UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



Druckbestimmung an der Fußsohle mittels farblich codierter Fotografien zur Darstellung der Druckverteilung

DIPLOMARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades eines Diplomingenieurs für Medizintechnik (FH)

am Fachbereich Krankenhaus- und Medizintechnik, Umwelt- und Biotechnologie der Fachhochschule Gießen-Friedberg

> vorgelegt von Philipp Karlin aus Pinneberg Matrikel-Nr. 752976

Gießen, 26. Januar 2011

Referent: Prof. Dr. –Ing. Jörg Subke

Korreferent: Prof. Dr. –Ing. Dieter Lorenz

Abstract

Die hier vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Druckbestimmung an der Fußsohle mittels farblich codierter Fotografien zur Darstellung der Druckverteilung. Das Ziel der entwickelten Methode besteht darin, eine Verbindung zwischen einer Bildaufnahme der Fußsohle und der Druckverteilung herzustellen. Aktuell bestehen keine Verfahren, die beide Vorteile in nur einer Messung vereinen. So werden Bildaufnahmen bisher durch Fußscanner gemacht und Druckverteilungsmessungen über Einlegesohlen oder Druckmessplatten bestimmt. Dies macht einen Positionswechsel erforderlich. was wiederum keine hundertprozentige Übereinstimmung gewährleisten kann, da der Fuß niemals die gleiche Position und Belastung einnimmt.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden zunächst Fotoaufnahmen von belasteten Fußsohlen gemacht sowie eine Druckverteilungsmessung als Bestätigung dieses Verfahrens durchgeführt. Eine Spiegelreflexkamera, die sich in einer Holzkiste mit Spiegel und Belichtung befand, schoss die Fotoaufnahmen. Dabei diente eine Über Glasscheibe als Objektträger für die Füße. ein professionelles Bildbearbeitungsprogramm wurden die Rohdaten-Formate der Bilder eingelesen und bearbeitet. Entwickelte Filter veränderten Farbton-, Sättigungs- und Helligkeitswerte wodurch eine bunte Darstellung der Fußauflagefläche (Druckbild/Fehlfarbenbild) entstand.

Der Vergleich dieser Fehlfarbenbilder mit den Aufnahmen der Druckverteilungsmessung hat ergeben, dass druckbelastete Bereiche sehr genau hervorgehoben werden können. Eine quantitative Differenzierung der Druckunterschiede ist jedoch noch nicht möglich.

Mit dieser Arbeit liegt nun eine Methode vor, die einen ersten Ansatz zur Druckbestimmung an der Fußsohle anhand von Bildaufnahmen zeigt. Denn anders als bei den Einzelmessungen von Bildaufnahme und Druckverteilungsmessung ist hier kein Positionswechsel nötig. Weiterhin kann die Methode der Farbcodierung auch in anderen Anwendungsbereichen z.B. Wunddokumentation eingesetzt werden.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Theorie	3
	2.1 Der Fuß	3
	2.2 Fußfehlstellungen	6
	2.3 Fußdruckmessung/Druckverteilung	9
	2.4 Fotografie und Fototechnik	. 11
	2.5 Licht und Farbe	. 14
	2.5.1 Licht	. 14
	2.5.2 Farbe	. 17
	2.6 Optik	. 21
	2.7 Menschliche Farbwahrnehmung	. 24
3	Material und Methode	26
	3.1 Einführung	. 26
	3.2 Messbox	. 27
	3.2.1 Glasscheibe	. 28
	3.2.2 Lichtquellen	. 29
	3.3 Fotoausrüstung	. 30
	3.3.1 Kamera	. 30
	3.3.2 Objektiv	. 31
	3.3.3 Polarisationsfilter	. 32
	3.4 Druckmessplatte Emed	. 33
	3.5 Programme	. 34
	3.6 Personenwaage	. 34
	3.7 Kalibrierung	. 35
	3.8 Probanden (Datenblatt)	. 38
	3.9 Messablauf	. 39

3.10 Bildbearbeitung	40
3.10.1 Voreinstellung	40
3.10.2 Freischneidung	40
3.10.3 Erstellung der Fehlfarben	42
3.10.4 Ausmessung	44
3.10.5 Einfügen der Emed-Abdrücke	50
4 Ergebnisse	51
4.1 Beschreibung der Abdrücke	51
4.1.1 Fußbild	51
4.1.2 Emed-Abdruck	52
4.1.3 Filteranwendung	53
4.2 Vergleich Fehlfarben & Emed-Abdrücke	55
4.3 Wiederholbarkeit der Farbabdrücke	58
4.4 Änderung der Lichtquellen	60
4.5 Ausmessung	61
4.5.1 Fußlängen mit Schuhgrößen-Einteilung	61
4.5.2 Bestimmung der Fehlergröße	64
5 Diskussion	67
6 Ausblick	70
7 Literaturverweis	71
8 Anhang	74
8.1 Abdrücke Probanden	74
8.2 Datenblätter	86
8.2.1 Glasscheibe	86
8.2.2 Glühlampen	87
8.2.3 Polarisationsfilter	89
8.3 Fehlerbestimmung Personenwaage	90

Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen	I
Abbildungsverzeichnis	.
Diagrammverzeichnis	. V
Tabellenverzeichnis	. V
Ehrenwörtliche Erklärung	VI

1 Einleitung

G. Hohmann schreibt in "Fuß und Bein" 1951:

"Der menschliche Fuß ist eine Kunstform der Natur. Seinem Wesen nach ist er noch nicht völlig erkannt und erklärt und es bedarf noch mancher wissenschaftlicher Forschung, bis dieses Gebilde in seiner Wesenheit völlig klar ist …" [DHo901 Seite 689].

Seit weit mehr als hundert Jahren wird nun über die Belastungsform des Fußes diskutiert [WDi82]. Auch bis heute gibt es keine anerkannte Definition oder Norm für den Normalfuß [Phi00]. Mittlerweile kennt man viele verschiedene Fußtypen, die alle leistungsfähig sind und deshalb als unauffällige Füße betrachtet werden können [WDi82]. Trotzdem werden die weit verbreiteten angeborenen oder erworbenen Fußprobleme oft vernachlässigt. Dass dadurch Schmerzen auftreten ist keine Seltenheit. Die Folge ist ein Besuch beim Orthopäden, welcher konservative Therapien wie zum Beispiel Einlagen oder Fußgymnastik verschreibt [AWo07].

Kinetische Messverfahren, vor allem Kraft- und Druckmessungen, haben in den letzten Jahren einen wichtigen Stellenwert in der biomechanischen und klinischen Forschung eingenommen. Dafür ist maßgeblich die Entwicklung elektronischer Verfahren zur Druckverteilungsmessung verantwortlich. Sensoren, die in einer Messplatte oder Einlegesohlen untergebracht sind, messen Druckverläufe im Stehen oder während des Abrollvorgangs in Abhängigkeit von der Zeit. Elektronische Verfahren zur Druckverteilungsmessung sind objektiv und reproduzierbar und stellen somit eine verlässliche wissenschaftliche Messung dar [KKe11].

Eine statische Messung der Druckverteilung am Fuß kann überbelastete Druckbereiche hervorheben. Der Nachteil einer solchen Druckanalyse ist, dass die Auswertung nur die Stellen des Fußes zeigt, welche in Kontakt mit der Sensorfläche kommen. Dies ist aber - beispielsweise für eine optimale Einlagenversorgung - nicht ausreichend. Daher trug die Entwicklung von Fußscannern einen weiteren wesentlichen Teil zur Lösung von Fußproblemen bei. Durch sie können innerhalb weniger Sekunden zwei- oder dreidimensionale 1:1 Ansichten des Fußes aufgenommen, vermessen und dargestellt werden. Diese Scanaufnahmen sagen aber wiederum nichts über die Belastung an der Fußsohle aus. Somit hat man einerseits ein Bild des Fußes vor sich oder anderseits eine Druckverteilung am Fuß.

Das Problem liegt nun darin, dass man alle benötigten Daten durch zwei verschiedene Messsysteme erhält. Da der menschliche Fuß bei jedem Wechsel der Standposition auch seine Form verändert, kann die Zuordnung einer Druckverteilung zum Fußbild niemals eindeutig sein.

Es stellt sich daher die Frage, wie man eine Druckbestimmung anhand fotografischer Aufnahmen produzieren kann?

Ziel dieser Diplomarbeit ist, eine Verbindung zwischen Bildaufnahme und Druckverteilung herzustellen. Darüber hinaus soll eine Methode entwickelt werden, welche die Eindeutigkeit zwischen einem Fußbild und der Druckverteilung beweisen kann.

Dazu wurden Bildaufnahmen von Füßen unter Druckbelastung gemacht. Durch Fehlfarbdarstellung dieser Bilder soll die Druckverteilungen gezeigt werden.

Ein Vergleich zwischen den bearbeiteten Fußbildern und einer exakten Druckverteilungsmessung dient als Bestätigung dieses Verfahrens.

In dieser Arbeit wurden die Füße von 35 Probanden analysiert. Siebzig Füße wurden fotografiert und die Druckverteilung gemessen. Vor der Darstellung der Messmethodik und der Ergebnisse wird ein Überblick über die Grundlagen der Anatomie des Fußes, Fußfehlstellungen, Fußdruckmessung und der fotografischen Grundkenntnisse wie Licht, Farbe und Optik gegeben. Da die Sinneswahrnehmung der Farbe eine tragende Rolle in dieser Arbeit spielt, wird auch die menschliche Farbwahrnehmung in der Theorie kurz erklärt.

2 Theorie

2.1 Der Fuß

"Der Fuß des Menschen ist Stütz-, Tast- und Fortbewegungsorgan zugleich. Um diese Mehrfachfunktion zu erfüllen, verfügt er über bestimmte anatomische und biomechanische Besonderheiten" [RBr06].

Er besteht aus 26 Knochen, 27 Gelenken, 32 Muskeln und Sehnen sowie über hundert Bänder [Wis10], und wird grob in Fußwurzel (Tarsus), Mittelfuß (Metatarsus) und Zehen (Digiti pedis) unterteilt.



Abb. 1: CT Fuß seitlich [DrN10]

Das Sprungbein (Talus) der Fußwurzel ist über das obere Sprunggelenk mit dem Schienbein (Tibia) und dem Wadenbein (Fibula) verbunden. Die unteren Enden des Schien- und Wadenbeins sind durch eine feste Bandverbindung (Syndesmosis) zu zusammengefügt einer Knöchelgabel und umklammern zangenartig die Gelenkflächen des Sprungbeins. Durch kräftig ausgebildete Seitenbänder und der genannten Art der Knochenführung wird bedingt, dass im oberen Sprunggelenk nur Beuge- und Streckbewegungen (Plantarflexion und Dorsalflexion) um die Knöchel gedachte Achse vorgenommen werden können. Die kleineren Knochen der Fußwurzel, das Kahnbein (Os naviculare), die drei Keilbeine (Ossa Cuneiformia) und das Würfelbein sind zwischen Sprung-/Fersenbein und den Mittelfußknochen untergebracht. Das untere Sprunggelenk, bestehend aus Sprungbein (Talus), Fersenbein (Calcaneus) und Kahnbein (Os naviculare), ist durch ein kräftiges Zwischenknochenband (Lig. Talocalcaneum interosseum) in eine hintere und vordere Kammer (Articulatio subtalaris/talocalcaneonavicularis) aufgeteilt. Hier erfolgt die Umwendebewegung des Fußes um eine schrägverlaufende Achse, das Heben der inneren (Supination) und der äußeren Fußkante (Pronation). Alle anderen Gelenke zwischen Fußwurzel und Mittelfußgelenke sind als straffe Gelenke so gebaut, dass nur feine federnde Bewegungen möglich sind.

Dagegen können die Zehen mit ihrem Grund-, Mittel- und Endgelenk aktiv gebeugt und gestreckt werden, wobei in den Grundgelenken auch eine Spreizbewegung möglich ist. Die große Zehe (Hallux) besteht im Gegensatz zu allen anderen Zehen nur aus einem Grund- und Endgelenk.



Abb. 2: Fußskelett [DrN10]

Als Weiteres weist der Fuß eine doppelte Gewölbeform auf. Das Längsgewölbe verläuft über die mediale Seite (innen) des Fußes, die laterale Seite (außen) ist weniger betroffen. Durch das Quergewölbe wird der Bereich der Mittelfußknochen und der angrenzenden Keilbeine ausgebildet. Bestimmt werden die Gewölbe durch die Form und die Lage der Fußknochen sowie durch die Wirkung von Bändern und Muskeln aufrechterhalten. Somit ruht das Körpergewicht, bei einem normal geformten Fuß, auf drei Punkten. Der Ferse und den Köpfchen des 1. und 5. Mittelfußknochens. Besonders an diesen Stellen besitzt der Fußsohlenunterbau Fettgewebepolster, welche Stöße dämpfen und so stabil ausgebildet sind, dass sie unter den beim Gehen einwirkenden Kräften nicht verrutschen können. Bau und Beweglichkeit des Fußes sind dem aufrechten Stand und Gang des Menschen angepasst [DrN10].

Dieses knöcherne Gebilde stellt den meist beanspruchten Teil des Körpers dar. Um dies zu verdeutlichen werden nachfolgend ein paar Fakten aufgelistet.

- Der Mensch verbringt zwischen 25 und 57 Prozent seines Lebens auf den Füßen.
- Durchschnittlich macht der Mensch 8.000 10.000 Schritte pro Tag.
- Während eines Tages (an dem man viel zu Fuß unterwegs ist) tragen die Füße, einer 70 Kilogramm schweren Person, etwa 2.520 Tonnen Gewicht.
- Ein Mensch läuft in seinem Leben im Durchschnitt ca. 128.747 Kilometer [Wis10].

Normalfuß-Abdruck:



Normalfuß [Spi10] Der Abdruck eines Normalfußes wird in nebenstehender Abbildung 3 dargestellt. Er sollte im idealen Fall ein auf dem Kopf stehendes L mit weichen Rundungen plus Zehen darstellen. Trifft dies nicht zu so spricht man von Fußfehlstellungen. Diese kommen in den meisten Fällen durch schwache Bänder oder Muskeln zustande. Beispielsweise führt das Absinken des Längsgewölbes zu einer Plattfußbildung, während der Spreizfuß durch Abflachung des Quergewölbes hervorgerufen wird. Aus dieser Ausgangslage ergeben sich Mischformen. Insbesondere beim

weiblichen Geschlecht kommt es häufig im Zehenbereich zur Abweichung der Großzehe in Richtung der Kleinzehe, was als Hallux valgus bezeichnet wird [DrN10].

2.2 Fußfehlstellungen

"Nach einer Studie über 16 europäische Länder hatten 60 Prozent der untersuchten Personen mindestens an einem Fuß Fehlstellungen!" [Wis10]

Angeborene oder erworbene Fußprobleme sind die häufigsten orthopädischen Erkrankungen. Durch Ermüdung der Muskulatur oder Erschlaffung der Bänder und Kapseln tritt eine Lockerung des Skeletts in den Gelenken ein. Die Folgen sind Veränderungen, die bei längerem Bestehen, vor allem bei weiterem Einwirken der schädigenden Ursachen, nicht nur irreparabel werden, sondern vor allem diese Veränderungen immer weiter verstärken. Jeder untrainierte Muskel verkümmert allmählich, wodurch so genannte "Zivilisationsschäden" hervorgerufen werden. Dazu gehören Plattfüße, Senkfüße, Spreizfüße, Hohlfüße und Knickfüße, aber auch Hallux valgus und Hallux rigidus, die streng genommen nicht zu den Fußfehlstellungen zählen, fallen darunter. Auch zahlreiche Mischformen existieren. Die Zahl der schädigenden Einflüsse auf die Füße nimmt ständig zu. Ob nun das Schuhwerk Einfluss auf die Erkrankung der Füße hat, ist noch nicht geklärt [DrN10]. Die häufigsten Fehlstellungen werden im Folgenden aufgezählt und erklärt.

Hallux valgus:

Der Hallux valgus oder auch Großzehenballen genannt, ist die häufigste und bedeutsamste Zehenfehlstellung. Sie wird charakterisiert durch eine Abweichung der Großzehe im Grundgelenk nach außen (äußeren Fußrand/Kleinzehe) und einer Drehung der Zehe nach innen.

Diese Fehlstellung kann durch folgende Faktoren beeinflusst werden:

- anlagebedingte Komponente (Vererbung durch Mutter oder Vater)
- Ungleichgewicht der Muskelzüge durch mangelndes Training der Fußmuskulatur
- enges Schuhwerk.

Es kommt zu knöchernen Anbauten (Exophyten) im Bereich der größten Belastung am Köpfchen des 1. Mittelfußknochens, die durch chronische Belastung des Großzehenballens entstehen. Begleitet wird es meistens von einer zunehmend schmerzhaften, leicht entzündlichen Schleimbeutelbildung/-entzündung [DrN10].

Hallux rigidus:

Der Hallux rigidus wird hervorgerufen durch einen abnutzungsbedingten Verschleiß, wodurch es zu einer schmerzhaften Bewegungseinschränkung des Großzehengrundgelenkes (Arthrose) kommt. Ohne Behandlung kann dies im schlimmsten Fall zu einer Einsteifung im Grundgelenk der Großzehe führen. Auf Röntgenbildern ist der Hallux rigidus gut zu erkennen durch Gelenkspaltverschmälerung (Knorpelverschleiß), Veränderung der Knochenzeichnung oder durch erhebliche rosendornartige Spornbildungen am Gelenk [DrN10].

Hallux varus:

Der Hallux varus beschreibt das Gegenteil vom Hallux valgus und tritt sehr viel seltener auf. Bei dieser Großzehenfehlstellung spreizt sich die Großzehe nach innen (von den anderen Zehen) ab. Unbehandelt kann dies zu einer frühzeitigen Arthrose im Großzehengrundgelenk führen [AWo07].

Spreizfuß:



Abb. 4: Spreizfuß [Onm09]

Der Spreizfuß (Pes transversoplanus) ist die häufigste auftretende Fußdeformität. Im Laufe der Zeit kommt es zu einem Auseinanderweichen der Mittelfußknochen, also einer Absenkung des Fußquergewölbes, was zu einer Verbreiterung des Vorfußes führt [DrN10]. Dadurch treten häufig Schwielen unterhalb des zweiten und dritten

Zehengrundgelenkes auf. Beim Abdruck eines Spreizfußes wird dieses verdeutlicht durch einen erhöhten Druck an diesen Stellen des Fußballens.

Plattfuß:



Der Plattfuß (Pes planus) spiegelt das Gegenteil vom Hohlfuß wieder. Bei der erworbenen oder angeborenen Fehlstellung ist die Wölbung von der Ferse zu den Zehen (Längsgewölbe) eingesunken. Ein Abkippen der Ferse und des Vorfußes zum Außenrand hin kann in Extremfällen zu einer vollständig aufliegenden Fußfläche führen. Dies ist auch beim Abdruck des Plattfußes in Abbildung 5 gut erkennbar. Die Druckverteilung ist über die gesamte Fußfläche ausgebreitet [RWo98].

Abb. 5: Plattfuß [Spi10]

Senkfuß:



Abb. 6: Senkfuß [Aca10]

Knickfuß:



Abb. 7: Knickfuß [Spi10], [Das06]

Der Senkfuß wird charakterisiert durch ein abgeflachtes Längsgewölbe. Auch ein Einknicken des Fußes zur Innenseite ist typisch, sodass die Knöchel herausstehen. Bedingt wird dies durch eine schwache Fußmuskulatur, welche normalerweise das Fußgewölbe trägt. Der Abdruck des Senkfußes ähnelt sehr dem Plattfuß. Entscheidend ist, dass beim Senkfuß noch ein Knick im medialen Bereich des Längsgewölbes erkennbar ist (siehe Abbildung 6) [AWo07].

