UNIVERSITÄT HAMBURG

Abteilung für Sport- und Bewegungsmedizin
Leitung: Prof. Dr. med. Klaus-Michael Braumann

Die Wirksamkeit einer neuartigen post-operativen Bandage nach Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin an der Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg

vorgelegt von

Jan Hendrik Hellmann
aus Marburg

Hamburg 2014

Angenommen von der
Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg am: 06.01.2015

Veröffentlicht mit Genehmigung der
Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg.

Prüfungsausschuss, der Vorsitzende: Prof. Dr. med. K.-M. Braumann

Prüfungsausschuss, zweiter Gutachter: Prof. Dr. med. R. Reer

Prüfungsausschuss, dritter Gutachter: Prof. Dr. med. J. M. Rueger

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 1
1.1 Anatomie des Kniegelenks 2
1.2 Ruptur des vorderen Kreuzbandes 3
1.3 Epidemiologie 4
1.4 Therapie 5
1.5 Rehabilitation 8
1.6 Schwellung, Erguss und Ödembildung 12
1.6.1 Pathophysiologie der Ödembildung 13
1.7 Kompressionstherapie zur Reduktion von Ödemen 15
1.8 Vorausgehende Überlegungen und Hypothesen 18
1.8.1 Hypothesen 19
2 Patienten und Methoden 20
2.1 Patienten 20
2.1.1 Versuchsplan 20
2.1.2 Einschlusskriterien 20
2.1.3 Ausschlusskriterien 21
2.1.4 Abbruchkriterien 21
2.1.5 Votum Ethikkommission 22
2.1.6 Bauerfeind Post-OP-Bandage 22
2.1.7 Kompressionsstrumpf: Bauerfeind VenoTrain Soft 24
2.1.8 Kniegelenksorthese: SecuTec Genu 25
2.2 Methoden 25
2.2.1 Randomisierug 25
2.2.2 Eingangsuntersuchungen und- Vermessungen 25
2.2.3 Untersuchung der Beweglichkeit mittels Plurimeter 26

2.2.4 Ermittlung des Beinvolumens mittels Image-3D 28
2.2.5 Fertigung der Bandage und der Kompressionsstrümpfe 29
2.2.6 Operative und postoperative Versorgung 30
2.2.7 Schmerzmessung mittels visueller Analog-Skala (VAS) 30
2.2.8 Postoperative Nachuntersuchungen 31
2.2.9 Zusammenfassung des Studienablaufs 34
2.2.10 Flussdiagramm Studienablauf 35
2.2.11 Datenerhebung und statistische Auswertung 36
3 Ergebnisse 37
3.1 Allgemeine Patientenstatistik 37
3.2 Kompressionsstrümpfe 37
3.2.1 Patientendaten 37
3.2.2 Allgemeine Beobachtungen 38
3.2.3 Ergebnisse der Vor- und Nachuntersuchungen 39
3.3 Beinvolumenmessungen 39
3.4 Knieumfang 42
3.5 Beweglichkeit 44
3.6 Schmerz 47
3.7 Korrelationsanalysen 48
3.7.1 Beinvolumen und Schmerz 49
3.7.2 Beinvolumen und Beweglichkeit 52
3.7.3 Knieumfang und Schmerz 57
3.7.4 Knieumfang und Beweglichkeit 62
3.7.5 Beweglichkeit und Schmerz 66
3.8 Post-OP-Bandage 72
3.8.1 Patientendaten 72
3.8.2 Ergebnisse der Vor- und Nachuntersuchungen 72
3.8.3 Patient 1 73

