot-Strahlung (bekannt als Wärmestrahlung) |
| ISO | Internationale Organisation für Normung |
| KG | Körpergewicht |
| KSP | Körperschwerpunkt |
| Lig. | Ligament (im lat. Ligamentum) |
| M. | Muskel (im lat. Musculus) |
| MDR | Medical Device Regulation (engl. für Medizinprodukteverordnung) |
| MJF | Multi-Jet-Fusion |
| MRT | Magnetresonanztomographie |
| MTPG | Metatarsophalangealgelenke |
| NRW | Nordrhein-Westfalen |
| OM | Orthopädietechnik-Mechaniker |
| OSG | Oberes Sprunggelenk |
| P | Patentanmeldung |
| PA12 | Polyamid 12 (bekannt als Nylon) |
| PA12-Orthese | Orthese (additiv gefertigt aus PA12) |
| PMMA | Polymethylmethacrylat (bekannt als Acrylglas) |
| RL | Richtlinie |

| | |
|-----|---|
| SGB | Sozialgesetzbuch |
| SL | Stereolitographie |
| SLS | Selektives Lastersintern |
| SLM | Selektives Lasterstrahlschmelzen (im engl. Selective Laser Melting) |
| TCC | Total-Contact-Cast (engl. für Vollkontaktgips, -verband) |
| TD | Toxische Dosis |
| USG | Unteres Sprunggelenk |
| VDI | Verein Deutscher Ingenieure |

Alle weiteren verwendeten oder hiervon abweichenden Symbole und Bezeichnungen sind im Text erläutert.

VERZEICHNIS DER MEDIZINISCHEN TERMINOLOGIE**A**

Abduktion Wegbewegen eines
..... Körperteils (von der Körperachse)
Adduktion Heranziehen eines
..... Körperteils (zur Körperachse)
Agonist..... bewegungsausführender
..... Muskel (sogenannter Spieler)
Amphiarthrose straffes Gelenk
Amputation.. Entfernung eines Körperteils
Antagonist.... Gegenspieler zum Agonisten
Aponeurose..... breitflächige Sehnenplatte
Arterie..... vom Herzen
..... wegführendes Blutgefäß
arteriell..... auf Arterien bezogen
Arthropathie..... Erkrankung der Gelenke
Atrophie Knochenabbau (Gewebs-
..... schwund infolge Mangelernährung)

B

bilateral zwei Seiten betreffend
Bipedie..... Fortbewegung auf zwei Beinen

C

Calcaneus.....Fersenbein (Knochen)
Cuboid Würfelbein (Knochen)
Cuneiformia (Plural).Keilbeine (Knochen)

D

Diabetes mellitus „Zuckerkrankheit“
distal..... von der Körpermitte weg
dorsaldie Rückseite
.....des Körpers betreffend

E

Entzündung..... Abwehrreaktion des

..... Körpers auf Noxen
Eversion ..Drehung nach Außen (im USG)
Extension.....Streckung eines Körperteils
Extremität.....Gliedmaße (z. B. Bein)
extrinsisch außen (befindend)

F

Femur Oberschenkelknochen
Fibula Wadenbein (Knochen)
Flexion Beugung eines Körperteils
Fraktur..... Knochenbruch

G

Glykation.....biochemische Reaktion
..... ohne Beteiligung von Enzymen
Glukose ... Einfachzucker (Traubenzucker)
Goldstandard derzeit allgemein
..... anerkannte medizinische Versorgung

H

Hypertrophie enormer Knochenaufbau

I

Infektion... Eintritt von Krankheitserregern
insuffizient „nicht ausreichend“
intrinsisch..... innen (befindend)
Inversion ..Drehung nach innen (im USG)
Interphalangealgelenk Gelenk
.....zwischen den Zehenknochen

K

Kortikalis..... äußere Knochenstruktur
kontralateral auf der
.....entgegengesetzten Seite

L

lateral..... außen (liegend)
 Läsion....Störung, Schädigung, Verletzung
 Ligament Bindegewebsstrang (Band)
 Lipid.....Fett

M

medial..... mittig (liegend)
 Metatarsale (Singular)... Mittelfußknochen
 muskuloskelettal.....die Muskulatur
 und das Skelett betreffend
 Metatarsophalangealgelenk..... Gelenk
 zwischen Mittelfuß- und Zehenknochen

N

Naviculare Kahnbein (Knochen)
 Nekrose Gewebstod
 neuromuskulär..... die Nerven
 und die Muskulatur betreffend
 Neuropathie..... Erkrankung der Nerven
 neurotoxisch.....das Nervensystem,
bzw. die Nerven schädigend
 neurovaskulär die Nerven
 und die Blutgefäße betreffend
 Noxefür den Körper schädlicher Reiz

O

Ödem..... krankhafte Ansammlung
 von Flüssigkeit im Gewebe
 Orthesemedizinisch-technisches
 Hilfsmittel
 Osteoarthropathie Erkrankung der
 Knochen und der Gelenke

P

PankreasBauchspeicheldrüse

PathogeneseEntstehung und
 Entwicklung einer Krankheit
 pathologisch.....„krankhaft (verändert)“
 peripher.... im „äußeren“ Bereich (liegend)
 Phalanx (Singular)..... Zehenknochen
 physiologisch.....„gesund“
 plantar.....die Fußsohlenfläche betreffend
 Plantaraponeurosebreite Bindegewebs-
 struktur auf der Fußunterseite
 PronationHeben des äußeren Fußrandes
 proximal..... zur Körpermitte hin

R

RehabilitationWiedereingliederung in
 das berufliche/gesellschaftliche Leben

S

Sepsis..... Blutvergiftung
 Spongiosa innere Knochenstruktur
 suffizient.....„ausreichend“
 Supination... Heben des inneren Fußrandes

T

Talus Sprungbein (Knochen)
 Tibia..... Unterschenkelknochen
 Trabekel..... Knochenbälkchen
 traumatischdurch Gewalteinwirkung

U

Ulkus (Singular)„nicht-traumabedingte“
offene Wunde (z. B. Hautgeschwür)
 Ulzeration Entstehung eines Ulkus
 unphysiologisch.....„nicht gesund“

V

ventral..... die Vorderseite
 des Körpers betreffend
 vaskulär die (Blut-)Gefäße betreffend