Bei einem Knickfuß (Pes valgus) bilden das Bein und die Ferse keine gerade Linie. Die Ferse ist um zehn oder mehr Grad nach außen geknickt, wie in Abbildung 7 dargestellt. Ursachen sind schwache Bänder und Sehnen, die die Ferse nicht aufrecht halten können. Der Knickfuß tritt häufig in Kombination mit dem Platt- oder dem Senkfuß auf, weil die Fehlstellung der Ferse zu einem Absenken des Fußlängsgewölbes führt. Das Erkennungsmerkmal eines Knickfußes in seinem Abdruck ist

wie der Name schon sagt, der Knick auf der lateralen Seite des Fußes oberhalb des Fersenabdrucks [Nie05].

Hohlfuß:



Abb. 8: Hohlfuß [Spi10]

Der Hohlfuß (Pes cavus) ist eine Fehlstellung mit einer extrem starken Wölbung von der Ferse zu den Zehen (Längsgewölbe). Dadurch wird der Fuß stark verkürzt und unelastisch. Er beschreibt das Gegenteil vom Plattfuß. Zusätzlich treten häufig ein Spreizfuß oder Krallenzehen auf und es kommt leicht zu Schwielen, Hühneraugen und Druckstellen. Der Abdruck des Hohlfußes ist gut zu erkennen. Fußballen- und Fersenabdruck sind nicht über die äußere Fußfläche verbunden [AW007]. Dies ist deutlich in Abbildung 8 zu erkennen.

2.3 Fußdruckmessung/Druckverteilung

Bereits Anfang der dreißiger Jahre des 19. Jahrhunderts erarbeiteten die Gebrüder Weber erste Studien zur "Effizienz und Effektivität bei der Fortbewegung". Sie stellten fest, dass das Marschieren, im Gegensatz zum autoregulativen Gehen, eines erhöhten Kraftaufwandes bedarf [Web36]. Die ersten statischen Messungen nahmen Beely und Muskat vor, die erstmals Gipsabdrücke von Füßen ihrer Patienten anfertigten und so qualitative Aussagen über die Fußdruckverteilung machen konnten [GMu99]. Eine erste quantitative Messmethode wurde 1921 von Milatz vorgestellt. Er verwendete eine Waage mit sechs pneumatischen Druckgebern, die unter der Fußsohle platziert wurden. Die Grundlage für die heutige elektronische Fußdruckmessung legte Schwartz 1947. Dieser verwendete Sensoren aus Kohleaufnehmern, die unter Kompression ihren elektrischen Widerstand änderten. Er platzierte die Sensoren unter der Ferse, den Metatarsalköpfchen I, III und V, sowie unter der Großzehe [Sch47].

Die allgemeinen Prinzipien und Formen der modernen elektronischen, plantaren Fußdruckmessung ist physikalisch betrachtet die plantare Pedobarografie, eine Messung zweidimensionaler Lastverteilung. Der Definition nach ist die Größe Druck (P) gleich dem Quotienten aus Kraft (F) und Fläche (A): P = F/A [Einheit N/cm²; wobei gilt: 1 N/cm² = 10000 Pa (entspricht etwa 100g/cm²)]. Die vertikale Bodenreaktionskraft ist als die Gesamtkraft einer beschleunigten Masse zu verstehen, die auf eine definierte Fläche einwirkt. Auf die Fußdruckmessung übertragen bedeutet dies, dass die Bodenreaktionskraft gleich der Summe der Kräfte ist, die auf die einzelnen Sensoren einwirken. Sie ist abhängig von der Gewichtskraft des Probanden und seiner Beschleunigung [Bau94].

Zur Messung der Druckverteilung steht eine Vielzahl von Methoden zur Verfügung. Dies sind zum Beispiel eine Einlegesohle in den Schuh, eine Fußplatte oder ein Teppich mit entsprechend eingearbeiteten Sensoren für Messungen im Stand oder Gang. Auch hinsichtlich Anzahl und Verteilung der Sensoren gibt es systemspezifische Unterschiede je nach Hersteller. Im Zeitalter der Computertechnik werden die Messwerte mit Kabel- oder Funkübertragung an den zuständigen Computer übermittelt, sodass eine zeitnahe Datenauswertung möglich ist und Aussagen über den anfallenden Plantardruck gemacht werden können. Die Vorteile der elektronischen Verfahren gegenüber den klassischen statischen Verfahren - zum Beispiel des Gipsabdruckes oder des Blauabdruckes - liegen klar auf der Hand. Die elektronische Messung eröffnet die Möglichkeit, neben statischen auch dynamische Messwerte zu gewinnen und sie in ihrem zeitlichen Verlauf auszuwerten. Schließlich sind die Füße nicht nur "Stehwerkzeug", sondern ihre weitaus komplexere Funktion liegt in ihrem dynamischen Einsatz als "Gehwerkzeug". So kann über spezielle vektorielle Berechnung die Projektion des Körperschwerpunktes auf die Fußsohle erfolgen, um Rückschlüsse auf die Biomechanik des Abrollvorganges zu ziehen. Durch das Erheben und die Speicherung quantifizierbarer Messwerte ergibt sich zudem die Möglichkeit, prä- und posttherapeutische Ergebnisse zu vergleichen.

Diese Technologien finden ihren Einsatz vor allem bei Orthopädieschuhmachern, in der Orthopädietechnik (unter speziellen Fragestellungen der Prothetik), in der Sportmedizin oder der Biomechanik. Das Ergebnis einer Druckverteilungsmessung wird in Abbildung 9 dargestellt und beschrieben.



Abb. 9: Plantar Druck Emed

Bei einer "normalen" Belastungsverteilung im aufrechten Barfußstand gelten folgende Werte:

- Als Ideal gilt eine Gleichverteilung von je 50
 Prozent zwischen dem linken und rechten Fuß.
- Die Verteilung zwischen Rückfuß und Vorfuß sollte ca. 1/3 auf dem Vorfuß und 2/3 auf dem Rückfuß betragen.
- Die maximale Druckbelastung sollte weniger als 15N/cm² betragen, bei Diabetikern sollte der Druck 11N/cm² nicht übersteigen, um Fußbeschädigungen zu vermeiden [Zeb09].

2.4 Fotografie und Fototechnik

Der Wunsch des Menschen "Bilder nach der Natur" festzuhalten liegt schon viele hundert Jahre zurück. Den entscheidenden Grundstein dafür legte die Entdeckung des Phänomens der "Camera obscura". Diese wurde 1515 von Leonardo da Vinci ausführlich und wissenschaftlich genau beschrieben. "Licht, dass durch ein kleines Loch an der Wand in einen dunklen Raum fällt, projiziert auf die gegenüberliegende Wand das verkleinerte und Kopf stehende Bild der außerhalb des Raumes vorhandenen Objekte" [Eib05 Seite 14]. Begründet wird dieses Phänomen durch die geradlinige Ausbreitung des Lichtes. Auf der Erkenntnis, dass Licht bestimmte Materialien verändert, sodass man durch Ausbleichen und Schwärzen Abbildungen erzeugen kann, basierte die Erfindung der Fotografie. Im Jahre 1800 gab es noch nicht die Möglichkeit erzeugte Bilder dauerhaft haltbar zu machen, aber seit dieser Zeit nahm die Entwicklung "Festhalten von Bildern" und der Kamera selbst einen rasanten Lauf. 1839 entstanden die ersten Fotokameras - die so genannten Daguerreotypie-Apparate. Es folgten Spiegelreflexkameras bis hin zur heutigen digitalen Fototechnik. Die aktuellen Systemkameras ob digital oder analog bestehen aus einer komplexen Anzahl von Teilen, die gemeinsam eine Vielzahl von Funktionen ermöglichen. Sie können auf verschiedene Weise aufgeteilt werden. Die nachfolgenden Kameratypen werden sich an den zunehmenden Aufnahmeformaten des verwendeten Filmmaterials bzw. an der Sensorgröße orientieren.

Man unterscheidet:

- APS-Kameras,
- Kleinbildsucherkameras,
- Systemsucherkameras,
- Digitale Kompaktkameras mit Zoom,
- Digitale Spiegelreflexkameras,
- Kleinbildkameras für Spezialaufgaben,
- Kleinbildstereokameras,
- Kleinbildspiegelreflexkameras,
- Mittelformatkameras,
- Mittelformatkameras mit Spezialaufgaben
- Großformatkameras [Eib05].



Abb. 10: Weg des Lichts [JHe05]

Um die technische Seite der Fotografie besser zu verstehen. wird die Funktionsweise nun einer Spiegelreflexkamera kurz erklärt. Das Grundprinzip der Kamera besteht aus einem lichtdichten Gehäuse mit einem Loch an einer Seite, vor dem sich ein Objektiv Haltevorrichtung befindet und einer für einen lichtempfindlichen Film auf der gegenüberliegenden Seite. Für korrekt belichtete Aufnahmen bei unterschiedlichen Lichtverhältnissen besitzt das Objektiv eine Irisblende, welche sich auf verschiedene Öffnungsgrößen einstellen lässt. Die Verschlusszeit ist die zweite Möglichkeit, die auf den Film gelangende Lichtmenge zu steuern. Dies geschieht entweder über Zentralverschluss einen im Inneren des fest eingebauten Objektives, der sich im Moment der Aufnahme öffnet, oder über einen Schlitzverschluss im Gehäuse, unmittelbar der Filmebene vor bzw. Sensorebene. Eine weitere Einrichtung bei allen Kameras ist der Sucher, mit dem man das Motiv

anvisiert und den Bildausschnitt festlegt. Der Weg des Lichts (siehe Abbildung 10), welches vom Gegenstand reflektiert wird, fällt durch das Objektiv. Dieses besteht aus mehreren geschliffenen Glaslinsen und sammelt die von jedem Gegenstandspunkt ausgehenden Lichtstrahlen in der Weise, dass sie auf dem Film wiederum einen scharfen Punkt erzeugen. Bei richtiger Scharfeinstellung des Objektivs entsteht ein auf dem Kopf stehendes Abbild des Motivs auf der Brennebene. Um unterschiedlich weit entfernte Objekte scharf abzubilden, muss das Objektiv in der optischen Achse verschoben werden. Es gilt: Je näher das Objekt, umso weiter muss das Objektiv von der Filmebene entfernt sein. Die Blendenöffnung lässt sich durch Drehen des Blendenrings verstellen. Eine Blendenstufe bedeutet jeweils eine Halbierung bzw. Verdoppelung der auf den Film gelangenden Lichtmenge. Von der Blendenöffnung hängt auch die Schärfentiefe ab. Sie bestimmt den Schärfenbereich vor und hinter der Brennweite und hat großen Einfluss auf die Bildwirkung. Der Verschluss lässt sich auf verschiedene Belichtungszeiten einstellen. Eine Stufe bedeutet auch hier jeweils eine Halbierung bzw. Verdoppelung der Belichtung.



Dadurch wird die Helligkeit der Aufnahme bestimmt. Ins Objektiv eingebaute Zentralverschlüsse haben Lamellen, die sich beim Druck auf den Auslöser öffnen; Schlitzverschlüsse laufen unmittelbar vor der Filmebene ab. Bei einer Spiegelreflexkamera (SLR = Single-Lens

Reflex) wird das Licht über einen Spiegel und Dachkantprisma in den Sucher gelenkt, sodass man den gewünschten Bildausschnitt anvisieren kann. In Abbildung 11 wird der Weg des Lichts in der Kamera gezeigt. Es fällt in das Objektiv durch die Blende (rot), durch den Verschluss (grün) auf den Film bzw. Sensor (blau) [JHe05].

2.5 Licht und Farbe

2.5.1 Licht

Licht wird grundsätzlich als elementare Erscheinung wahrgenommen, welches im Normalfall kaum differenziert wird. Es setzt sich aus einer Anzahl elektromagnetischer Schwingungen verschiedener Wellenlängen zusammen. Das gesamte, von der Sonne ausgesandte, Spektrum elektromagnetischer Strahlung beginnt bei der kurzwelligen und energiereichen Gammastrahlung und endet bei den langwelligen Radiowellen. Zwischen der Ultraviolettstrahlung (UV) und der Infrarotstrahlung (IR) liegt das sichtbare Spektrum (VIS-Bereich), das vom menschlichen Auge wahrgenommen werden kann. Dieses sichtbare Spektrum, das nur einen verschwindend kleinen Teil aus dem gesamten Lichtspektrum darstellt, erstreckt sich über den Wellenlängenbereich von 380 bis 780nm. Es beginnt mit Violett und erstreckt sich über Blau, Cyan, Grün, Gelb bis hin zu Rot.



Abb. 12: Lichtspektrum [Che07]

Ein normales, mittleres Tageslicht ist ein Gemisch bzw. eine Synthese aus allen Wellenlängenbereichen (Frequenzen) des sichtbaren Spektrums, die in ihrer Summe und bei gleicher Intensität (Amplitude) weißes Licht ergeben.

Die Erzeugung von Licht geschieht auf unterschiedliche Weise. Bei Lichtquellen wird unterschieden in so genannte Selbstleuchter oder Primärstrahler, wie die Sonne, eine Glühlampe oder Leuchtstoffröhre und in Nicht-Selbstleuchter bzw. Sekundärstrahler. Zu den Letzteren zählen alle Objekte, die erst dann sichtbar werden, wenn sie von einer Lichtquelle bestrahlt werden und das auftreffende Licht remittieren oder transmittieren und keine eigene Strahlungsemission aufweisen (z.B. der Mond). Je nach Verwendungszweck kann Licht, welches sich auch in der spektralen Strahlungsverteilung S (λ) bzw. Strahlungsemission unterscheiden kann, mehr oder weniger gut geeignet sein.

Lichtquellen mit kontinuierlichem, lückenlosen Spektrum und energiegleicher Strahlungsverteilung erzeugen weißes, dem mittleren Tageslicht von etwa 5000 K (Kelvin) entsprechendes Licht. Ein diskontinuierliches, lückenhaftes Spektrum emittieren Lichtquellen mit einem so genannten Linienspektrum. Jede Spektrallinie hat eine wellenlängenentsprechende Farbe. Fehlende Teile des Spektrums in der Vorlagenbeleuchtung, führen zu einer verschwärzten Wiedergabe der Vorlage. Dadurch entstehen partielle Farbverschiebungen. Der Farbton einer Körperfarbe erscheint nur, wenn er auch in der Lichtquelle bzw. im Licht vorhanden ist, das auf diese Oberfläche fällt. Bei ungleichmäßiger Strahlungsverteilung erzeugen Lichtquellen beispielsweise gelbliches (Glühlampe), rötliches (Kerze) oder bläuliches Licht, weil sie in bestimmten Wellenlängenbereichen höhere Anteile aufweisen als in den übrigen Bereichen.

Ein wesentliches Kennzeichen aller Lichtquellen ihre ist spektrale Strahlungsverteilung S, die durch Angabe einer Farbtemperatur beschrieben wird. Die Temperaturangabe erfolgt dabei in der "absoluten Temperaturskala" von Kelvin. Hier liegt der "absolute Nullpunkt" von null Kelvin im Vergleich zur gewohnten Celsius-Skala bei -273℃. Die Farbtemperatur einer Lichtquelle bezieht sich auf die Färbung eines Referenzfarbkörpers, dem so genannten "Schwarzen oder Planck'schen Strahler" bei einer bestimmten Temperatur. Dieser Strahler ist ein idealisierter Hohlkörper, der alles Licht, das auf ihn fällt, vollständig absorbiert. Bei Erhitzung dieses Strahlers durchläuft er mit zunehmender Temperatur eine Farbskala die von dunkelrot, rot, orange, gelb über weiß bis hin zu hellblau reicht. Der diesen verschiedenen Färbungen entsprechende Kurvenzug mit den Farborten im XYZ-Farbraum wird als "Plank'scher Kurvenzug" bezeichnet.

1800K	4000K	5500K	8000K	12000K	16000K
	A	bb. 13: Farbtempe	ratur [Poe07]		

Aus der Grafik (Abbildung 13) wird ersichtlich, dass das Licht bei höheren Temperaturen zunehmend bläulicher und bei tieferen Temperaturen zunehmend rötlicher wird. In der Mitte zwischen 5000 K und 6000 K wird es weißlich. Mittlerweile dürfte deutlich geworden sein, dass es sehr unterschiedliches Licht gibt. Das verursacht gewisse Probleme, denn gleiche Farben können je nach herrschendem Umgebungslicht unterschiedlich aussehen. Für lichttechnische und farbmetrische Messungen muss das verwendete Licht eindeutig definiert werden.

Die Commission International de l'Évlairage (CIE), hat bereits 1931 so genannte Normlichtarten festgelegt, die bis heute in zahlreichen Normen und Empfehlungen als Grundlage dienen.

Nach CIE-Norm werden folgende Lichtquellen unterschieden:

- Typ A entspricht etwa einer gängigen Glühlampe mit 2800 3000 K.
- Typ D50 entspricht einem mittleren Tageslicht (weißes Licht) ohne UV-Anteil bei 5000 K.
- Typ D65 entspricht einem mittleren Tageslicht mit UV-Anteil bei 6500 K.
- Typ E ist eine theoretische Lichtquelle, deren Intensität bei allen Wellenlängen gleich hoch ist.
- -Typ F mit 12 Unterarten gilt für bestimmte fluoreszierende Lichtquellen.

Alle diese normierten Lichtquellen sind rein theoretische Konstrukte, die aber von Geräten in der grafischen Industrie annäherungsweise gut nachgebildet werden können.

Auch die Farbwiedergabe-Eigenschaften einer Lichtquelle, die in Stufen des "allgemeinen Farbwiedergabeindexes" R_a ausgedrückt wird, sollte eine möglichst korrekte Farbwahrnehmung (wie bei natürlichem Tageslicht) ermöglichen. Der Farbwiedergabeindex (CRI) bezeichnet das Maß der Übereinstimmung einer Körperfarbe mit ihrem Aussehen unter der jeweiligen Bezugslichtquelle. Im Vergleich zur betrachteten Lichtquelle werden die Farbverschiebungen von 8 (bzw. 14) in DIN 6169 genormten Testfarben bestimmt, die sich ergeben, wenn die Testfarben mit der zu prüfenden Lichtquelle und mit der Bezugsquelle beleuchtet werden. Je geringer die Abweichung ist, desto besser ist die Farbwiedergabe-Eigenschaft der geprüften Lampe. Eine Lichtquelle mit $R_a = 100$ zeigt alle Farben optimal. Je niedriger der R_a -Wert, umso weniger gut werden die Farben wiedergegeben.

Die Anforderungen an künstlichen Beleuchtungen überwacht die DIN 5035 [HWe06].

2.5.2 Farbe

Bei Zerlegung des Sonnenlichts mit Hilfe eines Prismas kann man ein farbiges Spektrum beobachten. Man spricht auch von einer optischen Dispersion. Auch ein Regenbogen zeigt die einzelnen Spektralfarben infolge Brechung und Spiegelung (Totalreflexion) des Lichtes an den Wassertropfen. Gut erkennbar sind in diesem Spektralband drei dominante Hauptspektralbereiche: Blau (400 - 500 nm), Grün (500 – 600 nm) und Rot (600 – 700 nm). Diese Spektralhauptfarben werden auch als



Abb. 14: Grundfarben [Ste09]

Primäroder Grundfarben, kurz "RGB" bezeichnet (siehe Abbildung 15). Durch Überlagerung der Lichtenergien von Rot, Grün und Blau bei voller Intensität resultiert weißes Licht (Synthese). Aus diesem Grund nennt man auch Grundfarben der Additiven sie Farbmischung. Alle Farbnuancen des Spektrums, die vom menschlichen Auge wahrnehmbar sind, lassen sich mithilfe von rotem, grünem und blauem Licht nachbilden. Dies geschieht durch einfache Addition der

Lichtenergien von zwei oder drei Grundfarben in unterschiedlicher Kombination und Intensität sowie verschiedenen Anteilen.