3.8.3.1 Beinvolumen ... 73
3.8.3.2 Knieumfang ... 74
3.8.3.3 Beweglichkeit ... 75
3.8.3.4 Schmerz ... 76
3.8.4 Patient 2 ... 76
3.8.4.1 Beinvolumen ... 83
3.8.4.2 Knieumfang ... 84
3.8.4.3 Beweglichkeit ... 85
3.8.4.4 Schmerz ... 86
3.8.5 Patient 3 ... 87
3.8.5.1 Beinvolumen ... 90
3.8.5.2 Knieumfang ... 90
3.8.5.3 Beweglichkeit ... 91
3.8.5.4 Schmerz ... 91
4 Diskussion ... 92
4.1 Diskussion der Methodik ... 94
4.1.1 Messung des Beinvolumens ... 95
4.1.2 Messung der Beweglichkeit ... 96
4.1.3 Messung des Schmerzes ... 96
4.2 Diskussion der Ergebnisse ... 97
4.2.1 Kompressionsstrümpfe ... 97
4.2.2 Post-OP Bandage ... 106
4.3 Fazit ... 107
5 Zusammenfassung ... 110
6 Summary ... 112
7 Literaturverzeichnis ... 114
8 Danksagung ... 126
9 Datenaufbewahrung ... 127

10 Anhang 128
10.1 Patientenstatistik 128
10.1.1 VenoTrain Soft 128
10.1.1.1 Statistik Beinvolumen 128
10.1.1.2 Statistik Knieumfang 134
10.1.1.3 Statistik Beweglichkeit 140
10.1.1.4 Statistik Schmerz 149
10.1.2 Post-OP Bandage 153
10.1.2.1 Statistik Beinvolumen 153
10.1.2.2 Statistik Knieumfang 154
10.1.2.3 Statistik Beweglichkeit 155
10.1.2.4 Statistik Schmerz 157
10.2 EG-Konformitätserklärung Bauerfeind Image-3D 158
10.3 EG-Konformitätserklärung Bauerfeind-Produkte 159
11 Eidesstattliche Erklärung 161

Abkürzungsverzeichnis

AM	arithmetischer Mittelwert
ANOVA	analysis of variance
Art.	Articulatio
BMI	Body Mass Index
bspw.	Beispielsweise
bzw.	Beziehungsweise
ca.	Circa
et al.	et altera
Ext.	Extension
Flex.	Flexion
F-Test	Friedman-Test
hKB	hinteres Kreuzband
ICD-10	International Classification of Diseases, 10th Revision
IKDC	International Knee Documentation Committee
IPK	Intermittierende pneumatische Kompression
KI	Konfidenzintervall
KOOS	Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score
KS-Test	Kolmogorov-Smirnov-Test
K-TEP	Knietotalendoprothese
Lig.	Ligamentum
Ligg.	Ligamenta
M.	Musculus
Mm.	Musculi
MW	Mittelwert
MWU-Test	Mann-Whitney-U-Test
N	Anzahl
OP	Operation
OPS	Operationen- und Prozedurenschlüssel
p-Wert	Signifikanzkoeffizient p
R	Korrelationskoeffizient r

SD	Standardabweichung
Tab.	Tabelle
u.U.	unter Umständen
VAS	visuelle Analog-Skala
vKB	vorderes Kreuzband
W-Test	Wilcoxon-Test