Das Prinzip der Additiven Farbmischung lässt sich leicht anhand von drei Scheinwerfern erklären. Ein Scheinwerfer emittiert rotes Licht mit Wellenlängen von 600 – 700 nm, der zweite grünes Licht mit Wellenlängen von 500 – 600 nm und der dritte blaues Licht von 400 – 500 nm (siehe Abbildung 14). Durch Überlagerung der Lichtkegel und somit Addition verschiedenfarbigen Lichtes ergeben sich neue Farben.

Bei voller Intensität entsteht weiß, reduziert man die



Abb. 15: Additive Farbmischung [Ste09]

Intensität der drei Scheinwerfer gleichmäßig um die Hälfte, entsteht ein mittleres Grau und wird sie noch weiter reduziert, gibt es schließlich schwarz, weil kein Licht mehr vorhanden ist. Werden jeweils nur zwei Primärfarben zu gleichen Teilen addiert, ergeben sich die so genannten Sekundärfarben Blaugrün (Cyan), Purpur (Magenta) und Gelb. Sie werden auch als Grundfarben der Subtraktiven Farbmischung C M Y bezeichnet. Anders als bei der Additiven Farbmischung, wo Lichtenergie zu Lichtenergie addiert wird, basiert die Subtraktive Farbmischung auf Wegnahme von Lichtenergie, das heißt auf Absorption gewisser Spektralanteile des weißen Lichtes an Oberflächen. Sowohl die molekulare Oberflächenbeschaffenheit als auch die Reflexions-, Transmissions- oder Absorptionseigenschaften von Pigment- oder Farbstoffschichten sowie die Art der vorhandenen Strahlung haben Einfluss auf die farbliche Erscheinung eines nicht selbst leuchtenden Körpers. Ein Gegenstand erscheint weiß, wenn er mit weißem Licht bestrahlt wird und aufgrund seiner Oberflächenbeschaffenheit das gesamte sichtbare Spektrum von etwa 380 -780 nm reflektiert. Erscheint uns eine Körperfarbe als Gelb, werden die blauen Spektralanteile von der Oberfläche absorbiert, während die grünen und roten Wellenlängen zurückgeworfen werden. Gleichzeitig erfolgt wiederum eine Additive Farbmischung der roten und grünen Wellenlängen im Auge, und es entsteht eine Gelb-Empfindung. In einfachen Farbkreisen lässt sich eine Farbe durch ihren Buntton definieren, das heißt durch alle möglichen Mischungsverhältnisse, die auf zwei Grundfarben basieren. Für eine präzisere Beschreibung oder Charakterisierung einer



Abb. 16: Farbdreieck [HWe06]

Farbe kommen noch zwei weitere Komponenten dazu. Jede Farbe zeichnet sich durch drei Merkmale aus: Einerseits durch ihren Buntton – oft auch als Farbton bezeichnet -, durch ihre Buntheit bzw. Sättigung und schließlich noch durch ihre Helligkeit. Der Begriff Buntton beschreibt die grundsätzliche Farbe eines Objekts, also die spektralen Wellenlängen, die von einer Oberfläche reflektiert werden. Man spricht

von roten Tomaten oder einer gelben Zitrone und meint damit ein grundsätzliches Unterscheidungsmerkmal. Im Farbdreieck liegen die reinen Bunttöne auf den geraden Verbindungsachsen (siehe Abbildung 16). Die Buntheit oder Sättigung einer Farbe bezieht sich auf die spektrale Reinheit einer Farbe. Wenn beispielsweise zu einem reinen Gelb (gemischt aus rotem und grünem Licht) noch etwas blaues Licht hinzugefügt wird, entsteht als Folge davon ein Gelb von geringerer Reinheit bzw.

2 Theorie

Sättigung. Eine Farbe mit geringerer Sättigung oder Buntheit, eine so genannte Tertiärfarbe, hat aber nach wie vor ihren ursprünglichen Buntton, da ihr grundsätzliches Mischungsverhältnis unverändert bleibt. Sie bewegt sich aber in Richtung ihrer Komplementärfarbe und somit in Richtung Unbuntpunkt, wodurch sie zunehmend ungesättigter wird, bis sie schließlich eine Buntheit von Null aufweist. Dies tritt ein, wenn alle drei Komponenten gleiche Anteile aufweisen. Mit Helligkeit beschreibt man, wie hell oder dunkel eine Farbe ist. Sie beschreibt, bei der additiven Farbmischung, das Maß für die Stärke der gesamten Lichtenergie bzw. der Lichtreflexion einer Körperfarbe bei der subtraktiven Mischung. Im zweidimensionalen Farbdreieck lässt sich sowohl der Buntton als auch die Buntheit einer Farbe beschreiben, jedoch über die Helligkeit einer Farbe – die beliebig sein kann – kann keine Aussage gemacht werden, da sie eine vom Buntton unabhängige Größe ist. Aus diesem Grund ist es notwendig, aus dem zweidimensionalen Farbartendreieck eine dreidimensionale, räumliche Darstellung zu machen (siehe Abbildung 17). Reduziert man alle Komponenten einer Farbe gleichzeitig unter

Beibehaltung ihrer Mischverhältnisse, so bleibt der Buntton unverändert, doch die Farbe ändert ihre Helligkeit. Ein Farbort im Farbraum wird durch Angabe der drei Farbvektoren von Rot, Grün und Blau definiert, das heißt durch ihre Farbwerte und somit ihre Anteile. So ein Farbmodell, das einem Farbmodus zugrunde liegt (RGB, CMY/CMYK, Lab) beschreibt eine Farbe durch numerische Koordinaten. Für die räumliche, dreidimensionale Darstellung Farbmischung ist der Additiven der



Abb. 17: Farbwürfel [HWe06]

Farbwürfel (das RGB-Modell) gut geeignet. Das Koordinatensystem besteht aus den drei Hauptachsen R, G, B und hat seinen Ursprung bei R=0, G=0, und B=0 und somit bei Schwarz (kein Licht). Von diesem Punkt heraus entwickeln sich die drei Primärfarben entlang der Hauptachsen bis zu ihrer vollen Sättigung bzw. ihrer maximalen Lichtintensität 1. Durch Addition zweier Primärfarben (bei voller Intensität) entstehen die Sekundärfarben, die Flächen zwischen ihren entsprechenden Achsen

aufspannen und sich in den gegenüberliegenden Ecken von Schwarz bilden. Die Flächen Rot-Grün, Grün-Blau und Blau-Rot formieren sich schließlich zum Würfel.

Die Diagonale im Würfel beginnt bei Schwarz (0;0;0) und endet in der gegenüberliegenden Ecke bei Weiß (1;1;1). Sie bildet die Grauachse im Farbmodell. Anstelle der Normwerte 0 und 1, die für 0% und 100% stehen, werden die Koordinaten häufig auch als Tonwertstufen einer 8-Bit-Skala von 0 bis 255 als positive Werte definiert, wobei die Skala grundsätzlich auch variieren kann [HWe06].

2.6 Optik

Optik beschreibt ganz allgemein die Lehre vom Licht, seiner Entstehung, seiner Ausbreitung und seiner Wahrnehmung. Zu der so genannten Wellenoptik gehören Polarisation, Beugungs- und Interferenzerscheinungen. Reflexion, Streuung und Brechung fallen unter den Begriff der geometrischen Optik, die sich mit der Wechselwirkung zwischen Licht und Objekten im Raum befasst.

Natürliches Licht breitet sich in Luft, Glas oder Wasser in der Regel geradlinig und büschelförmig nach allen Seiten zur Ausbreitungsrichtung (dreidimensional) aus. Die Amplituden dieser Wellen stehen dabei senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung. Durch Reflexion, Beugung, Streuung oder beim Durchgang durch einen Polarisator werden diese natürlichen Schwingungensebenen beeinflusst. Treten die Schwingungen nur noch in einer Ebene auf, so bezeichnet man das Licht als polarisiert. Dabei kommt es auf die Beeinflussung bzw. Veränderung an. Je nachdem entsteht dabei linear, elliptisch oder zirkular polarisiertes Licht.

Linear polarisiertes Licht:

Von linear polarisiertem Licht spricht man, wenn der Lichtstrahl nur noch in einer Ebene schwingt, so als hätte man alle Schwingungsebenen bis auf eine zurückgehalten.

Elliptisch polarisiertes Licht:

Elliptisch polarisiertes Licht besteht nur noch aus zwei zueinander senkrecht stehenden Teilwellen, deren Amplitude ungleich groß ist, bei gleichzeitiger Phasenverschiebung von einem Viertel Wellenlänge.

Zirkular polarisiertes Licht:

Das zirkular polarisierte Licht hat nur einen einzigen Unterschied zum elliptisch polarisierten Licht. Die Amplituden beim zirkular polarisierten Licht sind gleich groß. Bei beiden wird jedoch noch unterschieden in links oder rechts elliptisch/zirkular polarisiertes Licht, je nachdem ob die horizontale oder vertikale Lichtkomponente in der Phase vorauseilt oder hinterherhinkt.

Teilpolarisation:

Unter dem Begriff Teilpolarisation versteht man reflektiertes Licht. Diese unerwünschte Spiegelung kann gelöscht werden mithilfe zweier Linear-Polarisationsfilter, die um 90 Grad zueinander gedreht sind.

Beugung:

Treffen die elektromagnetischen Wellen einer Lichtquelle auf eine sehr schmale Öffnung oder eine scharfe Kante, so werden sie in Abweichung zu ihrer gewöhnlichen geradlinigen Ausbreitungsrichtung an den Kanten in alle Richtungen um die Ränder herumgebogen. Man spricht in diesem Fall von einer Beugung an einem Spalt oder einer Kante. Der Beugungseffekt ist umso stärker, je größer die Wellenlänge im Vergleich zur Breite des Hindernisses oder der Spaltöffnung ist.

Interferenz:

Bei dem Begriff Interferenz wird die physikalische Erscheinungsform von zwei oder mehreren sich überlagernden Wellen von gleicher Wellenlänge und gleicher Amplitude bezeichnet. Dabei kann es zu einer räumlich differenzierten Intensitätsverteilung des Lichtes kommen. Bei einer Überlagerung der Lichtwellen, was durch Beugung am Doppelspalt auftreten kann, kommt es entweder zu einer Verstärkung des Lichtes (Interferenzmaximum) oder zu einer Verdunkelung (Interferenzminimum). Sind die Wellen phasengleich tritt eine Verstärkung auf, die gleichzeitig ein Bilden von so genannten Interferenzstreifen oder Interferenzlinien hervorruft. Eine Verdunkelung entsteht durch eine Verschiebung der Lichtwellen um eine halbe Wellenlänge (Lambdahalbe Effekt). Dabei löschen sie sich gegenseitig aus und bei Lichtwellen aus derselben Lichtquelle entsteht Dunkelheit.

Reflexion:

Trifft Licht auf eine Körperoberfläche, so wird ein Teil des auffallenden Lichtes reflektiert, das heißt zurückgeworfen, während ein anderer Teil von der Oberfläche absorbiert oder transmittiert wird. Man spricht hierbei von Reflexion, wobei das nur den zurückgeworfenen Lichtanteil betrifft, der dabei polarisiert wird. Es wird nach zwei Arten unterschieden. Der regulären Reflexion und der diffusen Reflexion. Licht, das beispielsweise auf einen Spiegel oder eine andere glatte Oberfläche trifft, wird gerichtet, also regulär, reflektiert. Trifft Licht hingegen auf eine raue Oberfläche, wie

zum Beispiel auf Papier, Holz oder Stoff, wird das Licht in verschiedene Richtungen zurückgeworfen. In diesem Fall spricht man von einer diffusen Reflexion oder einer Remission. Die Totalreflexion beschreibt die vollständige Reflexion von Lichtwellen an der Grenzfläche beim Übergang von einem optisch dichteren Medium (z.B. Wasser oder Glas) in ein optisch dünneres Medium (z.B. Luft).

Streuung:

Von gestreutem Licht spricht man, wenn es seine geradlinige Ausbreitungsrichtung durch Ablenkung - infolge der inneren Struktur eines Mediums - ändert. Je kürzer die Wellenlänge, desto größer wird die Wahrscheinlichkeit einer Streuung. Sie kann auch dazu führen, dass natürliches Licht polarisiert wird, wobei die Polarisation in Streurichtung, die senkrecht zum Lichtstrahl steht, erfolgt. Beim Auftreffen von Licht auf die Grenzfläche von zwei verschieden lichtdurchlässigen Stoffen, wie beispielsweise Luft auf Glas oder Luft auf Wasser, wird ein Teil des Lichts reflektiert, der andere Teil geht in den zweiten Stoff über und ändert dabei seine Ausbreitungsrichtung. Es entsteht eine Brechung des Lichts (Refraktion), was zu einer Verschiebung oder Versetzung eines Objektes im Auge des Betrachters führt [HWe06].

2.7 Menschliche Farbwahrnehmung

Die menschliche Farbwahrnehmung ist eine Sinneswahrnehmung, die ähnlich wie das Wahrnehmen von Kälte oder Wärme, von Freude oder Trauer, von einem Geruch oder einem Geschmack ist. Farbe ist keine physikalische Größe wie etwa das Gewicht oder die Masse. Jeder Gegenstand bzw. Körper im Raum hat eine farbliche Erscheinung, wodurch er als solcher erst wahrgenommen wird. Farbe ist eine lebensnotwendige Informations- und Orientierungsquelle, die über Größe und Form eines Gegenstandes, über die Oberflächenbeschaffenheit und die räumliche Distanz dazu informiert. Damit Farbe überhaupt wahrnehmbar ist, wird Licht benötigt. Momentan herrschende Lichtverhältnisse nehmen ebenso Einfluss auf die Wahrnehmung und das Empfinden von Farbe, wie der körperliche Zustand des Betrachters oder das Vorhandensein einer Farbfehlsichtigkeit (Anopie). Die Farbvalenzmetrik unterteilt den menschlichen Sehvorgang in drei verschiedene Stufen.

Erste Stufe: Farbreiz (Physik)

Der sogenannte Primär- oder Farbreiz betitelt das Auftreffen von elektromagnettischen Wellen oder Schwingungen, die von einer Lichtquelle emittiert werden, auf unser Auge. Bei der Lichtquelle kann es sich um natürliches Licht, andere direkte Quellen oder indirekte Strahlung über ein remittierendes Material handeln. Diese Stufe des Sehvorgangs wird auch als objektive oder physikalische Welt bezeichnet.

Zweite Stufe: Farbvalenz (Auge)

Die auf das Auge auftreffenden elektromagnetischen Wellen erzeugen einen Reiz im hinteren Teil des Augapfels. Dort befindet sich die lichtempfindliche Netzhaut (Retina), die mit Millionen von Nervenzellen besetzt ist. Der Reiz löst einen elektrochemischen Nervenimpuls aus, welcher die Information über den Sehnerv an das Sehzentrum im Gehirn weiterleitet. Da sowohl der Reiz wie auch der ausgelöste Nervenimpuls bei jedem Menschen grundsätzlich anders ablaufen können, wird die zweite Stufe des Sehvorgangs als physiologische oder subjektive Welt bezeichnet. Dritte Stufe: Farbempfindung (Großhirn)

Erst der im Sehzentrum des Gehirns eingetroffene Nervenimpuls der Zapfen und Stäbchen erzeugt das Farbempfinden. Dort wird die Empfindung in der Schaltzentrale des Gehirns mit bereits gespeicherten Langzeitgedächtnisinhalten (mit bereits Bekanntem) verknüpft und ausgewertet. Das Farbempfinden ist ein Grundphänomen, das von Mensch zu Mensch sehr unterschiedlich sein kann. Folglich ist auch diese Stufe der Farbempfindung ein Teil der subjektiven Welt.

Das Zustandekommen von Farbe ist mit diesen drei Stufen sehr vereinfacht beschrieben. Um das Thema der menschlichen Farbwahrnehmung vollständig zu verstehen, müsste man die Zusammenhänge und Wechselwirkungen zwischen Licht, Farbprobe (Körperfarbe) und den biologischen Gegebenheiten des menschlichen Auges noch etwas eingehender beschreiben. Lichtarten, Lichtfarben, Körperfarben, Farbmischungsgesetze, Eigenschaften von Oberflächen, Papiersorten und vieles mehr sind Komponenten des ganzen Farbwahrnehmungsprozesses. Ändert sich eine dieser Komponenten, ändert sich auch das ganze Ergebnis der Farbempfindung [HWe06].

3 Material und Methode

3.1 Einführung

In diesem Kapitel werden die verwendeten Materialien und angewandten Methoden beschrieben. Zu den verwendeten Materialien zählen Messbox, Glasscheibe, Beleuchtung, Fotoausrüstung, Druckmessplatte, Programme, Waage und Kalibrierblatt. Ausführlich werden ihre Eigenschaften, technischen Daten und ihre Integrierung in den Messaufbau erklärt. Außerdem findet man in diesem Kapitel eine Auflistung und Beschreibung von Daten der Probanden, sowie ein detaillierter Messablauf. Anschließend werden unter Methoden solche Punkte wie Kalibrierung, Bildbearbeitung und Ausmessung beschrieben. Dort wird explizit auf die einzelnen Schritte in den verwendeten Programmen eingegangen, sodass jeder Schritt nachvollzogen werden kann.

3.2 Messbox

Zum Inventar des Orthopädie- und Biomechanik Labors gehört eine Fußscannerbox, die für eine Studienarbeit von Volker Nissels angefertigt wurde. Ausgerüstet war sie mit einem Schienensystem, einem Spiegel und einer Streifenlichttopometrie-Anlage, um Füße dreidimensional aufzunehmen. Eine etwa 40 x 40 Zentimeter große Aussparung auf der Oberseite dient der Positionierung einer Glasplatte. Für diese Diplomarbeit wurde die komplette Streifenlichttopometrie-Anlage ausgebaut und

durch zwei Lichtquellen und eine Spiegelreflexkamera ersetzt. Zudem wurde der Innenraum mit schwarzem Stoff verkleidet, um Reflexionen und Streulicht zu vermeiden. In der abgebildeten 2D-Zeichnung (Abbildung 19) ist der Grundriss der Kiste, das eingebaute Schienensystem, sowie die Lage und Position des Spiegels skizziert. Auch die Positionen der Lichtquellen und Kamera werden verdeutlicht.

Abbildung 18 und 20 zeigen den offenen Messaufbau mit eingebauter Kamera, Lichtquellen, Spiegel und Glasscheibe.



Abb. 20: Kamera & Lichtquellen



Abb. 19: Skizze Messbox



Abb. 18: Messbox

3.2.1 Glasscheibe

Die im Messaufbau verwendete Glasscheibe ist ein Einscheiben-Sicherheitsglas (ESG). Sie bietet eine hohe Biege-, Schlag- und Stoßfestigkeit die benötigt wird, um eine Begehbarkeit zu gewährleisten. Im Bruchfall zerfällt sie in kleine, lose zusammenhängende Bruchstücke und weist dadurch eine geringe Verletzungsgefahr auf [Bun10]. Die verwendete ESG-Optiwhite Scheibe ist ein Floatglas mit geringem Eisenoxidanteil (unter 0,03%). Dadurch ist das Glas praktisch farbneutral und weist den gewohnten Grünstich eines normalen Floatglases, der besonders bei dickeren Scheiben bemerkbar ist, nicht auf. Durch die Farbneutralität sollen die tatsächlichen Farben deutlicher wiedergegeben werden. Außerdem ist die Lichttransmission bei einer 19 mm ESG-Optiwhite Scheibe 8% höher als bei üblichen Floatglas. Dadurch wird gewährleistet, dass mehr sichtbare Strahlung durch das Material dringt.

In nachfolgender Tabelle sind licht- und energietechnische Werte der im Messaufbau verwendeten Scheibe (ROT markiert) aufgeführt.

	Licht		Energie				
	Trans- mission	Reflexion	Trans- mission	Reflexion	Absorption	Gesamt- energiedurch- lässigkeit	U _g -Wert
	in %	in %	in %	in %	in %	in %	W/m²K
2 mm	91	8	91	8	1	91	5,9
3 mm	91	8	90	8	2	91	5,8
4 mm	91	8	90	8	2	91	5,8
5 mm	91	8	89	8	3	90	5,7
6 mm	91	8	89	8	3	90	5,7
8 mm	91	8	88	8	4	89	5,7
10 mm	90	8	87	8	5	88	5,6
12 mm	90	8	86	8	6	88	5,5
15 mm	89	8	85	8	7	87	5,5
19 mm	89	8	84	8	8	86	5,3

Tabelle 1: Licht- und energietechnische Werte von Optiwhite nach DIN EN 410; Ug-Werte nach DIN EN 673 [Pil07]

Die Glasscheibe besitzt - bei einer Nenndicke von 10mm - eine Lichtdurchlässigkeit (Transmission) von 90 Prozent und eine Reflexion von 8 Prozent [Pil07].

3.2.2 Lichtquellen

Um Tageslicht ähnliche Voraussetzungen zu schaffen und somit die korrekte Farbwiedergabe so gut wie möglich zu gewährleisten, wurde für die Beleuchtung der Belichtungskoffer "Medalight PSLS 5000/224" verwendet. Dieser beinhaltet zwei "Mini Fluorescent Light Bank FL-24", die eine Farbtemperatur von 5000 Kelvin +/- 10 Prozent aufweisen. Dies ist ein sehr gutes Tageslichtspektrum mit einem Farbwiedergabeindex R_a (CRI) größer achtzig. Somit sorgten sie für eine reale Farbwiedergabe und gleich bleibende Lichtverhältnisse während den Aufnahmen [Med09].

Zudem wurden für Vergleichsmessungen die Tageslichtstrahler durch zwei verschiedene Glühlampen der Firma Osram ersetzt. Zum einen durch die Glühlampe





Abb. 21: Standardlampe Clas B CL 25 [Osr10] "Concentra Spot R50 40" und zum anderen durch die "Standardlampe Clas B CL 25".

Die "Concentra Spot R50 40" in Abbildung 22 spendet gebündeltes Licht zur akzentuierten Ausleuchtung von Räumen und Flächen. Sie ist Quecksilberfrei, hat eine Nennleistung von 40 Watt, einen Ausstrahlungswinkel

von 30 Grad und weist eine Lichtstärke von 430 Candela auf [Osr101].

Die "Standardlampe Clas B CL 25" in Abbildung 21 ist ebenfalls Quecksilberfrei und hat ein klares Glas. Ihre Nennleistung beläuft sich auf 25 Watt und der Lichtstrom auf 210 Lumen [Osr10].

Zum Farbwiedergabeindex wird vom Hersteller keine Angabe gemacht. Jedoch zeigt Abbildung 23 das Farbspektrum beider Glühbirnen. Man kann

400 500 600 700 nm Glühlampenlicht

Abb. 23: Farbspektrum Glühlampe [erhalten per Email von Osram]

deutlich erkennen, dass beide Birnen einen geringen Blauanteil aber einen starken Rotanteil besitzen. Dieser Rotanteil sorgt für warme Lichtverhältnisse im Raum.

3.3 Fotoausrüstung

3.3.1 Kamera

Die verwendete Kamera Nikon D80 ist eine digitale Spiegelreflexkamera. Sie ist geeignet für Wechselobjektive und verfügt über elf verschiedene Aufnahmearten. Folgende Einstellungen wurden für die Messungen verwendet:

Manuelle Scharfeinstellung:	Μ
Bildqualität:	NEF (RAW) + JPEG Normal
Bildgröße:	L 3872 x 2592 (10,0Megabite)
Aufnahmebetriebsart:	Einzelbild
ISO-Empfindlichkeit:	1600
Weißabgleich:	Farbtemp. Auswählen: 5000 Kelvin
Betriebsart:	P (Programmautomatik)

Die manuelle Scharfeinstellung wurde gewählt, um Veränderungen, die durch die automatische Scharfeinstellung eintreten würden, zu vermeiden. Somit war eine gleichbleibende Zoomeinstellung gewährleistet. Bildgröße und Bildqualität waren auf die größte Einstellung gestellt, damit man die maximale Auflösung erhielt. Die Aufnahmen wurden in zwei Formaten gespeichert. Das JPEG Normal diente der schnellen Vorschau, um die richtige Aufnahmequalität zu prüfen. Für die Bearbeitung der Bilder diente das NEF (RAW) Format, welches direkt vom Bildsensor in den Speicherort gelegt wurde, ohne Farbkorrekturen durchzuführen. Die ISO-Empfindlichkeit beschreibt die digitale Entsprechung zur Filmempfindlichkeit in der analogen Fotografie. Sie wurde auf das Maximum von 1600 eingestellt. Dadurch konnte mit wenig Licht ein zufrieden stellendes Belichtungsergebnis erzielt werden. Der Weißabgleich stellt sicher, dass Farben von der Lichtquelle nicht beeinträchtigt werden. Da die Farbtemperatur der verwendeten Lichtquellen bekannt war, konnte der Weißabgleich über die Farbtemperaturauswahl auf 5000 Kelvin eingestellt werden. Mit der Betriebsart "Programmautomatik" stellt die Kamera automatisch Belichtungszeit und Blende für eine optimale Belichtung ein. Dies wurde gewählt, da der Messaufbau an verschiedenen Orten stand und somit unterschiedlichen Umgebungsbeleuchtungen ausgesetzt war. Außerdem war die Kamera in der verschlossenen Messbox eingebaut und dadurch wurde eine schnelle manuelle Einstellungsänderungen unmöglich.

10,2 Megapixel		
100 – 1600		
3. sRGB (skin colour), Adobe RGB		
(material colour), sRGB (landscapes)		
Digital Vari-Program, P, S, A, M		
30s - 1/4.000s + Langzeitbelichtung		
USB 2.0 Hi Speed		
585 g		

3.3.2 Objektiv

Das verwendete Objektiv ist das AF-S DX NIKKOR 18-135 mm 1:3,5 - 5,6 G ED. Es ist ein leistungsstarkes Zoomobjektiv mit einem Brennweitenbereich von 18 bis 135mm. Im Messaufbau wurde das Zoom so eingestellt, dass die komplette Glasscheibe mit der Fußlänge abgebildet war und der Fuß scharf abgebildet wurde.

Technische Daten AF-S DX NIKKOR 18-135 mm 1:3	<u>3, 5-5,6 ED:</u>
Optischer Aufbau: Linsen / Glieder	15/13
Naheinstellgrenze:	0,45 m
Filterdurchmesser:	67 mm
Abmessungen: Durchmesser x Baulänge	Approx. 73,5 x 86,5 mm
Gewicht:	385 g
3.3.3 Polarisationsfilter

Verwendet wurde der Polarisationsfilter "Hoya PL-Cir" der Firma Hoya. Dieser beseitigte Spiegelungen, die durch Reflektionen an Oberflächen - wie beispielsweise an der Glasscheibe - entstanden und in die Kameralinse eindrangen. Außerdem ermöglichte er Farben gesättigter und klarer zu erscheinen, wodurch ein besserer Kontrast entstand. Gleichzeitig nahm er keine Einwirkung auf die allgemeine Farbbalance der Aufnahme [Hoy07].

3.4 Druckmessplatte Emed

Die Emed Fußdruckmessplatte der Firma Novel ist ein Pedographie System, welches zur exakten Messung und Analyse von plantaren Druckverteilungen benutzt wird. Das System besteht aus einer Plattform, die zur Rezeption der Drücke dient, einem Analyzer, der die Druckwerte auswertet und der dazugehörigen Software zur Anzeige der gewonnenen Daten. Es können der zeitliche Verlauf und die Verteilung von Reaktionskräften, wie sie beispielsweise während des Auftretens an der Fußfläche

entstehen, gemessen werden. Die kalibrierten kapazitiven Sensoren, die sich in einer Spalten und Reihen angeordneten Matrix befinden, nehmen Druckwerte ab einem Newton (etwa 100 Gramm) wahr. Dadurch kann eine exakte Analyse von Kraftverteilung oder Schwerpunktverlauf während der



Abb. 24: Druckmessplatte Emed [Nov10]

Bewegung oder im Stand gemacht werden. Das dazugehörige Programm stellt die Daten zwei- oder dreidimensional für die Auswertung zur Verfügung. Abbildung 24 zeigt die Abmessung der verwendeten Druckmessplatte [WBr10].

Technische Daten:	
Abmessungen:	582x340x20,5 mm
Sensorenfläche:	255x415x18 mm
Anzahl der Sensoren:	1760
Auflösung:	2 Sensoren/cm ²
Messfrequenz:	25/30 Hz, 50/60 Hz
Druckbereich:	10 – 950 kPa
Druckauflösung:	10 kPa
Genauigkeit:	+/- 7% ZAS
Hysterese:	< 3%
Temperaturbereich:	15 – 40 ℃
Mechanisches Übersprechen:	- 40 db
Kabellänge:	5 m

3.5 Programme

Zur Steuerung der Spiegelreflexkamera wurde die Software "Camera Control Pro 2" der Firma Nikon verwendet. Sie ermöglichte die Fernsteuerung von Einstellungen der digitalen Kamera. Dabei erfolgte die Verbindung mittels eines USB-Kabels. Somit wurden die direkte Bildübertragung sowie ein nahtloser Workflow, von der Aufnahme bis hin zur Bildspeicherung, gewährleistet.

Die Auswertung der Bilder erfolgte mit dem Bildbearbeitungsprogramm "Adobe Photoshop CS3 Extended" Version 10.0.1. Es umfasst einen großen Funktionsumfang was dem Anwender ermöglicht, Bilder unter Aufrechterhaltung hoher Qualität professionell zu bearbeiten.

Außerdem wurde für Berechnung und Tabellenerstellung "Microsoft Excel 2007" verwendet.

3.6 Personenwaage

Um das Gewicht der Probanden zu ermitteln, wurde die Personenwaage "KFW 7007" der Firma KORONA verwendet. Sie ist zulässig bis zu einer Tragkraft von 150 Kilogramm und hat eine Auflösung von 100 Gramm. Zudem ist sie in der Lage das Körperfett und den Wasseranteil im Körper zu bestimmen. Diese Funktionen wurden aber nicht in Anspruch genommen. Die Abweichung der Waage wurde durch Testmessungen eines exakten Gewichtes, über die gesamte Tragkraft, ermittelt (siehe Anhang Kapitel 8.3). Im Messbereich, zwischen 25 und 80 Kilogramm, beläuft sich die Abweichung auf +/- 300 Gramm. Darunter und darüber liegt sie bei +/- 1000 Gramm.

3.7 Kalibrierung

Das Kalibrierblatt ist ein selbst erstelltes Linienblatt. Es besteht aus abwechselnden schwarzen und weißen Linien, die eine Dicke von genau einem Zentimeter haben. Dieses wurde verwendet, um die Pixelgröße zu bestimmen und somit die Länge und Breite des Fußes digital ausmessen zu können. Dazu wurde das Kalibrierblatt dreimal (in verschiedenen Positionen) fotografiert und mithilfe des Programms "Adobe Photoshop CS3 Extended" und "Microsoft Excel" ausgewertet.

Die Auswertung begann mit dem Öffnen der RAW-Datei in Adobe Photoshop. Es öffnete sich ein Zwischenfenster, bei dem Voreinstellungen – wie Weißabgleich, Farbton, etc. – gemacht werden können. Hier wurde für den Weißabgleich eine Temperatur von 5000 eingestellt (siehe roter Pfeil in Abbildung 25), da dies der vorgegebene Temperaturwert der Lichtquellen war. Der Rote Rahmen in der Abbildung 25 zeigt die Einstellungen der Kamera und des Objektivs bei der Aufnahme des Bildes.



Abb. 25: Voreinstellungs-Zwischenfenster Adobe Photoshop

Über den Button "Bild öffnen" wurden die Anpassungen ausgeführt und das Bild in die Bearbeitungsebene geladen. Zu den nächsten Schritten gehörten Bild drehen, Ansicht auf tatsächliche Pixel einstellen und Linealwerkzeug auswählen. Anschließend wurde die Anzahl der Pixel der einzelnen Linien gemessen und



Abb. 26: Anwendung des Linealwerkzeug bei der Kalibrierungsmessung

protokolliert (siehe grüner Pfeil und Rahmen in Abbildung 26). In Tabelle 2 sind die gemessenen Werte für eines der ausgewerteten Bilder aufgelistet. Der Faktor F berechnete sich aus der Länge in Pixel dividiert durch die wahre Länge in mm. Daraus wurde der Mittelwert aller berechneten Faktoren gebildet und dieser für die Messung der Füße benutzt.

	Faktor Linienbild 1						
wahre Länge in [mm]	Länge in [Pixel]	Faktor F in [mm/Pixel]	Abweichung (F von MWF)	Abweichung in [mm]	Abweichung in [%]		
10	89	0,1124	0,00082	0,07	0,7		
20	180	0,1111	0,00207	0,37	1,9		
30	268	0,1119	0,00124	0,33	1,1		
40	354	0,1130	0,00019	0,07	0,2		
50	445	0,1124	0,00082	0,37	0,7		
60	531	0,1130	0,00019	0,10	0,2		
70	620	0,1129	0,00028	0,17	0,2		
80	708	0,1130	0,00019	0,13	0,2		
90	797	0,1129	0,00026	0,21	0,2		
100	883	0,1133	0,00007	0,06	0,1		
110	972	0,1132	0,00001	0,01	0,0		
120	1058	0,1134	0,00024	0,25	0,2		
130	1147	0,1133	0,00016	0,18	0,1		
140	1234	0,1135	0,00027	0,33	0,2		
150	1322	0,1135	0,00028	0,37	0,2		
160	1409	0,1136	0,00037	0,53	0,3		
170	1498	0,1135	0,00030	0,45	0,3		
180	1585	0,1136	0,00038	0,61	0,3		
190	1673	0,1136	0,00039	0,65	0,3		
200	1759	0,1137	0,00052	0,91	0,5		
210	1848	0,1136	0,00046	0,84	0,4		
220	1934	0,1138	0,00057	1,11	0,5		
230	2025	0,1136	0,00040	0,81	0,4		
240	2113	0,1136	0,00040	0,85	0,4		
250	2202	0,1135	0,00035	0,77	0,3		
260	2289	0,1136	0,00041	0,93	0,4		
270	2381	0,1134	0,00022	0,52	0,2		
280	2468	0,1135	0,00027	0,67	0,2		
Mittelwert I	Faktor (MWF):	0,1132					

Tabelle 2: Berechnung Kalibrierungsfaktor

Die berechneten Abweichungen zeigen einen durchschnittlichen Fehler auf, der kleiner als ein Millimeter ist.

3.8 Probanden (Datenblatt)

Das Probanden-Datenblatt hatte den Zweck, die wichtigsten Daten der Testpersonen festzuhalten, um die gemachten Fußbilder auseinander zu halten und zuordnen zu können. Durch eine Anamnese wurden die aufgelisteten Daten, sowie Diabetes, aktuelle Einlagenversorgung, bekannte Fußpathologien und Auffälligkeiten erhoben und protokolliert. Für die Auswahl der Probanden gab es keine Ausschluss- oder Voraussetzungskriterien. Insgesamt wurden 35 Personen vermessen. Dabei waren es 23 männliche- und 12 weibliche Probanden im Alter zwischen 5 und 70 Jahren. Von den 35 Personen waren 31 mit der Hautfarbe weiß, eine mit südländischem Teint und drei mit einem dunklen Hauttyp vertreten. Die Körpergrößen befanden sich im Bereich von 111 bis 192 Zentimeter und das Gewicht im Bereich von 19 bis 106 Kilogramm.

	Probanden-Datenblatt									
Proband	Geschlecht [m/w]	Alter [Jahre]	Körpergröße [cm]	Gewicht [kg]	Hautfarbe	*Fußtyp links / rechts	Diabetes [ja / nein]	Einlagen- versorgung [ja / nein]	Bekannte Fußpathologien	Auffällig- keiten
1	m	7	130	27,0	weiß	H/N	nein	nein	-	-
2	m	33	176	82,2	weiß	SP / SP	nein	nein	-	-
3	m	37	187	86,3	weiß	SP / SP	nein	nein	Halux OP rechts	-
4	w	5	111	19,0	weiß	SP / SP, P	nein	nein	-	-
5	m	39	180	70,0	weiß	SP / SP	nein	nein	-	leichter Halux links
6	m	31	169	86,9	südländisch	SP / SP	nein	nein	-	-
7	m	30	178	76,4	weiß	SP, K, S / SP	nein	nein	-	Warze rechts 5. MFK
8	m	46	186	91,7	weiß	SP / SP, K	nein	nein	Sprunggelenk OP links	-
9	m	33	179	68,7	weiß	SP / SP	nein	nein	Außenbandabriss links	-
10	m	42	186	88,0	weiß	SP, H / SP, H	nein	nein	-	-
11	m	46	178	83,8	weiß	SP, H / SP, H	nein	nein	-	Halux links
12	m	45	185	102,0	weiß	SP / SP, K	nein	nein	-	-
13	m	58	178	105,7	weiß	SP, K / SP	nein	nein	-	-
14	m	27	174	73,7	weiß	SP, K, H / SP, K, H	nein	nein	-	-
15	w	45	169	67,2	weiß	SP, K, H / SP, K, H	nein	nein	-	-
16	w	26	163	55,9	weiß	SP / SP, K, H	nein	nein	-	-
17	w	41	160	56,6	weiß	SP, H / SP, H	nein	nein	-	-
18	m	46	180	73,5	weiß	SP / SP	nein	nein	-	leichter Halux beidseitig
19	w	24	170	66,8	weiß	SP, K, H / SP, K, H	nein	nein	-	-
20	m	28	180	90,9	weiß	SP / SP	nein	nein	-	-
21	w	19	169	65,8	weiß	SP / SP	nein	nein	-	-
22	m	54	186	92,7	weiß	SP, K / SP, K	nein	nein	-	-
23	w	56	157	66,1	weiß	SP, H / SP	nein	ja	Halux OP rechts, Sprungelenk OP links	Halux beidseitig
24	w	69	168	70,7	weiß	SP / SP, K, H	nein	nein	Außenknöchel OP rechts	-
25	m	70	182	83,3	weiß	SP, H / SP	ja	nein	Achillessehnenabriss links	-
26	w	49	172	81,0	weiß	SP / SP, S	nein	nein	-	-
27	m	51	190	90,8	weiß	SP / SP, H	nein	nein	-	leichter Halux rechts
28	m	29	192	93,9	weiß	SP, K, H / SP, K, H	nein	nein	-	-
29	w	24	156	52,0	weiß	SP, K, H, S / SP, H	nein	nein	-	-
30	w	25	172	72,3	weiß	SP / SP	nein	nein	-	leichter Halux rechts
31	w	24	180	71,0	weiß	SP, K, H / SP, H	nein	ja	Halux OP links	-
32	m	26	187	88,3	weiß	SP, K, H, S / SP, K, H, S	nein	ja	Arthrose in Großzehe links	-
33	m	28	174	73,4	dunkel	SP, H / SP	nein	nein	-	-
34	m	17	176	71,9	dunkel	SP, S / SP	nein	nein	-	-
35	m	20	178	81,4	dunkel	SP, K / SP, K	nein	nein	-	-
	•		*Fußty	/p: N = No	rmalfuß, P =	Plattfuß, H = Hohlfuß, K	K = Knickful	ß, SP = Spre	eizfuß, S = Sichelfuß	

Tabelle 3: Probanden-Datenblatt

3.9 Messablauf

Der allgemeine Messprozess startete nachdem die Kalibrieraufnahmen gemacht und das Probanden-Datenblatt durch eine Anamnese ausgefüllt war. Das aktuelle Gewicht wurde durch Wiegen auf der Personenwaage festgestellt. Dabei mussten die Testpersonen schon ihre Schuhe und Socken ausgezogen haben. Als nächstes standen die Probanden auf der Emed-Druckmessplatte (siehe Abbildung 28) und es wurden drei Aufnahmen im ruhigen und bequemen Stand vom rechten und linken Fuß gemacht. Anschließend berechnete die Emed-Software automatisch den Mittelwert aller rechten und linken Aufnahmen und speicherte sie unter der laufenden Nummer mit Initialen ab. Den Abschluss der Vermessung gestaltete die Fotoaufnahme der Fußsohle mit der Messbox. Dazu standen die Probanden abwechselnd mit dem linken und rechten Fuß auf der Glasscheibe (siehe Abbildung 27). Vor dem Auslösen der Fotoaufnahme wurde der jeweilige Fuß auf der Glasscheibe noch mit einem schwarzen Stofftuch abgedeckt, um störendes Licht in der Aufnahme zu vermeiden. Die Speicherung der Bilder fand automatisch - im zugehörigen Probandenordner - statt.