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Post-OP-Bandage, geschlossen 23
Abbildung 2: Post-OP-Bandage, geöffnet. Hufeisenförmiges Gelkissen proximal der Kniescheibe 23
Abbildung 3: VenoTrain Soft. Kompressionsstrümpfe der Kompressionsklasse II 24
Abbildung 4: Plurimeter 26
Abbildung 5: Messung der Kniegelenksflexion mittels Plurimeter 27
Abbildung 6: Patient bei der Beinvolumenmessung mittels Image-3D 29
Abbildung 7: Patient bei der Beinvolumenmessung mittels Image-3D 29
Abbildung 8: Visuelle Analog-Skala (VAS) 31
Abbildung 9: Probandenlaufzettel 33
Abbildung 10: Flussdiagramm Studienablauf 35
Abbildung 11: Altersverteilung Interventionsgruppe 38
Abbildung 12: Beinvolumen in Litern gemessen mittels Bauerfeind Image-3D 40
Abbildung 13: Beinvolumen in Prozent der Erstmessung 41
Abbildung 14: absoluter Knieumfang in cm 43
Abbildung 15: Relativer Knieumfang im Vergleich zur Erstmessung 43
Abbildung 16: Maximale Beweglichkeit erreicht 45
Abbildung 17: Extension und Flexion des operierten Kniegelenks 46
Abbildung 18: Extension und Flexion des nicht-operierten Kniegelenks 47
Abbildung 19: Ergebnisse der Schmerzmessungen 48
Abbildung 20: Korrelation Beinvolumen und Schmerz Woche 1 49
Abbildung 21: Korrelation Beinvolumen und Schmerz Woche 2 50
Abbildung 22: Korrelation Beinvolumen und Schmerz Woche 3 51
Abbildung 23: Korrelation Beinvolumen und Schmerz Woche 4 52
Abbildung 24: Korrelation Beinvolumen und Beweglichkeit Woche 1 53
Abbildung 25: Korrelation Beinvolumen und Beweglichkeit Woche 2 54
Abbildung 26: Korrelation Beinvolumen und Beweglichkeit Woche 3 55
Abbildung 27: Korrelation Beinvolumen und Beweglichkeit Woche 4 56
Abbildung 28: Korrelation Knieumfang und Schmerz Woche 1 58

Abbildung 29: Korrelation Knieumfang und Schmerz Woche 2 59
Abbildung 30: Korrelation Knieumfang und Schmerz Woche 3 60
Abbildung 31: Korrelation Knieumfang und Schmerz Woche 4 61
Abbildung 32: Korrelation Knieumfang und Beweglichkeit Woche 1 63
Abbildung 33: Korrelation Knieumfang und Beweglichkeit Woche 2 64
Abbildung 34: Korrelation Knieumfang und Beweglichkeit Woche 3 65
Abbildung 35: Korrelation Knieumfang und Beweglichkeit Woche 4 66
Abbildung 36: Korrelation Beweglichkeit und Schmerz Woche 1 67
Abbildung 37: Korrelation Beweglichkeit und Schmerz Woche 2 a) 68
Abbildung 38: Korrelation Beweglichkeit und Schmerz Woche 2 b) 69
Abbildung 39: Korrelation Beweglichkeit und Schmerz Woche 3 70
Abbildung 40: Korrelation Beweglichkeit und Schmerz Woche 4 71
Abbildung 42: Patient 1 – Beinvolumen..... 73
Abbildung 43: Patient 1 – Knieumfang 74
Abbildung 44: Patient 1 – Beweglichkeit 75
Abbildung 45: Patient 1 - Schmerz 76
Abbildung 46: Patient 2 linkes Knie von ventromedial. Erste Woche postoperativ 78
Abbildung 47: Patient 2 – linkes Bein von ventromedial. Die Post-OP-Bandage eine Woche postoperativ mit Faltenbildung im Bereich des Kniegelenks und lockerem Sitz im Bereich der Wadenmuskulatur 78
Abbildung 48: Patient 2 – linkes Bein von ventromedial. Die Post-OP-Bandage eine Woche postoperativ mit geöffnetem Fenster im Bereich des Kniegelenks 79
Abbildung 49: Patient 2 – linkes Knie von lateral. Druckstellen 10x1 cm in Längsrichtung, rechtwinklig hierzu ca. sechs 3-5 cm lange Druckstellen 79
Abbildung 50: Patient 2 – linkes Bein von lateral. Post-OP-Bandage, Faltenbildung im Bereich der Kniekehle 80
Abbildung 51: Patient 2 – linkes Bein von lateral. Die Post-OP-Bandage mit Knieorthese, Faltenbildung direkt unter den Längsstreben und dem Gelenk der Orthese 81
Abbildung 52: Patient 2 – linkes Bein von medial. Vier Wochen postoperativ beim Tragen der Post-OP-Bandage, lockerer Sitz im Bereich des Oberschenkels 82
Abbildung 53: Patient 2 – Beinvolumen..... 83
Abbildung 54: Patient 2 – Knieumfang 84