Um die Wiederholbarkeit dieses Messverfahrens zu kontrollieren, wurde ein Proband an fünf unterschiedlichen Tagen vermessen. Dabei fand der Messablauf jedes Mal wie beschrieben statt. Ebenso lief die Vergleichsmessung mit anderen Lichtquellen ab.



Abb. 27: Proband auf Messbox



Abb. 28: Proband auf Emed-Druckmessplatte

3.10 Bildbearbeitung

Das Bildbearbeitungsprogramm "Adobe Photoshop CS3 Extended" wurde für die Auswertung der Bilder verwendet. Mithilfe dieses Programmes konnten Voreinstellungen vorgenommen, Füße "freigeschnitten", ausgemessen und Filter erstellt werden. Die einzelnen Schritte werden folgend erklärt.

3.10.1 Voreinstellung

Die Voreinstellungen der aufgenommenen Bilder sind bei allen gleich. Man öffnet die gewünschte RAW-Datei und stellt, wie im Abschnitt "Kalibrierung" beschrieben (siehe Kapitel 3.7), die gleichen Einstellungswerte für die Fußbilder ein. Anschließend wird das Bild in die Bearbeitungsebene geladen.

3.10.2 Freischneidung

Freischneidung des Fußes bedeutet, dass nur noch der Fuß das Bild darstellt und der Rest farbleer ist. Dieses Verfahren kann auf verschiedene Weise durchgeführt werden. Hier wurde die Freischneidung über eine Tonwertkorrektur und Vektormasken vorgenommen. Nachdem das Bild in die Bearbeitungsebene geladen wurde, wurde als erstes der Hintergrund entsperrt. Dies passierte durch Doppelklick auf das kleine Bild im Ebenenfenster (siehe Abbildung 30). Falls nötig wird das Bild im nächsten Schritt gedreht, sodass der Fuß senkrecht mit den Zehen nach oben auf

dem Bildschirm abgebildet ist. Dies funktioniert über den Programmreiter "Bild" -"Arbeitsfläche drehen" und die entsprechende Als nächstes wird die Richtung. Hintergrundebene, die nach dem Entsperren "Ebene 0" heißt, zwei Mal (über den Shortcut "STRG+J") kopiert. Danach folgt die Einstellung der Tonwertkorrektur. (Diese wird über "STRG+L" aufgerufen.) Die Werte der

Kanal: RGE			C OK
	lizung:		Abbrechen
			Laden
40	1,00	60	<u>A</u> uto Optionen
		1	***
Ton <u>w</u> ertum	ang:		

Abb. 29: Einstellung Tonwertkorrektur

Tonwertspreizung werden auf 40; 1,00; 60 korrigiert (siehe roter Kasten in Abbildung 29) und mit dem "OK-Button" bestätigt.



Abb. 30: Freischneidung des Fußes

Als nächster Schritt geht man von dem Ebenenfenster in das Kanälefenster (siehe Abbildung 30). Hier wird der Kanal Rot angewählt und durch Drücken der rechten Maustaste und "Kanal duplizieren" kopiert. Anschließend wird die entstandene Kopie angewählt und über den Programmreiter "Auswahl" – "Auswahl laden" automatisch markiert. Nun wechselt man wieder zurück in das Ebenenfenster. Man wählt jetzt die "Ebene 0 Kopie" an und drückt den Button "Ebenenmaske hinzufügen". Es entsteht ein zweites Fenster in der Zeile der angewählten Ebene. Als letzter Schritt wird die Ebene mit der veränderten Tonwertkorrektur gelöscht (rechter Mausklick – "Ebene löschen") und die Ansicht der "Ebene 0" ausgeschaltet. Somit ist der Fuß freigeschnitten.

3.10.3 Erstellung der Fehlfarben

Die Erstellung der Fehlfarben, also das Sichtbarmachen des Druckes wird durch anpassen von Farbton und Sättigung erzeugt. Da die entstehenden Farben keine Druckwerte beschreiben, sondern nur durch Farbänderungen entstehen, werden sie "Fehlfarben" genannt. Mit dem verwendeten Befehl "Farbton/Sättigung" kann der Farbton, die Sättigung und die Helligkeit einer bestimmten Farbkomponente im Bild oder aller Farben gleichzeitig korrigiert werden. Dazu wird die Ebene des freigeschnittenen Fußes angewählt und eine neue Einstellungsebene zugefügt. Dies geschieht über den Programmreiter "Ebene" – "Neue Einstellungsebene" –

"Farbton/Sättigung". Es öffnet sich automatisch ein Dialogfeld, welches in Abbildung 31 dargestellt ist. Die beiden Farbleisten im Dialogfeld stellen die Farben in ihrer Anordnung auf dem Farbkreis dar. Auf der oberen Farbleiste wird die Farbe vor der Änderung angezeigt. Auf der unteren Farbleiste wird angezeigt, wie sich die Änderung auf alle



Abb. 31: Einstellung Farbton und Sättigung

Farbtöne bei voller Sättigung auswirkt. Im Popup-Menü "Bearbeiten" wählt man den



Abb. 32: Farbkreis Adobe Photoshop anzupassenden Farbbereich aus. Eine Verschiebung des Reglers unter Farbton bedeutet eine Drehung des Farbkreises um die angezeigte Grad Zahl (siehe B in Abbildung 32). Ein positiver Wert bedeutet eine Drehung im Uhrzeigersinn, ein negativer Wert eine Drehung gegen den Uhrzeigersinn. Die Werte können zwischen -180 und +180 liegen. Ebenso kann man unter Sättigung einen Wert eingeben oder den Regler nach rechts ziehen, um die Sättigung zu erhöhen, bzw. nach

links, um sie zu verringern. Dadurch wird die Farbe vom Zentrum des Farbkreises weg oder zu ihm hin verschoben (siehe A in Abbildung 32). Die Werte können zwischen -100% (keine Sättigung, matte Farben) und +100% (hohe Sättigung) liegen. Durch Verschiebung des Reglers unter Helligkeit nach rechts, erhöht man die Helligkeit, wodurch der Weißanteil der Farbe steigt, bzw. nach links, um sie zu verringern, wodurch der Schwarzanteil der Farbe steigt. Die Werte können zwischen -100 (prozentualer Schwarzanteil) und +100 (prozentualer Weißanteil) liegen.

Da die Hautfarbe der Fußsohle nur aus Rottönen und Gelbtönen besteht, können nur diese Einstellungen eine Farbänderung bewirken. Für die Auswertung wurden folgende Einstellungen für die Füße verwendet:

Fehlfarben-Filter:

	Farbton	Sättigung	Helligkeit
Standard	0	0	-20
Rottöne	+180	-100	-100
Gelbtöne	-51	+100	-78

Tabelle 4: Einstellungswerte Fehlfarben-Filter

Rot-Filter:

	Farbton	Sättigung	Helligkeit
Standard	0	0	0
Rottöne	0	0	0
Gelbtöne	0	-100	0
Grüntöne	0	-100	0
Cyantöne	0	-100	0
Blautöne	0	-100	0
Magentatöne	0	-100	0

Tabelle 5: Einstellungswerte Rot-Filter

Diese Einstellungen wurden gespeichert, sodass sie für jedes zu bearbeitende Bild benutzt werden konnten. Eine Änderung dieser Werte ist aber zu jeder Zeit möglich. Durch Wechseln der Belichtung ändern sich natürlich auch die Farben der Haut. Bei den Aufnahmen mit anderer Lichtquelle galten folgende Einstellungen:

Filter für andere Lichtquellen:

	Farbton	Sättigung	Helligkeit
Standard	0	0	-20
Rottöne	+180	-100	0
Gelbtöne	-145	+100	-100

Tabelle 6: Einstellungswerte Filter für andere Lichtquellen

3.10.4 Ausmessung

3.10.4.1 Bestimmung der Fußlängen

Die Ausmessung der Fußlänge, Ballenbreite und Fersenbreite wurde durchgeführt, um eine Klasseneinteilung bilden zu können. Aus den gemessenen Längen konnte die exakte Schuhgröße ermittelt werden, welche schließlich die einzelnen Klassen trennte. Das Maßnehmen erfolgte über das Linealwerkzeug von "Adobe Photoshop CS3 Extended". Als erster Schritt war hierbei der freigeschnitte Fuß aufzurufen und folgendermaßen auszurichten:

- Die Druckfläche der Ferse wurde gedanklich so bearbeitet, dass eine gleichmäßig abgerundete Fläche entstand (siehe Abbildung 33). Dabei wurden die umliegenden Rundungen berücksichtigt.
- > Der Mittelpunkt dieser Fersenfläche wurde bestimmt.
- Die Druckfläche des Ballens wurde gedanklich so bearbeitet, dass eine abgerundete Fläche um die Grundgelenke der Mittelfußknochen I bis V entstand. Dabei wurde die Verbindungsdruckfläche zwischen Ballen und Ferse abgeschnitten (siehe Abbildung 33).
- > Der Mittelpunkt dieser Ballenfläche wurde bestimmt.
- Die Verbindungslinie zwischen Fersen- und Ballenmittelpunkt wurde an der Bildkante ausgerichtet.



Abb. 33: Ausrichtung des Fußes an Bildkante

Anschließend ist eine Hilfslinie hinzuzufügen. Diese wurde über das "Linienzeichner-Werkzeug" (siehe Abbildung 34) horizontal eingezeichnet und an die längste Fußzehe angelegt.



Abb. 34: Ausmessung der Füße

Als nächstes wählte man das "Linealwerkzeug" für die Vermessung des Fußes aus. Bevor die Messung jedoch durchgeführt wurde, musste die Messskala noch festgelegt werden. Dazu wurde der ermittelte Wert der Kalibrierung über den Programmreiter "Analyse" – "Messskala festlegen" – "Benutzerdefiniert" bei

Vorgaben:	Kalibrierung Fuß	 OK
Pixellänge:	1	Abbrechen
Logische Länge:	D,1132	Vorgabe speichern
Logische Einheit:	mm	Vorgabe löschen
	1 Pixel = 0,1132 mm	

Abb. 35: Einstellung der Messskala

"Logische Länge" eingegeben und abgespeichert (siehe Abbildung 35). Nun konnten die Messungen durchgeführt werden. Die Fußlänge wurde senkrecht vom mittigen Fersenende bis zur Hilfslinie

gemessen, welche die Verlängerung des längsten Zehs darstellt. Die Ballenbreite wurde von der medialen Seite auf der Höhe des Großzehengrundgelenkes bis zur lateralen Seite auf der Höhe des Grundgelenkes der fünften Zehe bestimmt. Bei der Fersenbreite galt der Mittelpunkt des Fersenabdrucks als Anhaltspunkt. Über ihn wurde von Medial nach Lateral die Breite der Ferse gemessen. Da die Ausrichtung des Fußes visuell durchgeführt wurde, ist eine gewisse Fehlergröße einzuschließen. In Abbildung 36 wird diese Fehlergröße anhand von Veränderung der Ballenfläche gezeigt. Eine Vergrößerung der Ballenfläche an der lateralen Seite des Fußes bewirkt ein wandern des Mittelpunktes nach außen.



Abb. 36: Auswirkung der Ballengröße auf Fußlänge

Somit verändert sich auch der Verlauf der Verbindungslinie zwischen Ballen und Ferse. Dies wirkt sich auf die Ausrichtung an der Bildkante und letztendlich auch auf die Länge des Fußes aus. Um ein Maß der Auswirkung zu bekommen, wurden die Größen der einzelnen Ballenflächen, der Abstand der Mittelpunkte und die entstandene Fußlänge gemessen.





Aus den ermittelten Größen kann man sehen, wie sich eine Veränderung der Flächengröße auf die gemessene Länge des Fußes auswirkt. Somit wurde die Toleranz der gemessenen Fußlänge auf ±2mm festgelegt.

3.10.4.2 Messung der Filter-Fehlergröße

Die Messung der Filter-Fehlergröße wurde benötigt, um ein Maß der Genauigkeit des Messsystems zu bekommen. Dazu wurden die fehlerhaften Pixelflächen im Verhältnis zu der angezeigten Druckfläche bestimmt.

Folgende Flächengrößen wurden ermittelt:

- Gesamte Fläche des Fußes
- Druckfläche des Emed- Abdruckes
- Druckfläche des Fehlfarbenfilters
- Fläche der fehlerhaften Pixel.

Das Ausmessen der gesamten Fußfläche konnte mithilfe der Kalibrierung durchgeführt werden. Als Erstes wurde in jeder Datei nur die Ebene mit dem freigeschnittenen Fuß eingeblendet und angewählt. Mit dem "Zauberstab-Werkzeug" konnte die Fußfläche markiert werden. Dazu wurde erst auf den Hintergrund des Bildes geklickt und dann über den Programmreiter "Auswahl" – "Auswahl umkehren" der Fuß markiert. Nachdem die Messskala auf den Wert der Kalibrierung eingestellt wurde (siehe Abbildung 35), konnte die Flächenmessung über den Programmreiter

"Analyse" – "Messung aufzeichnen" gestartet werden. Im Messprotokoll (siehe Abbildung 37) werden alle Daten des Bildes, sowie die Fläche in mm² und der Gesamtumfang in mm aufgeführt.



Abb. 37: Ausmessung der gesamten Fußfläche

Die Druckfläche des Emed-Abdruckes konnte direkt protokoliert werden, da die Druckmessplatte den Wert der Kontaktfläche automatisch in ihrem Programm angibt.

Für die Auswertung der Filterfläche wurden die Ebenen des freigeschnittenen Fußes, des Fehlfarbenfilters und des Rot-Filters eingeblendet. Nachdem die Ebene des Rot-Filters angewählt wurde, war in das Kanälefenster zu wechseln. Dort wurde als einziges der Rotkanal eingeblendet und angewählt. Über den Programmreiter "Auswahl" – "Farbbereich" wird die Auswahl "Lichter" ausgewählt und bestätigt (siehe roter Rahmen Abbildung 38). Dadurch werden alle Roten-Bereiche des Fußes markiert. Über "Analyse" - "Messung aufzeichnen" kann nun die Größe der Fläche angezeigt werden.



Abb. 38: Ausmessen der Fläche des Filters

Um die Fläche der fehlerhaften Pixel zu bestimmen wurde wie folgt vorgegangen. Im Ebenenfenster wurden die Ebenen "freigeschnitten", "Fehlfarbenfilter" und "Rot-Filter" eingeblendet. Anschließend wurde über der obersten Ebene eine "Neue Ebene" eingefügt (siehe Abbildung 39). Mithilfe des "Pinsel-Werkzeugs" wurden die korrekt angezeigten Druckflächen übermalt. Die nächsten Schritte sind identisch mit denen der Bestimmung der gesamten Filterfläche. Es wurde der "Rot-Filter" angewählt, in das Kanälefenster gewechselt, dort die Ebene Rot eingeblendet und angewählt und dann über den Programmreiter "Auswahl" – "Farbbereich" – Auswahl "Lichter" die fehlerhaften Pixel markiert. Als letzte Schritte folgten Messskala auswählen und Messung aufzeichnen. Wie bei allen Messungen wurde im Messprotokoll die Fläche der markierten Pixel in mm² angezeigt.



Abb. 39: Ausmessen der Fläche der fehlerhaften Pixel

3.10.5 Einfügen der Emed-Abdrücke

Die gespeicherten Abdrücke der Fußdruckmessung wurden aufgrund besserer Vergleichsmöglichkeiten auf das freigeschnittene Fußbild projiziert. Dazu diente wiederum das Bildbearbeitungsprogramm "Adobe Photoshop CS3 Extended".

Die Ausrichtung des Emed-Abdruckes auf das Fußbild wird im Folgenden erklärt:

Das in der Größe 1:1 gespeicherte PDF-Bild der Fußdruckwerte wird über das Bildbearbeitungsprogramm geöffnet. Über das sich öffnende Zwischenfenster "PDF importieren" könnten noch Einstellungen geändert werden. Wurde aber hier nicht benötigt und somit konnte das Bild über den "OK-Button" in die Bearbeitungsebene geladen werden. Mit dem "Radiergummi-Werkzeug" wurden Text und Druckskala wegretuschiert. Anschließend folgte das Kopieren der Ebene und Einfügen in die geöffnete Datei des freigeschnittenen Fußes.



Abb. 40: Ausrichten des Emed-Abdrucks auf das Fußbild

Über "STRG+T" (Transformieren) konnte der Abdruck an den Fuß angepasst werden. Dabei diente der Fuß als Orientierung und Begrenzung. Aus diesem Grund wurde darauf geachtet, dass der Emed-Abdruck nicht über den Fußrand hinausschaut.

4 Ergebnisse

4.1 Beschreibung der Abdrücke

4.1.1 Fußbild



Abb. 41: Fußbild

In der Abbildung 41 sieht man die originale JPEG-Fotoaufnahme des linken Fußes eines Probanden. Es lässt sich deutlich der Unterschied zwischen belasteter und unbelasteter Fußfläche erkennen. Durch Druck auf die Haut wird das Blut aus den oberflächigen Gefäßen nach innen gedrückt, sodass die Haut an Druckstellen gelblich erscheint. Hier am Fuß sehr gut an den Zehen, dem Fußballen und der Ferse zu erkennen. Die etwas dunkleren Stellen in den Druckbereichen, welche man am Fersenende gut sieht (grüner Pfeil), sind die höchst beanspruchten Stellen des Fußes. Meisten ist dort die Haut etwas verhornt, sodass der dunklere

Farbeindruck entsteht. Als weiteres lässt sich sehr gut die Fußfehlstellung aus dem Bild ablesen. Dieser Fuß zeigt, dass die Fersendruckfläche und die Ballendruckfläche nicht miteinander verbunden sind, somit spricht man von einem Hohlfuß. Dazu gesellen sich der Spreizfuß, der sich hier durch eine leichte Verhornung unter dem zweiten und dritten Zehengrundgelenk abzeichnet (blauer Pfeil) und der Knickfuß, welcher sich am Knick des Fersenabdruckes zum Ballenabdruck erkennen lässt (roter Pfeil).

4.1.2 Emed-Abdruck



Abb. 42: Emed-Abdruck

In linker Abbildung 42 wird der zugehörige Emed-Abdruck zum vorherigen Bild 41 dargestellt. Diese Druckanalyse ist eine Mittelwertbildung aus drei Einzelaufnahmen, die das Programm automatisch berechnete. Das Bild zeigt die Druckverteilung am Fuß, eine farb- und druckwertabhängige Skala, sowie ein Textfeld, in dem Dateiname, Aufnahmedatum, Aufnahmezeit und die wichtigsten Messwerte aufgeführt werden. Wie in der oberen Bildbeschreibung schon richtig erkannt wurde, lassen sich die Fußfehlstellungen durch die Druckanalyse verdeutlichen.

- Zwischen Fersendruck und Ballendruck ist keine Verbindung ≈ Hohlfuß.
- Im Ballenbereich herrscht der Maximaldruck unter dem zweiten und dritten Zehengrundgelenk ≈ Spreizfuß (Absenkung des Fußquergewölbes).
- Verbindet man den Fersenabdruck mit dem Ballenabdruck, so würde sich auch hier ein Knick abzeichnen ≈ Knickfuß.

Allgemein wird solch eine Druckverteilungsmessung mit Hilfe der Skala analysiert. Durch ihre farbige Hinterlegung kann schnell erkannt werden in welchen Bereichen des Fußes hohe Belastungen herrschen. In diesem Fall ist der Mittelpunkt der Ferse der höchst belastete Bereich. Hier entstanden Druckwerte bis 24,5 N/cm². Als weiteres kann man aus der Druckanalyse die Lage des Körperschwerpunktes ablesen. Der kleine schwarze Kreis zeigt die Position an der er angreift. Somit kann eine starke Außenbelastung oder Innenbelastung begründet werden. In extremen Fällen ist eine Pronation oder Supination sogar erkennbar.

4.1.3 Filteranwendung



Abb. 45: Fuß freigeschnitten



Abb. 44: Fehlfarbenfilter 1



Abb. 43: Fehlfarbenfilter 2

Die hier gezeigten Abbildungen zeigen das bearbeitete Fußbild, welches oben beschrieben wurde. Durch verschiedene Bearbeitungsprozesse wurde der Fuß freigeschnitten und mit zwei Filtern versehen, sodass die Druckbelastung am Fuß farblich sichtbar gemacht werden konnte. Im linken Bild (Abbildung 45) sieht man den freigeschnittenen Fuß ohne Filter. Wenn man sich die Hautfarbe des Fußes anschaut, kann man sagen, dass die unbelasteten Stellen des Fußes eine "normale" Hautfarbe haben. Diese "normale" Hautfarbe würde man in den Rötlichen Bereich der Farben einordnen. Die Farbe der belasteten Fußstellen haben wir bereits oben als gelblich beschrieben. Daraus folgt, dass diese in den gelben Farbbereich eingeordnet werden. Um den Druck farblich sichtbar zu machen mussten im ersten Filter die Rottöne im Bild eliminiert werden, da an diesen Stellen des Fußes kein Druck herrscht. Dazu wurde der Bereich der Röttöne mithilfe einer Farbverschiebung um 180 Grad in einen Cyanton umgewandelt, sowie die Sättigung und Helligkeit auf ein Minimum (- 100 %) eingestellt, um die Farbintensität zu verringern. Anschließend konnte der Bereich der Gelbtöne in Filter eins bearbeitet werden. Durch eine Farbverschiebung von -51 Grad änderte sich der Gelbbereich in einen Rotbereich, wodurch der Druck in Rot dargestellt wird. Ein maximieren der Sättigung (+ 100 %) ließ die Farben deutlicher erkennen. Die Einstellung der Helligkeit auf -78 Prozent erhöhte den Schwarzanteil im Farbbereich und beseitigte dadurch entstandene Störfarben. Im mittleren Bild (Abbildung 44) wird die durch den ersten Filter entstandene Farbänderung dargestellt. Die belasteten Fußbereiche sind mit der roten Farbe deutlich zu erkennen.

Für einen Vergleich mit den Messergebnissen des Emed-Abdruckes wird aber nur die rote Farbe beurteilt. Dazu wurde ein zweiter Filter erstellt, der die Aufgabe hatte, alle Farbbereiche bis auf Rot zu löschen. Dazu verringerte man die Sättigung aller Farbbereiche - ausgenommen Rot - auf ein Minimum. Das Ergebnis des angewendeten Filters wird in der Abbildung 43 dargestellt. Wie man sehen kann werden die mit Druck belasteten Stellen durch die rote Farbe dargestellt. Die unbelasteten Stellen werden aufgrund der angewendeten Filter nicht in ihrer originalen Hautfarbe abgebildet, sondern sind in schwarz-weiß zu sehen.

4.2 Vergleich Fehlfarben & Emed-Abdrücke



Abb. 46: Vergleich Emed-Abdruck mit Fehlfarbenfilter

Abbildung 46 zeigt die Ergebnisse von vier verschiedenen Füßen unterschiedlicher Probanden. Die passenden Daten der Probanden werden in folgender Tabelle aufgeführt.

Bild-Nr.	Geschlecht [m/w]	Alter [Jahre]	Körpergröße [cm]	Gewicht [kg]	Hautfarbe	*Fußtyp	
Ι	m	27	174	73,7	weiß	SP, K, H	
Π	m	31	169	86,9	südländisch	SP	
III	W	25	172	72,3	weiß	SP	
IV	m	17	176	71,9	dunkel	SP	
*Fußtyp: N = Normalfuß, P = Plattfuß, H = Hohlfuß, K = Knickfuß, SP = Spreizfuß, S = Sichelfuß							

Tabelle 7: Probandendaten von Vergleich

Wie man aus der Tabelle 7 sehen kann, sind die Abdrücke III von einer weiblichen Person, II von einer Person mit südländischer Hautfarbe, sowie IV mit dunkler Hautfarbe. Somit werden gleiche "füßliche" Voraussetzungen ausgeschlossen und ein besserer Vergleich ist möglich.

I:

Die Emed-Druckverteilung in I verteilt sich grob beschrieben auf allen fünf Zehen, den Ballenbereich und Fersenbereich. Der Maximaldruck herrscht im Mittelpunkt der Ferse. Ebenso ist ein etwas höherer Druck im Fußballenbereich unter dem Großzehengrundgelenk, sowie dem zweiten und dritten Zehengrundgelenk erkennbar. Betrachtet man nun das dazugehörig erstellte Farbbild, so sieht man, dass all diese beschriebenen Stellen mithilfe der Filter in Rot hervorstechen. Auffällig ist aber, dass es in den Druckbereichen offene Stellen gibt die nicht mit roter Farbe markiert sind, obwohl dort Druck herrscht. Zudem sieht man in I leichte Rotansätze in Bereichen an denen kein Druck vorhanden ist. II:

II in Abbildung 46 zeigt die Druckverteilungsmessung herrschende Drücke an der Großzehe, der zweiten Zehe und eine geschlossene Fläche vom Fußballen über die Fußaußenseite bis zur Ferse. Die höchsten Druckwerte liegen im Bereich des zweiten und dritten Zehengrundgelenkes, sowie des Kleinzehengrundgelenkes. Im passenden Farbbild ist kein roter Druck an den Zehen zu erkennen. Der beschriebene Druckbereich von Ballen bis Ferse ist auch hier gut erkennbar. Jedoch sind einige Stellen wie auch bei Bild I nicht mit Rot hinterlegt.

III:

Der Emed-Abdruck in III zeigt eine gleichmäßige Druckverteilung über den gesamten Ballenbereich, der Fußaußenseite und Ferse. Zudem kommt noch ein leichter Druck auf der Großzehe. Die Maximaldrücke liegen unter dem dritten und fünften Zehengrundgelenk und der Fersenmitte. Im produzierten Farbbild ist eine ähnliche Druckverteilung zu erkennen. Großzehen und der beschriebene Fußbereich weisen Drücke auf. Auffällig ist, dass an der Stelle des fünften Zehengrundgelenkes ein Loch aufklafft, an der im Emed-Druckverteilungsbild ein Maximaldruck anliegt.

IV:

Die Druckverteilungsmessung mit Emed zeigt in IV einen Fußabdruck mit geringer Belastung. Ein Maximaldruck von 8 N/cm² herrscht im Bereich der Ferse. Der Verlauf von Ferse zu Ballen weist keinen höheren Druck als 2 N/cm² auf und im mittleren Ballenbereich werden 5 N/cm² nicht überschritten. Zudem kommen noch leichte Druckwerte auf der Großzehe und der zweiten Zehe. Dies spiegelt sich im passenden Farbbild wieder. Eine gleiche Druckverteilung ist zu erkennen, jedoch ist das ganze eher in Rot gesprenkelt dargestellt.



4.3 Wiederholbarkeit der Farbabdrücke

Abb. 47: Fußabdrücke von Wiederholungsmessung

Die Wiederholungsmessung ist eine Grundanforderung an wissenschaftliche Experimente, Messungen oder Analysen. Es müssen unter gleichen Versuchsbedingungen gleiche Ergebnisse erzielt werden. In dieser Arbeit wurde ein Proband an fünf Tagen vermessen. Die Daten des Probanden werden in folgender Tabelle 8 aufgeführt.

Geschlecht [m/w]	Alter [Jahre]	Körpergröße [cm]	Gewicht [kg]	Hautfarbe	*Fußtyp links/rechts	
w	24	180	71	weiß	SP, K, H / SP, K	
*Fußtyp: N = Normalfuß P = Plattfuß H = Hohlfuß K = Knickfuß SP = Spreizfuß S = Sichelfuß						

p. N = Normalius, P = Plattius, H = Hornius, K = Kincklus, SP = Spreizius, S = STabelle 8: Probandendaten für Wiederholungsmessung

Vergleicht man als erstes nur einmal die Emed-Abdrücke der fünf Aufnahmen in Abbildung 47 miteinander, so kann eindeutig die Wiederholbarkeit dieses Messverfahrens bestätigt werden. Der linke Fuß dieser Abdrücke zeigt einen Hohlund Spreizfuß, bei dem sich die Druckverteilung auf Zehen, Ballen und Ferse verteilt. Beim rechten Fuß ist kein Hohlfuß erkennbar. Hier verteilt sich der Druck auf Fußballen, über Fußaußenseite zur Ferse und den Zehen. Die Maximaldrücke befinden sich bei beiden Füßen immer in der Fersenmitte. Dazu kommt ein leicht erhöhter Druck im Ballenbereich unter dem zweiten und dritten Zehengrundgelenk. Dies spiegelt sich in allen fünf Aufnahmen der Emed-Abdrücke wieder.

Betrachtet man nun alle Farbabdrücke, so kann hier keine Eindeutigkeit erkannt werden. Der rechte Fuß in Bild 1 bis 3 kann den Emed-Abdrücken noch zugeordnet werden, aber in Bild 4 und 5 ist doch eher ein Hohlfuß erkennbar. Somit scheint die Abweichung der Farbabdrücke sehr hoch zu sein. Zumindest bei diesem Probanden.

Als nächstes vergleicht man die einzelnen Aufnahmen miteinander. In Bild 1 der Abbildung 47 ist die Druckverteilung des Farbbildes vergleichbar mit der Druckverteilung der Emed-Messung. Einziger Störpunkt ist der Rotbereich im Längsgewölbe, an dem kein Druck herrscht. Bild 2 zeigt ebenfalls ähnliche Druckverläufe, wobei rote Farbverluste am linken und rechten Fuß im lateralen Ballenbereich erkennbar sind. Bild 3 und 4 weisen ganz besonders am rechten Fuß große Farblöcher auf.



4.4 Änderung der Lichtquellen

Abb. 48: Fußabdrücke bei Lichtquellen-Änderung

Eine Änderung der Lichtquellen kann dazu führen, dass Objekte einen anderen Farbton bekommen. Um einen Eindruck davon zu erlangen. wurden in dieser Arbeit drei verschiedene Lampen verglichen. A in Abbildung 48 zeigt die Aufnahme einer "Flourescent Light Bank" Beleuchtung. Bei B wurden die Füße mit zwei 25 Watt Standardlampen der Firma Osram beleuchtet. Auch die verwendeten Spots in C stammen von der Firma Osram und haben eine Nennleistung von 40 Watt. Die Farbunterschiede zwischen A und den beiden anderen Fußpaaren sind deutlich erkennbar. Während B und C einen warmen Orangeton zeigen, sind die Füße in A natürlicher dargestellt. Der Helligkeitsunterschied zwischen C und B wird durch die Leistungen der Glühlampen hervorgerufen.

Eine Farbunterscheidung zwischen belasteter Fußfläche und unbelasteter ist in A einfacher zu erkennen als in B und C. Durch das gleichmäßig aufgefächerte Farbspektrum der "Flourescent Bank" werden alle Farben Light in А gleichermaßen wiedergegeben. Die Leuchtmittel von B und C weisen einen starken Rotbereich in ihrem Farbspektrum auf, wodurch die Hauttöne mehr in diesen Bereich fallen. Ein Anlegen der verwendeten Filter würde hier alle Rottöne löschen und somit würde ein dunkler Fuß ohne Druckfläche entstehen. Insgesamt lässt sich

erkennen, dass durch Änderung der Lichtquellen die Hautfarbe des Fußes verändert werden kann.

4.5 Ausmessung

4.5.1 Fußlängen mit Schuhgrößen-Einteilung

Proband	Fußseite	Fußlänge L [mm]	Fußbreite Ballen BB [mm]	Fußbreite Ferse BF [mm]	Schuhgröße EUR
1	links	204,10	76,61	49,81	33
1	rechts	200,59	78,91	46,75	32
2	links	270,43	107,60	63,17	43
2	rechts	268,85	105,48	66,58	43
3	links	287,08	115,52	73,93	45
3	rechts	285,60	118,92	73,13	45
4	links	164,71	70,47	43,59	27
4	rechts	166,52	72,91	46,20	27
5	links	271,45	108,68	70,53	43
5	rechts	268,62	110,36	69,29	43
6	links	241,80	101,70	66,45	39
6	rechts	240,10	101,31	63,67	38
7	links	263,53	106,33	62,94	42
7	rechts	272,13	107,16	64,86	43
8	links	278,47	105,27	73,94	44
8	rechts	272,93	107,36	69,84	43
9	links	266,81	103,47	65,88	42
9	rechts	268,28	104,67	64,86	43
10	links	273,04	104,89	61,58	43
10	rechts	272,25	104,91	62,37	43
11	rechts	257,19	107,83	68,94	41
11	links	249,95	106,99	69,17	40
12	links	281,75	108,67	73,04	45
12	rechts	277,23	108,75	73,24	44
13	links	258,78	108,35	69,96	41
13	rechts	264,89	107,97	68,71	42
14	links	259,57	100,65	57,73	41
14	rechts	256,74	100,54	56,71	41
15	links	247,34	97,82	64,07	39
15	rechts	243,95	96,88	64,11	39
16	links	247,00	96,87	64,30	39
16	rechts	248,59	95,29	62,49	40
17	links	239,87	93,74	55,24	38
17	rechts	237,61	92,20	55,13	38
18	links	266,02	110,18	65,54	42
18	rechts	269,64	110,52	64,75	43
19	links	238,06	93,24	57,41	38
19	rechts	233,31	91,54	58,41	37
20	links	255,38	107,01	66,48	41
20	rechts	252,78	109,25	66,93	40
21	links	242,70	97,64	65,09	39
21	rechts	237,38	97,11	62,37	38
22	links	276,66	113,94	74,63	44
22	rechts	273,72	115,99	74,38	43
23	links	245,87	103,27	63,53	39
23	rechts	241,68	99,47	62,49	39
24	links	239,64	98,73	62,37	38
24	rechts	232,40	95,81	62,15	37
25	links	278,13	104,20	70,55	44
25	rechts	278,81	106,82	68,38	44

Tabelle 9: Fußlängenmaße Teil 1

26	links	247,34	95,47	58,19	39
26	rechts	242,02	96,31	60,22	39
27	links	275,19	115,51	73,81	44
27	rechts	277,11	113,56	69,62	44
28	links	275,30	107,79	68,73	44
28	rechts	276,43	105,64	67,92	44
29	links	211,68	85,35	53,43	34
29	rechts	212,36	84,77	54,90	34
30	links	253,12	100,05	58,75	40
30	rechts	255,15	95,32	62,26	41
31	rechts	257,98	100,73	59,66	41
31	links	255,83	103,28	57,17	41
32	links	274,17	108,22	70,07	43
32	rechts	273,26	108,87	66,00	43
33	links	252,32	107,42	69,05	40
33	rechts	249,95	108,34	70,98	40
34	links	267,04	107,96	74,60	42
34	rechts	267,04	106,48	74,04	42
35	links	266,93	106,57	67,01	42
35	rechts	264,66	110,20	67,47	42

Tabelle 10: Fußlängenmaße Teil 2

Die Bestimmung der Schuhgröße wurde nach folgender Formel (Pariser Stich) ermittelt: (Fußlänge + 1,5 cm) x 1,5 = Schuhgröße.

Schuhgrößen-Einteilung							
Fußlänge in mm	Schuhgröße EUR						
161,7 - 168,2	27						
168,3 - 174,9	28						
175,0 - 181,6	29						
181,7 - 188,2	30						
188,3 - 194,9	31						
195,0 - 201,6	32						
201,7 - 208,2	33						
208,3 - 214,9	34						
215,0 - 221,6	35						
221,7 - 228,2	36						
228,3 - 234,9	37						
235,0 - 241,6	38						
241,7 - 248,2	39						
248,3 - 254,9	40						
255,0 - 261,6	41						
261,7 - 268,2	42						
268,3 - 274,9	43						
275,0 - 281,6	44						
281,7 - 288,2	45						
288,3 - 294,9	46						
295,0 - 301,6	47						
301,7 - 308,2	48						

Tabelle 11: Einteilung der Fußlängen in Schuhgrößen

Tabelle 10 zeigt die gemessenen Werte der Fußlänge, Ballenbreite und Fersenbreite aller Probanden. Die Schuhgröße ist nach Tabelle 11 ermittelt worden.



Diagramm 1: Darstellung der Schuhgrößen-Klasseneinteilung zur Häufigkeit



Diagramm 2: Darstellung der Verteilung von Fersenbreite zur Ballenbreite

Diagramm 1 zeigt eine Häufigkeitsverteilung der Schuhgrößen aller Probanden. Man kann daraus erkennen, dass der größte Teil der Versuchspersonen eine Fußlänge zwischen 228,3 mm und 288,2 mm aufweist. Die am häufigsten getragene Schuhgröße der Probanden war 43 (13 Probanden).

In Diagramm 2 wird die Verteilung von Fersenbreite zur Ballenbreite dargestellt. Die eingezeichnete Trendlinie lässt erkennen, dass ein gewisses Verhältnis zwischen Fersen- und Ballenbreite herrscht. Dies wurde nicht weiter untersucht.