Abbildung 55: Patient 2 – Beweglichkeit 85
Abbildung 56: Patient 2 – Schmerz 86
Abbildung 57: Patient 3 – rechtes Knie von lateral. Fester Sitz der Post-OP-Bandage nach einer Woche postoperativ, geschlossen 88
Abbildung 58: Patient 3 – rechtes Bein von lateral. Geöffnete Post-OP-Bandage eine Woche postoperativ. Lateralseitig sind vier Hauterosionen erkennbar 88
Abbildung 59: Patient 3 – rechtes Knie von lateral. Hauterosionen..... 89
Abbildung 60: Patient 3 – rechtes Bein von lateral. Post-OP-Bandage und Knieorthese mit Faltenbildung im Bereich der Kniekehle 89
Abbildung 61: Patient 3 – Knieumfang 90
Abbildung 62: Patient 3 – Beweglichkeit 91

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Erstmessung 28
Tabelle 2: Korrelation Beinvolumen und Schmerz Woche 1 49
Tabelle 3: Korrelation Beinvolumen und Schmerz Woche 2 50
Tabelle 4: Korrelation Beinvolumen und Schmerz Woche 3 51
Tabelle 5: Korrelation Beinvolumen und Schmerz Woche 4 52
Tabelle 6: Korrelation Beinvolumen und Beweglichkeit Woche 1 53
Tabelle 7: Korrelation Beinvolumen und Beweglichkeit Woche 2 54
Tabelle 8: Korrelation Beinvolumen und Beweglichkeit Woche 3 55
Tabelle 9: Korrelation Beinvolumen und Beweglichkeit Woche 4 56
Tabelle 10: Korrelation Knieumfang und Schmerz Woche 1 58
Tabelle 11: Korrelation Knieumfang und Schmerz Woche 2 59
Tabelle 12: Korrelation Knieumfang und Schmerz Woche 3 60
Tabelle 13: Korrelation Knieumfang und Schmerz Woche 4 61
Tabelle 14: Korrelation Knieumfang und Beweglichkeit Woche 1 63
Tabelle 15: Korrelation Knieumfang und Beweglichkeit Woche 2 64
Tabelle 16: Korrelation Knieumfang und Beweglichkeit Woche 3 65
Tabelle 17: Korrelation Knieumfang und Beweglichkeit Woche 4 66
Tabelle 18: Korrelation Beweglichkeit und Schmerz Woche 1 67
Tabelle 19: Korrelation Beweglichkeit und Schmerz Woche 2 69
Tabelle 20: Korrelation Beweglichkeit und Schmerz Woche 3 70
Tabelle 21: Korrelation Beweglichkeit und Schmerz Woche 4 71

1 Einleitung

Mit steigendem Interesse der Gesellschaft an sportlicher Aktivität in der Freizeit ist das Auftreten von Verletzungen des vorderen Kreuzbandes kontinuierlich gestiegen. Auch im Leistungs- und Profisport kommen diese häufig vor[31,80,85].

In den 1960er und 70er Jahren bedeutete die Ruptur des vorderen Kreuzbandes aufgrund der noch limitierten Behandlungsmöglichkeiten häufig lange Verletzungspausen, Sportinvalidität oder bei Profisportlern sogar das Ende der Karriere [80].

Die Verletzung stellt für Patienten eine große Herausforderung dar, die sie durch die lange Rehabilitationsphase auch psychisch fordert und eine Umstellung der Lebensgewohnheiten zur Folge haben kann[118].

Für die Gesellschaft entstehen durch die meist operative Therapie und die lange Rehabilitationsphase erhebliche Kosten. In der Schweiz werden die Ausgaben pro Kreuzbandruptur auf 21.000 Franken geschätzt[43]. Allein in den USA wird von ca. 3 Milliarden US-Dollar Behandlungskosten pro Jahr ausgegangen[21]. Diese Zahlen verdeutlichen die volkswirtschaftliche Relevanz dieser Verletzung.

Im Rahmen der Kommerzialisierung des Sports sind darüber hinaus nicht nur die Sportler selbst durch die Verletzung betroffen, sondern auch Mannschaften und auf wirtschaftlicher Ebene die Vereine. Profisportler bedeuten eine hohe Investition. Bei einem langfristigen Ausfall von Leistungsträgern drohen sportlicher Abstieg[99] und finanzielle Einbußen.

Die operative Therapie hat in den vergangenen Jahrzehnten große Fortschritte gemacht, sodass die meisten Sportler nach Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes auf ihr früheres Aktivitätsniveau zurückkehren können[80].

Trotzdem weisen die Langzeitergebnisse nach Kreuzbandruptur auf ein erhöhtes Risiko für sekundäre Verletzungen der Menisken und die Entstehung von Osteoarthrose hin[14,110].

Eine wichtige Komponente der Therapie der Ruptur des vorderen Kreuzbandes stellt die Rehabilitation dar[56]. Einige Autoren teilen ihr die Schlüsselrolle in der erfolgreichen Behandlung zu[83]. In der frühen postoperativen Phase behindern

besonders Schwellung, Erguss und Ödem ein Voranschreiten im Rehabilitationsprotokoll[118].

Nur wenige Studien haben sich bisher mit dieser Problematik beschäftigt.

1.1 Anatomie des Kniegelenks

Das Kniegelenk (Art. genu) stellt das größte Gelenk des Menschen dar und dient in erster Linie der Fortbewegung[4]. Es wird aus drei miteinander artikulierenden Knochen gebildet: Femur, Tibia und Patella. Sie formen die in einer gemeinsamen Kapsel liegenden Femorotibial- und Femoropatellargelenke[114]. Die artikulierenden Enden der Knochen sind mit hyalinem Knorpel vom Kollagen Typ II überzogen, um die auftretenden Stoß- und Reibungskräfte zu minimieren.

Die Femorotibialgelenke werden durch die Femurkondylen und das Tibiaplateau gebildet. Ihre Gelenkflächen, insbesondere die lateralen Anteile, sind inkongruent[13]. Diese Inkongruenz wird durch die halbmondförmigen verschieblichen Menisken ausgeglichen und die druckübertragende Fläche vergrößert [79,90].

Zwischen den Femurkondylen liegt die Facies patellaris, die das Gleitlager für die Patella darstellt. Die Patella verlängert, in der Sehne des M. quadriceps femoris liegend, als Hypomochlion dessen Hebelarm. Gemeinsam mit dem Femur bildet sie das Femoropatellargelenk.

Halt erfährt das Kniegelenk trotz geringer Knochenführung passiv durch einen kräftigen und komplexen Kapsel-Bandapparat sowie aktiv durch die Muskulatur.

Die Kollateralbänder (Ligg. Collateralia tibiale und fibulare) verstärken die Gelenkkapsel seitlich und stützen das Kniegelenk in der Frontalebene[79]. So wirken sie in erster Linie Varus- und Valgusstress sowie Rotationskräften entgegen.

Das vordere Kreuzband (Lig. cruciatum anterius, vKB) verläuft von der Area intercondylaris anterior tibiae zur medialen Fläche des lateralen Femurcondylus[79].

Es ist eine kollagenöse Struktur mit einer ungefähren Länge von 38 mm und

einer Dicke von 10 mm, die sich in zwei funktionelle Hauptbündel unterteilen lässt. Das anteromediale Bündel spannt hauptsächlich in Flexionsstellung und das posterolaterale Bündel in Extensionsstellung[89,110]. Studien an Kreuzbändern von Leichen konnten zeigen, dass das vKB hauptsächlich einer anterioren Translationsbewegung der Tibia in Relation zum Femur entgegenwirkt. Darüber hinaus stabilisiert es bei Rotationsbewegungen sowie bei Varus- und Valgusstress[14].