4.5.2 Bestimmung der Fehlergröße

Größe der Fußflächen							Größe des Pixelfehlers				
	ges. Fußfläche in cm ²		Druckfläche Emed in cm ²		Druckfläche Filter in cm ²			Pixelfehler absolut in cm ²		Pixelfehler relativ in %	
Proband	links	rechts	links	rechts	links	rechts		links	rechts	links	rechts
1	116,62	113,47	41,00	51,53	21,81	13,35		0,00	0,00	0,00	0,00
2	212,05	211,44	96,40	100,73	16,06	20,06		0,00	0,00	0,00	0,00
3	241,33	244,47	107,80	114,93	62,00	76,82		0,00	0,00	0,00	0,00
4	88,97	91,41	41,53	41,86	29,86	23,76		0,00	0,00	0,00	0,00
5	216,55	211,99	74,73	94,60	80,02	116,84		0,68	4,67	0,85	4,00
6	179,88	178,06	101,47	96,33	52,68	63,01		0,00	0,00	0,00	0,00
7	205,28	213,14	88,20	117,13	39,55	69,21		0,48	0,07	1,21	0,10
8	220,83	217,57	110,47	106,67	26,19	29,04		0,00	1,41	0,00	4,86
9	208,43	207,15	110,67	115,73	100,74	84,17		0,00	0,00	0,00	0,00
10	206,24	206,34	73,87	87,33	58,19	57,18		0,22	0,11	0,38	0,19
11	189,10	199,89	92,93	93,93	32,92	23,14		0,00	0,00	0,00	0,00
12	226,92	222,40	122,87	93,80	65,70	57,38		0,00	0,00	0,00	0,00
13	205,19	207,96	102,20	105,13	44,84	26,99		0,00	0,00	0,00	0,00
14	186,23	182,84	80,07	76,33	62,53	57,65		0,71	0,60	1,14	1,04
15	181,64	178,53	78,20	68,93	31,70	32,09		0,00	0,10	0,00	0,31
16	175,52	174,54	78,87	67,87	39,93	28,28		0,00	0,00	0,00	0,00
17	162,64	159,80	61,80	65,00	35,41	36,41		0,00	0,00	0,00	0,00
18	210,01	209,92	94,53	131,80	56,73	47,90		0,26	0,10	0,46	0,21
19	163,10	156,88	62,93	54,73	34,75	22,66		0,00	0,00	0,00	0,00
20	206,08	207,20	99,87	141,07	15,47	9,77		0,00	0,00	0,00	0,00
21	181,12	175,19	98,07	91,40	57,98	74,11		0,00	0,00	0,00	0,00
22	231,05	232,46	143,53	104,33	22,25	15,06		0,00	0,00	0,00	0,00
23	179,49	171,64	78,93	85,67	50,10	40,56		0,00	0,00	0,00	0,00
24	173,32	169,25	91,40	85,40	55,46	43,74		0,00	0,00	0,00	0,00
25	211,94	212,98	91,47	113,73	63,13	53,08		0,00	0,00	0,00	0,00
26	170,73	168,00	88,47	92,93	68,41	47,68		1,58	0,03	2,31	0,06
27	230,87	225,71	115,67	122,20	78,99	50,67		0,00	0,00	0,00	0,00
28	220,80	225,45	101,47	117,93	45,47	33,86		0,00	0,00	0,00	0,00
29	125,86	128,94	62,27	68,27	28,70	29,22		0,00	0,00	0,00	0,00
30	180,11	181,31	89,47	89,67	53,05	32,24		0,00	0,00	0,00	0,00
31	187,56	187,91	73,60	82,93	56,48	90,13		1,83	10,22	3,24	11,34
32	208,36	209,09	105,73	96,07	35,25	31,88		0,00	0,00	0,00	0,00
33	201,95	198,42	90,13	107,27	4,49	12,08		0,31	0,02	6,90	0,17
34	218,62	216,08	105,67	107,00	32,26	40,96		0,00	0,00	0,00	0,00
35	211,34	212,42	93,27	94,00	5,89	6,43		0,02	0,01	0,34	0,16
<u>-</u>						Mittelwer	te	0.17	0,50	0.48	0,64

Mittelwerte 0,17

Tabelle 12: Bestimmung der Pixel-Fehlergröße

Tabelle 12 zeigt die berechneten Größen der Fußflächen und die Größe der fehlerhaften Pixelfläche. Somit kann ein Maß der Genauigkeit des Messsystems ermittelt werden. Der durchschnittliche Pixelfehler beträgt 0,5 cm², was weniger als ein Prozent der Druckfläche des Filters entspricht. Die größte fehlerhafte Pixelfläche trat bei Proband 31 auf und beträgt 10,22 cm².



Diagramm 3: Darstellung des Gewichtes zur Kontaktfläche



Diagramm 4: Darstellung der Pixel-Fehlerfläche zum Gewicht

Diagramm 3 stellt das Verhältnis zwischen dem Gewicht und der Größe der Kontaktfläche des Probanden dar. Daraus lässt sich erkennen, dass das Gewicht keinen Einfluss auf die Kontaktfläche nimmt (Zumindest nicht im Untersuchungsbereich von 19 – 106 kg).

Diagramm 4 zeigt die Größe der Pixelfehlerflächen aller Probanden. Auch hier nimmt das Gewicht keinen Einfluss auf die Fehlergröße. Dies lässt sich daran erkennen, dass die Fehlerflächen willkürlich auftauchen und nicht nur in Bereichen mit hohem Gewicht.



Diagramm 5: Darstellung der Emed-Druckfläche normiert auf die gesamte Fußfläche

Diagramm 5 zeigt die normierte Fußfläche der Emed-Abdrücke jedes Probanden. Sie wurde berechnet aus der Größe der Emed-Druckfläche dividiert durch die gesamte Fußfläche. Unter Berücksichtigung der Fußfehlstellungen aller Probanden konnte Diagrammes vorgenommen eine Unterteilung des werden, wodurch die Fehlstellungen erkannt werden können. Es kann zwischen Hohlfuß und Normalfuß unterschieden werden. Alle normierten Fußflächen unter 0,43 zählen zu den Hohlfüßen und alles über 0,46 zählt zu den Normalfüßen. Dazwischen liegt ein Grenzbereich der sowohl Hohlfüße als auch Normalfüße beinhaltet. Da kein Proband einen Plattfuß hatte, konnte diese Fehlstellungsgrenze nicht eingezeichnet werden. Ein gutes Beispiel hierfür sind die Fußabdrücke aus Kapitel 4.2 Abbildung 46. I zeigt einen Hohlfuß und II – IV zeigen Normalfüße. Im Diagramm ist deutlich zu erkennen, dass I (Prb. 14 li) unterhalb des Grenzbereichs liegt und somit den Hohlfuß bestätigt. II, III und IV (Prb. 6 re, Prb. 30 li, Prb. 34 re) liegen oberhalb des Grenzbereichs und fallen daher unter den Fußtyp Normalfuß.

5 Diskussion

Im vorangegangenen Kapitel wurden die Ergebnisse der Farbveränderung am Fuß präsentiert und mit den Ergebnissen der Druckverteilungsmessung verglichen. Betrachtet man nun alle Fußpaare der Abbildung 46, so ist deutlich zu erkennen, dass die Fehlfarbenbilder der Druckverteilungsbilder sehr gut angenähert sind. Kleine Ungereimtheiten sind jedoch in allen Vergleichen erkennbar. Alle vier Bilder weisen Lücken in Bereichen an denen Druck herrscht auf. Eine mögliche Ursache dafür könnte Hornhaut sein. Diese bildet sich verstärkt an Stellen die häufig Druck oder Reibung ausgesetzt sind. Sehr dicke Verhornung, oft auch als Schwielen bezeichnet, weist einen sehr dunklen Hautton auf. Unter Druckbelastung findet hier keine Farbveränderung statt. Dieser Farbton fällt daher eher in den dunkleren Bereich des ersten Filters und wird dadurch eliminiert. Siehe Kapitel 4.1 Abbildung 41 blauer Pfeil. In diesem Bild sieht man die originale Aufnahme des Fußes zu I in Abbildung 46. Der blaue Pfeil zeigt auf eine verhornte Stelle, welche wiederrum im Farbbild des Abdruckvergleiches als Lücke heraussticht.

Eine weitere Ursache für entstandene Löcher im Fehlfarbenbild kann anhand IV in Abbildung 46 erklärt werden. Im Bereich zwischen Fußballen und Ferse treten nur geringe Druckwerte auf. Da die Druckverteilungsmessung mit Emed und die Fotoaufnahme nur durch wechseln der Position möglich war, und ein Fuß niemals wiederholt die gleiche Druckverteilung aufweist, besteht die Möglichkeit, dass bei der Fotoaufnahme der Fuß an dieser Stelle kaum Druck aufweist. Aus diesem Grund könnte die Druckverteilung im Farbbild ebenso korrekt dargestellt sein wie im Druckverteilungsbild von Emed.

Ebenso sind warme Füße (Schweißfüße) oder frisch eingecremte Füße eine mögliche Fehlerquelle. Warme Füße führen zu einem Anlaufen der Scheibe wodurch eine Trübung entsteht und somit die Durchsichtigkeit der Glasscheibe beeinflusst wird. Durch eingecremte Füße wird die Haut zu einer reflektierenden Fläche. Dadurch wird das Licht gespiegelt, was zu weißen Farbflächen im aufgenommenen Bild führen kann.
Entstandene rote Farbflächen in drucklosen Bereichen könnten mit der Hautfarbe und dem Licht zusammenhängen. Wenn diese durch die Beleuchtung sehr hell (fast weiß) oder durch Schattenbildung sehr dunkel (fast schwarz) erscheinen, können solche fehlerhafte Farbflächen entstehen. Dies ist deutlich an den Füßen der Abbildung 47 im Abschnitt "Wiederholbarkeit der Farbabdrücke" zu erkennen. Durch die Form des medialen Längsgewölbes wird das einfallende Licht weißlich reflektiert und die Hautfarbe des Probanden als Druckbereich für den Filter erkannt.

Die Fehleranalyse, welche sich auf das Auswerten dieser Farbfehler beruht, zeigt, dass dieser Proband den größten Pixelfehler aufweist.

Insgesamt gesehen hat das Messsystem einen sehr kleinen durchschnittlichen Fehler. Von 70 gemessenen Füßen haben 20 Füße einen solchen Pixelfehler, wobei nur 9 Füße eine Abweichung von über einem Prozent aufweisen.

Auch die Wiederholbarkeit der Farbabdrücke kann als positiv bewertet werden. Da diese Messung nur mit einem Probanden durchgeführt wurde, die Ergebnisse des Farbfilters nicht vollkommen falsch dargestellt wurden und die Messung im Vergleich mit den Emed-Abdrücken bei allen anderen Probanden übereinstimmt.

Stellt sich als nächstes die Frage, ob Veränderungen Messaufbau am Verbesserungen der Ergebnisse bewirken würden? Somit könnten mögliche Fehlerquellen schon im Messaufbau liegen. Da die verwendete Messbox bereits vorhanden war, wurde sie als geeignet für den ersten Entwicklungsschritt gehalten. Das Auskleiden dieser mit schwarzem Stoff sollte Farbreflexionen vermeiden. Vielleicht sollt aber anstatt schwarzem Stoff weißer getestet werden, weil dieser alle Spektralfarben reflektiert und nicht absorbiert. Dies könnte kürzere Belichtungszeiten ergeben (weniger Flächenfehler aufgrund weniger Bewegung), was weiterhin zu verbesserten Signal-/Rausch-Verhältnissen und schärferen Aufnahmen führt. Des Weiteren erfolgten Fotoaufnahme und Beleuchtung über einen Spiegel und durch die Glasscheibe. Welche Bild oder Farbverluste dadurch verloren gingen kann nicht nachgewiesen werden. Der einzige bekannte Faktor ist der Transmissionsgrad der Glasscheibe, welche 90 Prozent des einfallenden Lichtes durchlässt. Somit werden 10 Prozent des Lichtes reflektiert, gestreut oder sonstiges. Dies könnte ebenfalls zu Fehlwirkungen beitragen. Eine Fehlerreduzierung bei dieser Störgröße ist aber nicht einzuschränken.

Auch das verwendete Bildbearbeitungsprogramm weist schwächen auf. Es kann pro Farbkanal nur 8 Bit (also 256 Farbunterteilungen) anzeigen. Die Fotoaufnahmen mit der Nikon-Kamera stellen aber in ihrem NEF-Format 12 Bit (also 4096 Farbunterteilungen) pro Farbkanal zur Verfügung. Somit konnte nur ein Bruchteil der Farben verwendet werden. Mit 4096 Farbunterteilungen könnten einzelne besser differenziert werden. Farbsegmente noch Diese Auflösung wird beispielsweise in der Computertomographie eingesetzt. Dort wird in 4096 Graustufen unterteilt (Hounsfield-Skala), um deutlichere Differenzierung z.B. zwischen Weichteilen, Fettgewebe und Wasser, die nur geringe Unterschiede aufweisen, zu bekommen [WAK00].

Eine weitere Fehlerquelle stellt der entwickelte Filter dar. Dieser wurde auf eine gemittelte Einstellung konzipiert und ist somit nicht auf jedes einzelne Fußbild ausgerichtet worden. Individuelle Einstellungen könnten die Ergebnisse verbessern.

Folglich kann man zu der Aussage kommen, dass eine Differenzierung des Drucks nicht bzw. nur eingeschränkt möglich war. Die Hautverfärbung ließ keine Unterschiede zwischen sehr hohen Drücken und sehr niederen Drücken erkennen. Es kann ausschließlich eine Aussage darüber gemacht werden, an welchen Stellen des Fußes Druck und an welchen kein Druck herrscht. Die Selektierung der Fußauflagefläche funktioniert aber sehr gut.

6 Ausblick

Diese Arbeit zeigt einen ersten Ansatz zur Druckbestimmung an der Fußsohle mittels farblich codierter Fotografien zur Darstellung der Druckverteilung. Es bleibt zu klären, ob es nicht noch andere Möglichkeiten gibt die Hautfarbe einzufärben. Hier wurde mit einem fertigen Bildbearbeitungsprogramm gearbeitet. Eine Verbesserung könnte ein eigenständiges Programm, welches automatisiert Farbveränderungen anpasst, erzielen. Zudem müsste getestet werden, ob durch Veränderung der Lichtverhältnisse oder durch Verwenden von anders farbigem Licht, verhornte Stellen am Fuß (also stark belastete Bereiche) deutlicher hervorgehoben werden können. Dadurch könnte mit Hilfe eines neuen Filters und Überlagerung zweier Fotoaufnahmen Druckunterschiede verdeutlicht werden.

Des Weiteren könnte die Entwicklung eines geeigneten Messaufbaus noch bessere Ergebnisse erzielen. Dabei sollte darauf geachtet werden, dass beide Füße gleichzeitig aufzunehmen sind, um einen Positionswechsel zu vermeiden. Somit wäre die Druckverteilung an beiden Füßen eindeutig.

Auch die Art der Farbveränderung und Ausmessung könnte in anderen Bereichen Verwendung finden. Beispielsweise an Bildern, die bessere Farbunterschiede aufweisen und somit leichter zu differenzieren sind. Dort könnten Bereiche hervorgehoben oder exakt ausgemessen werden.

Momentan könnte diese Methode zur exakten Differenzierung der Fußauflagefläche verwendet werden. Differenzierung deshalb, weil man mit mehreren Aufnahmen, die vor und nach Therapie gemacht werden, einen Therapieerfolg quantitativ darstellen kann. Dies könnte beispielsweise in der Einlagenversorgung Anwendung finden. Des Weiteren kann mit Hilfe des erstellten Ausmessungsverfahrens eine automatisierte Fußfehlstellungs-Erkennung erstellt werden. Eine Unterteilung zwischen Hohl-, Normal- und Plattfuß ist schon möglich. Es müsste noch überprüft werden, ob ein Spreizfuß anhand eines Verhältnisvergleichs zwischen Fußballen und Ferse nachweisbar ist sowie ein Erkennungsmerkmal für Knick- und Senkfuß.

7 Literaturverweis

- [Aca10] Academic. (2000 2010). Abgerufen am 14. 12 2010 von Senkfuß: http://de.academic.ru/dic.nsf/dewiki/1274324
- [AWo07] Wondracek, A. (02 2007). Orthopress. *Fußfehlstellungen im Überblick*, S. 28-29.
- [Bau94] Baumann, W., Müller, N., & Brust, G. (1994). Grundlegende Begriffe und Anwendungsaspekte der elektronischen Druckverteilung am Fuß. Medizinisch Orthopädische Technik 1, S. 6 - 13.
- [Bun10] Bundesverband Flachglas. (2010). Abgerufen am 14. 12 2010 von Glasanwendung Sicherheit: <u>http://www.bundesverband-</u> flachglas.de/der-baustoff-glas/glasanwendungen/sicherheit/
- [Che07] Chemie-im-Alltag. (2007). Abgerufen am 14. 12 2010 von http://www.chemie-im-alltag.de/articles/0107/EM_Spektrum.JPG
- [Das Gesundheits-Portal. (2006). Abgerufen am 14. 12 2010 von
Erworbene Fußfehler: http://verzeichnis.vitalis-
schweiz.ch/verzeichnis/fibel11.php
- [DHo901] Hohmann, D., & Uhlig, R. (1990). *Orthopädische Technik, 8. neu bearb. und erw. Aufl.* Stuttgart: Enke.
- [DrN10] Gumpert, D. N. (18. 02 2010). *Dr-Gumpert.de, Der Fuß*. Abgerufen am 14. 12 2010 von http://www.dr-gumpert.de/html/fuss.html
- [Eib05] Eibelshäuser, E. (2005). *Fotografische Grundlagen.* Heidelberg: dpunkt.verlag.
- [FWe09] Wehmeyer, F. (11. 11 2009). Steadicam-Operator. Abgerufen am 14. 12 2010 von <u>http://www.steadicam-operator.com/frank/unterricht/licht_farbe/licht2.htm</u>
- [GMu99]
 Muskat, G. (1899). Open Library. Abgerufen am 14. 12 2010 von Die Brüche der Mittelfußknochen in ihrer Bedeutung für die Lehre von der Statik

 des
 Fußes: http://www.archive.org/stream/diebrchedermit00musk#page/10/mode/2

 up

 [Hov07]
 Hove
- [Hoy07] Hoya Filters. (2007). Abgerufen am 14. 12 2010 von http://www.hoyafilter.com/products/hoya/gf-04.html

[HWe06]	Weber, H. (2006). Digitale Farbe in der Medienproduktion und
	Druckvorstufe. Heidelberg: mitp-Verlag, Redline.
[JHe05]	Hedgecoe, J. (2005). Einfach fotografieren. Starnberg: Dorling
	Kindersley.
[KKe11]	Keller, K. (2011). RheinAhrCampus-Remagen. Abgerufen am
	05.01.2011 von Einführung in die Pedobarographie:
	http://web274.server18.server-
	drome.net/praxissemester/pedobarographie.php
[Med09]	Medalight. (2009). Abgerufen am 14. 12 2010 von
	http://www.medalight-
	online.com/catalog/product_info.php?products_id=53
[Nie05]	Niethard, F. U., & Pfeil, J. (2005). Orthopädie, Seite 552. Stuttgart:
	Thieme.
[Nov10]	Novel. (25. 05 2010). Abgerufen am 14. 12 2010 von
	http://novel.de/old/ger/productinfo/systems-emed.htm
[Onm09]	Onmenda. (27. 05 2009). Abgerufen am 14. 12 2010 von Spreizfuß:
	http://www.onmeda.de/krankheiten/spreizfuss.html
[Osr10]	Osram. (2010). Produktdetails CLAS B CL 25. München.(siehe Anhang)
[Osr101]	Osram. (2010). Produktdetails Conc R50 40. München.(siehe Anhang)
[Phi00]	Phillips, R. (2000). Ian Griffiths Sports Podiatry. Abgerufen am 14. 12
	2010 von The normal foot:
	http://sportspodiatryinfo.co.uk/Documents/Normal%20Foot%20-
	<u>%20JAPMA%202000.pdf</u>
[Pil07]	Pilkington. (2007). Pilkington Optiwhite. Technische Information . Wikon
	- CH.(siehe Anhang)
[Poe07]	Poeschel. (2007). Abgerufen am 14. 12 2010 von
	http://www.poeschel.net/images/fotos/farbtemperatur.jpg
[RBr06]	Breul, R. (2006). Thieme eJournals, Unser Fuß, ein komplexes Organ.
	Abgerufen am 14. 12 2010 von https://www.thieme-
	connect.com/ejournals/abstract/do/doi/10.1055/s-2006-957050
[Ric09]	Rico. (29. 01 2009). OpenFoto. Abgerufen am 14. 12 2010 von Lektion
	3 Belichtung: http://www.openfoto.de/tag/kameraverschluss/

[RWo98]	Woick, R. (1998). Medizin Websites. Abgerufen am 14. 12 2010 von
	Plattfuß: <u>http://www.medizin-websites.de/fussprobleme/fuss-</u>
	12/plattfuss-pes-planus.html
[Sch47]	Schwartz, R., & Heath, L. (1947). The Journal of Bone & Joint Surgery.
	Abgerufen am 14. 12 2010 von The Definition of human locomotion on
	the basis of measurement: <u>http://www.ejbjs.org/cgi/reprint/29/1/203.pdf</u>
[Spi10]	Spira Swiss. (2010). Abgerufen am 14. 12 2010 von http://www.spira-
	swiss.ch/lexikon/
[Ste09]	Steadicam-Operator. (2009). Abgerufen am 14. 12 2010 von
	Komplementärfarben/Farbkreis/additive und subtraktive Farbmischung:
	http://www.steadicam-
	operator.com/frank/unterricht/licht_farbe/licht2.htm
[WAK00]	Kalender, W. A. (2000). Computertomographie. München: Publicis-
	MCD-Verlag.
[WBr10]	Brunner, W. (2010). Zebris. Abgerufen am 14. 12 2010 von
	Kraftverteilungsmesssystem:
	http://www.zebris.de/deutsch/medizin/medizin-
	kraftverteilungsmessung.php?navanchor=10015
[WDi82]	Diebschlag, W. (1982). Thieme eJournals, Die Druckverteilung an der
	Fußsohle des Menschen im Stehen und Gehen, barfuß und im Schuh.
	Abgerufen am 14. 12 2010 von https://www.thieme-
	connect.com/ejournals/abstract/zfo/doi/10.1055/s-2008-1051402
[Web36]	Weber, W., & Weber, E. (1836). Google Bücher. Abgerufen am 14. 12
	2010 von Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge:
	http://books.google.de/books?hl=de&lr=&id=YyU_AAAAcAAJ&oi=fnd&p
	g = PR1&dq = mechanik + der + menschlichen + gehwerkzeuge&ots = mVWwa
	20f_z&sig=UQLZA5QMOgvlq8D_FUQNtJA1Yyc#v=onepage&q&f=false
[Wis10]	Mück, D. D. (10. 07 2010). Wissenswertes über unsere Füße.
	Abgerufen am 14. 12 2010 von <u>http://www.dr-</u>
	mueck.de/Wissenschaftsinfos/Fuss-Fakten.htm
[Zeb09]	Zebris. (2009). Bedienungsanleitung WinFDM Version 0.1. Isny.