Das kräftigere hintere Kreuzband (Lig. Cruciatum posterius, hKB) verläuft etwa rechtwinklig zum vorderen von der Area intercondylaris posterior zur lateralen Fläche des medialen Femurkondylus. Es verhindert die posteriore Translation der Tibia gegen das Femur. Zudem spannt es bei Knieflexion vermehrt an und wird hier zu einem Hauptstabilisator.

Funktionell betrachtet ist das Kniegelenk „ein Scharniergelenk mit zusätzlicher Gleitachse und in Beugestellung auch ein Drehgelenk (Trochoginglymus)“[90]. Dadurch erreichen die meisten Personen eine Beugung von bis zu 160° passiv[90], eine Extension von 5-6°[118] sowie in Beugestellung eine Außenrotation von 40° und eine Innenrotation von 10°[90].

1.2 Ruptur des vorderen Kreuzbandes

Die Stabilität im Kniegelenk wird durch das Zusammenwirken von Muskeln und Bändern erreicht. Besonders die Kreuzbänder nehmen hier eine tragende Rolle ein.

Aufgrund der starken Kräfte, die auf das vordere Kreuzband einwirken und dessen im Verhältnis zum hinteren Kreuzband geringeren Durchmessers, ist dieses gefährdeter zu reißen[12]. Die größten Belastungen für das vordere Kreuzband werden insbesondere bei dynamischen Sportarten mit plötzlichen Richtungswechseln und Springen wie Fußball, Basketball oder Handball sowie beim Skifahren generiert[10]. So kommt es auch in diesen Sportarten zu einem Großteil der Verletzungen[5,85,108].

Der Verletzungsmechanismus kann aufgeteilt werden in „Kontakt-Verletzungen“ und „Nicht-Kontakt-Verletzungen“. Der Anteil an „Nicht-Kontakt-

Verletzungen“ liegt mit ca. 70% zu 30% bei „Kontakt-Verletzungen“ deutlich höher[54].

Die „Nicht-Kontakt-Verletzungen“ entstehen im typischen Fall bei zu starkem Stress auf das vordere Kreuzband aufgrund einer Vorwärtsverschiebung der Tibia, die durch Abbremsen nach einem Sprung oder Richtungswechsel bei gestrecktem oder fast gestrecktem Kniegelenk und gleichzeitiger Streckstellung im Hüftgelenk, kombiniert mit Kontraktion der Quadrizepsmuskulatur und insuffizienter Kontraktion der ischiocruralen Muskulatur, entsteht. Gewichtsverlagerung auf die Ferse und Rotationsbewegungen erhöhen ebenfalls den Stress für das Kreuzband und damit die Gefahr zu rupturieren[124].

Bei den „Kontakt-Verletzungen“ liegt meist eine Fixierung des Unterschenkels in Kombination mit einer Rotationsbewegung im Kniegelenk vor[25].

1.3 Epidemiologie

Die genaue Anzahl an Rupturen des vorderen Kreuzbandes in Deutschland ist nicht bekannt. Gianotti et al.[44] konnten 2009 in einer in Neuseeland durchgeführten Studie eine Inzidenz von 36.9 Verletzungen pro 100.000 Personenjahre beobachten. Allein in den USA werden 80-200.000 Neuverletzungen pro Jahr geschätzt[18,46,47] mit einer Prävalenz von 1/3000 Einwohnern. Eine Studie von Brophy et al.[21] geht von ca. 200.000 Kreuzbandoperationen pro Jahr in den USA aus.

Frauen sollen im Verhältnis zu Männern bis zu neunmal häufiger betroffen sein[50,131]. Darüber hinaus verletzen sich besonders junge Menschen das Kreuzband. In der Gruppe der 15-45-jährigen liegt in den USA die Inzidenz signifikant höher im Vergleich zu der Gesamtpopulation[27]. Laut Kannus et al.[65] erreicht die Inzidenz ihren Höhepunkt in der Altersgruppe zwischen 15 und 25 Lebensjahren.