8 Anhang

8.1 Abdrücke Probanden



Abb. 49: Aufnahmen Proband 1 bis 3



Abb. 50: Aufnahmen Probanden 4 bis 6



Abb. 51: Aufnahmen Probanden 7 bis 9



Abb. 52: Aufnahmen Probanden 10 bis 12



Abb. 53: Aufnahmen Probanden 13 bis 15



Abb. 54: Aufnahmen Probanden 16 bis 18



Abb. 55: Aufnahmen Probanden 19 bis 21



Abb. 56: Aufnahmen Probanden 22 bis 24



Abb. 57: Aufnahmen Probanden 25 bis 27



Abb. 58: Aufnahmen Probanden 28 bis 30



Abb. 59: Aufnahmen Probanden 31 bis 33



Abb. 60: Aufnahmen Probanden 34 bis 35

8.2 Datenblätter

8.2.1 Glasscheibe



Pilkington **Optiwhite**[™]

Technische Informationen

Beschreibung

Pilkington **Optiwhite[™]** ist ein Floatglas mit geringem Eisenoxidanteil. Das Glas ist praktisch farbneutral und weist den gewohnten Grünstich eines Floatglases, der besonders bei dickeren Gläsern bemerkbar ist, nicht auf.

Anwendungen

Pilkington **Optiwhite**[™] ist besonders für Anwendungen geeignet, die eine erhöhte Lichtdurchlässigkeit gegenüber üblichem Floatglas erfordern, wie z. B. dickeren Brandschutzglasaufbauten, Sicherheitsglas (Panzerglas) und Schaufenster.

Der Farbunterschied zwischen Pilkington **Optiwhite™** und herkömmlichem Floatglas lässt sich besonders an den Glaskanten beispielsweise von Tischen erkennen.

Eigenschaften

- Pilkington Optiwhite[™] bietet Farbneutralität im Vergleich zu gewöhnlichem Floatglas und gibt die tatsächlichen Farben wieder.
- Ist in Glasdicken von 2 mm bis 19 mm erhältlich.
- Die Lichttransmission bei einer 19 mm Pilkington Optiwhite[™] Scheibe ist 8 % höher als bei üblichem Floatglas.
- Zur Weiterverarbeitung und Reinigung bedarf es bei Pilkington
 Optiwhite[™] keiner besonderen zusätzlichen Anforderungen im Vergleich zu Pilkington Optifloat[™].

	Lie	Licht Energie					
	Trans- mission	Reflexion	Trans- mission	Reflexion	Absorption	Gesamt- energiedurch- lässigkeit	Ug-Wert
	in %	in %	in %	in %	in %	in %	W/m ² K
2 mm	91	8	91	8	1	91	5,9
3 mm	91	8	90	8	2	91	5,8
4 mm	91	8	90	8	2	91	5,8
5 mm	91	8	89	8	3	90	5,7
6 mm	91	8	89	8	3	90	5,7
8 mm	91	8	88	8	4	89	5,7
10 mm	90	8	87	8	5	88	5,6
12 mm	90	8	86	8	6	88	5,5
15 mm	89	8	85	8	7	87	5,5
19 mm	89	8	84	8	8	86	5,3

Licht- und energietechnische Werte nach DIN EN 410 $\rm U_g\text{-}Werte$ nach DIN EN 673

Abb. 61: Datenblatt Glasscheibe

8.2.2 Glühlampen

Das Produkt finde	EAN: Menge:	4050300005737 Faltschachtel (FS) beinl	haltet 1 Stüd	ck (ST)		
	en Sie im OSRAM eKatalog unter: sram.com?~language=DE&~count	ry=DE⁢_p=40503000057	37	a A		
(ata analajan mana						
REG Nr		8335344				
Sett-Nummer		4734809				
		IBB/C-25-230-E14-24	5			
		150/0-20-20-214-00				
formen & Standards						
Energieeffizienzklasse - E	EI	E				
Allgemeine beschreibend	e Daten					
Quecksilberfrei		Ja				
3ockel (Normbezeichnun	g)	E14				
3auform / Ausführung		klar				
Fechnik - Elektrische And	aben					
Vennleistung		25 W				
Remessungsleistung		25 W				
Neeseneerung (/organiuma)		230 V				
torniopannang (Torpaon		200 1				
Technik - Geometriedater	n					
Gesamtlänge		100.00 mm				
Durchmesser		35 mm				
_änge	100 mm					
Außenkolben B35						
Fechnik - Lebensdauer						
3emessungslampenleber	Isdauer	1000 h				
Nennlebensdauer		1000 h				
Fechnik - Lichttechnische	Daten					
arbwiedergabeindex Ra						
Bemessungsstartzeit		0 s	0 s			
Lichtstrom		210 lm				
/erpackungsvarianten						
EAN	Verpackungsart und enthaltene Stücke	Abmessungen in h x b x l		Gewicht brutto	Volumen	
1050300005737	Faltschachtel beinhaltet 1 Stück	36,000 mm x 36,000 mm x 1	03,000 mm	20,700 g (0,000 g)	0,133 Kubikdezir	
	Bündel beinhaltet 10 Stück	107,000 mm x 71.000 mm x	180,000 mm	207,000 g (0.000 g)	1,335	
050300009674		107,000 mm x 71,000 mm x 180,000 mm			Kubikdezir	
4050300009674					1 m m m m m m m	

Abb. 62: Datenblatt Glühlampe CLAS B CL 25

	uktdetails CONC R50	40			
P	Produkt Bezeichnung: EAN: Menge:	CONC 40503 Blister	CR50 40 00118482 (BLI) beinhaltet 2 Stück (ST)		
Das Produkt finde http://catalog.myo	en Sie im OSRAM eKatalog unter: sram.com?~language=DE&~count	ry=DE⁢	_p=4050300118482		
Ilgemeine beschreibend	de Daten				
Juecksilberfrei			Ja		
ockel (Normbezeichnur	ng)		E14		
LCOS			IRR-40-230-E14-50/30		
echnik - Elektrische Ang	gaben				
lennleistung			40 W		
lemessungsleistung	10		40 W		
lennspannung (Verpack	ung)		230 V		
echnik - Geometriedate	n				
Sesamtlänge	85		85.00 mm		
Durchmesser			50.0 mm		
Länge			85 mm		
Einbaulänge			63 mm		
Außenkolben			R50G		
rechnik - Lebensdauer					
Vennlebensdauer			1000 h		
Bemessungslampenlebe	nsdauer		1000 h		
Fechnik - Lichttechnisch	e Daten				
Bemessungsstartzeit			0 s		
arbwiedergabeindex Ra	a		-		
ichtstärke			430 cd		
Ausstrahlungswinkel			30 °		
/erpackungsvarianten	Vernals meant and anti-time Original		enumera in h v h v l	Coulobt be the	Vature
	verpackungsan und enthaltene Stücke	Abme	soungen in n x b x i		0.890
050300118482	Blister beinhaltet 2 Stück	120,00	00 mm x 62,000 mm x 140,000 mm	49,660 g (0,000 g)	Kubikdezim
	Versandschachtel beinhaltet 20 Stück	149,0	00 mm x 141,000 mm x 321,000 mm	786,600 g (0,000 g)	6,744

Abb. 63: Datenblatt Glühlampe CONC R50 40

8.2.3 Polarisationsfilter



Abb. 64: Datenblatt Polarisationsfilter

8.3 Fehlerbestimmung Personenwaage

Fehler Waage						
Messung Nr.	Exaktes Gewicht in [g]	Exaktes Gewicht in [kg]	Anzeige Waage in [kg]	Anzeige Waage in [g]	Abweichung in [g]	Abweichung in [%]
1	11577	11,6	11,2	11200	377	3,3
2	25474	25,5	25,2	25200	274	1,1
3	39291	39,3	39,3	39300	9	0,0
4	52664	52,7	52,5	52500	164	0,3
5	66317	66,3	66,3	66300	17	0,0
6	79936	79,9	80,1	80100	164	0,2
7	94908	94,9	95,6	95600	692	0,7
8	109467	109,5	110,1	110100	633	0,6
9	123536	123,5	124,5	124500	964	0,8
				Mittelwerte	366	0,8

Tabelle 13: Fehlerberechnung Personenwaage



Diagramm 6: Abweichung Personenwaage

C	=	Grad Celsius (Einheit)
2D	=	zweidimensional
A	=	Fläche
Abb.	=	Abbildung
bzw.	=	beziehungsweise
ca.	=	circa
CIE	=	Commision International de l'Évlairage
cm ⁽²⁾	=	Zentimeter ^(zum Quadrat) (Einheit)
CMY	=	Cyan-Magenta-Yellow
CRI	=	Color Reversal Intermediate (Farbwiedergabe)
СТ	=	Computertomografie
db	=	Dezibel (Einheit)
DIN	=	Deutsches Institut für Normung
EN	=	Europäische Norm
ESG	=	Einscheibensicherheitsglas
EUR	=	Euro (Norm)
F	=	Kraft
g	=	Gramm (Einheit)
ges.	=	gesamte
Hz	=	Hertz (Einheit)
IR	=	Infrarot
ISO	=	International Organization for Standardization
JPEG	=	Joint Photographic Experts Group (Bildkompression)
K	=	Kelvin (Einheit)
kg	=	Kilogramm (Einheit)
kPa	=	Kilopascal (Einheit)
Lig.	=	Ligamentum (lateinisch: Band)
m	=	Meter (Einheit)
m/w	=	männlich/weiblich
mm ⁽²⁾	=	Millimeter ^(zum Quadrat) (Einheit)
N	=	Newton (Einheit)
NEF	=	Rohdatenformat der Firma Nikon

Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen

nm	=	Nanometer (Einheit)
Р	=	Druck
Ра	=	Pascal (Einheit)
PDF	=	Portable Document Format
R _a	=	allgemeiner Farbwiedergabeindex
RAW	=	englisch: roh (Rohdatenformat)
RGB	=	Rot-Grün-Blau
S	=	spektrale Strahlungsverteilung
S	=	Sekunde (Einheit)
SLR	=	Single-Lens Reflex (Spiegelreflex)
Ug	=	Wärmedurchgangskoeffizient
UV	=	Ultraviolett
VIS	=	visible (englisch: sichtbar; Sichtbares Spektrum)
W	=	Watt (Einheit)
z.B.	=	zum Beispiel
ZAS	=	Zentrales Abweichsystem des Bundes
λ	=	Lambda

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: CT Fuß seitlich [DrN10]	
Abb. 2: Fußskelett [DrN10]	4
Abb. 3: Normalfuß [Spi10]	5
Abb. 4: Spreizfuß [Onm09]	7
Abb. 5: Plattfuß [Spi10]	7
Abb. 6: Senkfuß [Aca10]	
Abb. 7: Knickfuß [Spi10], [Das06]	
Abb. 8: Hohlfuß [Spi10]	
Abb. 9: Plantar Druck Emed	10
Abb. 10: Weg des Lichts [JHe05]	12
Abb. 11: Licht in Kamera [Ric09]	13
Abb. 12: Lichtspektrum [Che07]	14
Abb. 13: Farbtemperatur [Poe07]	15
Abb. 14: Grundfarben [Ste09]	17
Abb. 15: Additive Farbmischung [Ste09]	17
Abb. 16: Farbdreieck [HWe06]	
Abb. 17: Farbwürfel [HWe06]	
Abb. 18: Messbox	
Abb. 19: Skizze Messbox	
Abb. 20: Kamera & Lichtquellen	
Abb. 21: Standardlampe Clas B CL 25 [Osr10]	
Abb. 22: Concentra Spot R50 40 [Osr101]	
Abb. 23: Farbspektrum Glühlampe [erhalten per Email von Osram]	
Abb. 24: Druckmessplatte Emed [Nov10]	33
Abb. 25:Voreinstellungs-Zwischenfenster Adobe Photoshop	35
Abb. 26: Anwendung des Linealwerkzeug bei der Kalibrierungsmessung	
Abb. 27: Proband auf Messbox	39
Abb. 28: Proband auf Emed-Druckmessplatte	39
Abb. 29: Einstellung Tonwertkorrektur	40
Abb. 30: Freischneidung des Fußes	41
Abb. 31: Einstellung Farbton und Sättigung	42
Abb. 32: Farbkreis Adobe Photoshop	42

Abb.	33: Ausrichtung des Fußes an Bildkante	44
Abb.	34: Ausmessung der Füße	45
Abb.	35: Einstellung der Messskala	45
Abb.	36: Auswirkung der Ballengröße auf Fußlänge	46
Abb.	37: Ausmessung der gesamten Fußfläche	48
Abb.	38: Ausmessen der Fläche des Filters	49
Abb.	39: Ausmessen der Fläche der fehlerhaften Pixel	49
Abb.	40: Ausrichten des Emed-Abdrucks auf das Fußbild	50
Abb.	41: Fußbild	51
Abb.	42: Emed-Abdruck	52
Abb.	43: Fehlfarbenfilter 2	53
Abb.	44: Fehlfarbenfilter 1	53
Abb.	45: Fuß freigeschnitten	53
Abb.	46: Vergleich Emed-Abdruck mit Fehlfarbenfilter	55
Abb.	47: Fußabdrücke von Wiederholungsmessung	58
Abb.	48: Fußabdrücke bei Lichtquellen-Änderung	60
Abb.	49: Aufnahmen Proband 1 bis 3	74
Abb.	50: Aufnahmen Probanden 4 bis 6	75
Abb.	51: Aufnahmen Probanden 7 bis 9	76
Abb.	52: Aufnahmen Probanden 10 bis 12	77
Abb.	53: Aufnahmen Probanden 13 bis 15	78
Abb.	54: Aufnahmen Probanden 16 bis 18	79
Abb.	55: Aufnahmen Probanden 19 bis 21	80
Abb.	56: Aufnahmen Probanden 22 bis 24	81
Abb.	57: Aufnahmen Probanden 25 bis 27	82
Abb.	58: Aufnahmen Probanden 28 bis 30	83
Abb.	59: Aufnahmen Probanden 31 bis 33	84
Abb.	60: Aufnahmen Probanden 34 bis 35	85
Abb.	61: Datenblatt Glasscheibe	86
Abb.	62: Datenblatt Glühlampe CLAS B CL 25	87
Abb.	63: Datenblatt Glühlampe CONC R50 40	88
Abb.	64: Datenblatt Polarisationsfilter	89

Diagrammverzeichnis

Diagramm 1: Darstellung der Schuhgrößen-Klasseneinteilung zur Häufigkeit	63
Diagramm 2: Darstellung der Verteilung von Fersenbreite zur Ballenbreite	63
Diagramm 3: Darstellung des Gewichtes zur Kontaktfläche	65
Diagramm 4: Darstellung der Pixel-Fehlerfläche zum Gewicht	65
Diagramm 5: Darstellung der Emed-Druckfläche normiert auf die gesamte Fußfläc	he
	66
Diagramm 6: Abweichung Personenwaage	90

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Licht- und energietechnische Werte von Optiwhite nach DIN EN 410;	Ug-
Werte nach DIN EN 673 [Pil07]	. 28
Tabelle 2: Berechnung Kalibrierungsfaktor	. 37
Tabelle 3: Probanden-Datenblatt	. 38
Tabelle 4: Einstellungswerte Fehlfarben-Filter	. 43
Tabelle 5: Einstellungswerte Rot-Filter	. 43
Tabelle 6: Einstellungswerte Filter für andere Lichtquellen	. 43
Tabelle 7: Probandendaten von Vergleich	. 56
Tabelle 8: Probandendaten für Wiederholungsmessung	. 59
Tabelle 9: Fußlängenmaße Teil 1	. 61
Tabelle 10: Fußlängenmaße Teil 2	. 62
Tabelle 11: Einteilung der Fußlängen in Schuhgrößen	. 62
Tabelle 12: Bestimmung der Pixel-Fehlergröße	. 64
Tabelle 13: Fehlerberechnung Personenwaage	. 90

Ehrenwörtliche Erklärung

A. Erklärung des Kandidaten zur Diplomarbeit

(1) Prüfungsrechtliche Erklärung zur Anfertigung der Arbeit:

Hiermit erkläre ich, Philipp Karlin, dass ich die vorliegende Diplomarbeit mit dem Titel

Druckbestimmung an der Fußsohle mittels farblich codierter Fotografien zur Darstellung der Druckverteilung

selbstständig verfasst und keine anderen als die zulässigen und angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet und diese auch vollständig angegeben habe.

Ort, Datum, Unterschrift Kandidat

(2) Erklärung zur Einsichtnahme und Ausleihe in die Arbeit

Ich erkläre mich damit einverstanden*) / nicht einverstanden*), dass die Arbeit zu wissenschaftlichen Zwecken eingesehen*) bzw. ausgeliehen*) werden darf. Ich erkläre damit mein Einverständnis, dass die Arbeit weiteren als nur den im Prüfungsverfahren involvierten Personen zugänglich gemacht werden kann. Diese Erklärung kann von mir jederzeit widerrufen werden.

Ort, Datum, Unterschrift Kandidat

(3) Erklärung zum Urheberrecht

Ich erkläre mich damit einverstanden*) / nicht einverstanden*), dass einzelne Inhalte oder Ergebnisse dieser Arbeit zu wissenschaftlichen Zwecken von der Fachhochschule Gießen-Friedberg verwendet werden können. Hinsichtlich einer anderen Verwendung der Inhalte und Ergebnisse (z.B. freizügige Verwertung u.a.) ist mir bekannt, dass hierzu vorher das ausdrückliche Einverständnis der Referenten und eventuell beteiligter externer Institutionen von mir eingeholt werden muss.

Ort, Datum, Unterschrift Kandidat

B. Erklärung des Referenten zu Einsichtnahme bzw. Ausleihe

Ich erkläre mich damit einverstanden*) / nicht einverstanden*), dass die vorliegende Arbeit zu wissenschaftlichen Zwecken eingesehen*) bzw. ausgeliehen*) werden darf, sofern der Kandidat diesem unter Punkt A(2) nicht widersprochen hat. Es besteht ein striktes Ausleihverbot.*) / Es besteht kein Ausleihverbot.*)

Ort, Datum, Unterschrift Referent/in / ggf. Stempel

*) nicht zutreffendes durchstreichen, zutreffendes unterstreichen