Auch die Intensität der körperlichen Betätigung spielt eine Rolle[16,58]. Circa 70% der Kreuzbandrupturen ereignen sich bei sportlicher Aktivität[53]. Im amerikanischen College-Sport wurde über einen Zeitraum von 16 Jahren beobachtet, dass Kreuzbandrupturen die zweithäufigste Verletzung der unteren

Extremität ausmachten[2,7,8,58].

Darüber hinaus ist auch eine Zunahme der Inzidenz an Kreuzbandverletzungen zu beobachten. Dies wird zum einen dem gesteigerten Interesse an sportlicher Betätigung in der Freizeit zugeschrieben[80] und zum anderen den fortgeschrittenen diagnostischen Möglichkeiten. Die Kernspintomografie beispielsweise weist eine Sensitivität und Spezifität bei vKB-Ruptur zwischen 75 und 95% beziehungsweise 95 und 100% auf[112]. Durch die Ausbreitung der Kernspintomografie steigt folglich auch die Zahl der Diagnosen.

1.4 Therapie

Nach der Ruptur des vKB klagen viele Patienten neben Schmerzen über ein Instabilitätsgefühl und „Wegknicken“ des Kniegelenks besonders während sportlicher Betätigung[76]. Andere Patienten beobachten hingegen subjektiv kaum bis gar keine Einschränkungen. Unabhängig von den akuten Beschwerden, erhöht die vKB-Ruptur signifikant die Gefahr im Krankheitsverlauf eine Osteoarthrose im betroffenen Knie zu entwickeln[81].

Bereits in den 70er Jahren des letzten Jahrhunderts bezeichneten Torg et al.[135] die Ruptur des vKB als „Anfang vom Ende des Knies“. Trotz aller Fortschritte in den Therapiemöglichkeiten kommt es auch über 40 Jahre später noch im Verlauf nach vKB-Rupturen bei vielen Patienten zur Ausbildung sekundärer Verletzungen der Kniebinnenstrukturen sowie von Osteoarthrose[94]. Lohmander et al.[81] berichten, dass 10 bis 20 Jahre nach Diagnosestellung im Durchschnitt 50% der Patienten eine Osteoarthrose mit Schmerzen und Funktionsverlust aufweisen. Dabei darf nicht vergessen werden, dass die Kreuzbandverletzung selbst in der Regel bereits in jungen Jahren auftritt und somit junge Patienten mit arthrotischen Knien vorkommen, deren Therapie sich besonders schwierig gestaltet.

Die Entstehung der Arthrose wird dadurch erklärt, dass der Verlust des vKB in einer Desintegration der Roll-Gleitbewegung zwischen Femur und Tibia resultieren kann[112]. Bei der Tibiatranslationsbewegung werden dann die Hinterhörner der Menisken vermehrt zur Abbremsung eingesetzt, was zu einer

chronischen Überbeanspruchung und Schädigung dieser Strukturen führen kann. Der Zustand der Menisken wiederum beeinflusst den weiteren Verlauf des Degenerationsprozesses maßgeblich[112]. Neben Meniskusschäden spielen Knorpelschäden beim Verletzungszeitpunkt eine maßgebliche Rolle im Krankheitsprozess, aber auch Alter und verändertes Gangbild[64,94].

Die Herausforderung in der Therapie der vKB-Ruptur liegt einerseits darin die Funktionalität des Kniegelenks wieder herzustellen und andererseits die Entwicklung einer Osteoarthrose zu bremsen. Hierfür kommen sowohl konservative als auch operative Therapiemaßnahmen in Frage. In der Literatur herrscht keine Einigkeit darüber, welche Therapie langfristig überlegen erscheint[28].

Viele Autoren und Beobachtungen aus der Praxis legen nahe, dass junge Patienten, Profisportler oder sportlich sehr aktive Patienten eine operative Rekonstruktion erhalten sollten. Ohne eine operative Rekonstruktion kann möglicherweise eine ausreichende Stabilität im Kniegelenk bei hohem Aktivitätsgrad für diese nicht mehr gegeben sein[128]. Umgekehrt wird die konservative Therapie eher bei älteren Patienten angewendet, die ohne Rekonstruktion nicht über Symptome wie Instabilität oder Wegsacken des Beines klagen und die stärkere Belastungen, beispielsweise durch Kontakt-, Ball- oder Skisportarten, nicht ausüben wollen[61,89] bzw. bereit sind, ihre Sportgewohnheiten zugunsten von Sportarten wie Schwimmen und Fahrradfahren zu modifizieren[89].

Frobell et al.[40] konnten in ihrer Studie aus dem Jahr 2010 jedoch zeigen, dass nach einem Zeitraum von zwei Jahren auch junge Erwachsene mit vKB-Ruptur, die eine Behandlungsstrategie aus Rehabilitation und früher Operation durchliefen, keine besseren Ergebnisse aufwiesen als Patienten, bei denen eine Rehabilitation mit optionaler Operation im Verlauf durchgeführt wurde. In der Konsequenz wurde die Anzahl an durchgeführten Operationen halbiert. Auch nach fünf Jahren Beobachtungszeitraum kamen sie zu diesen Ergebnissen. Für sekundäre Meniskusläsionen oder Anzeichen von Arthrose konnten keine signifikanten Unterschiede in den Gruppen nachgewiesen werden[40,41]. Andere Autoren[76,105,122] sehen die Schlüsse von Frobell et al. sehr kritisch und betonen die Wichtigkeit der frühzeitigen Operation zur Vermeidung meniskaler Läsionen und konsekutiver Osteoarthrose.

Linko et al. [78] identifizierten 2005 in ihrem Review lediglich zwei randomisierte Studien aus den 80er Jahren des letzten Jahrhunderts, die operative und konservative Therapie miteinander verglichen. Dabei stellten sie fest, dass es zwar Hinweise für eine verbesserte Stabilität durch die operative Therapie gebe, jedoch auch die konservative Therapie zufriedenstellende Ergebnisse liefere. 2012 kamen Delincé et Ghafil[28] in ihrem Review zu einem ähnlichen Fazit. Maffuli et al.[82] folgerten 2013 daher, dass die Hauptindikation zur operativen Versorgung der vKB-Ruptur die Therapie des „Symptoms funktionelle Instabilität“ darstelle.

Auf der anderen Seite beobachteten Strehl et Eggli[132] 2007, dass trotz Screening-Untersuchungen nach Patienten mit nur geringer klinischer Symptomatik 2/3 ihrer konservativ behandelten Probanden im Verlauf eine operative Rekonstruktion benötigten, lediglich 1/3 zeigte gute bis sehr gute Ergebnisse.

Aufgrund der Uneinigkeit in dieser Fragestellung, aber auch der unterschiedlichen klinischen Beschwerden der einzelnen Patienten, ist eine generelle Therapieempfehlung kaum möglich. So betonen Levy et al.[76], dass die Entscheidung für oder gegen eine Therapieform individuell an Knie- und Patientenbedürfnis angepasst werden sollte.

Im Rahmen der konservativen Therapie werden eine Vielzahl physiotherapeutischer Maßnahmen wie Kryo-, Elektro- und manuelle Therapie, aktive und passive Krankengymnastik und Geräte gestützte Therapie, genutzt. Zusätzlich können nicht- steroidale Antiphlogistika verabreicht werden[33]. Im Gegensatz zu den meisten anderen Bändern des Körpers, beispielsweise dem medialen Seitenband des Kniegelenks (MCL), ist eine Zusammenheilung durch Ruhigstellung und Vernarbung oder operative Bandnaht des vKB nicht möglich, bzw. nicht erfolgreich. Die Raten des Nicht-Zusammenheilens bzw. des Heilens mit zu großer Laxität im Kniegelenk sind sehr hoch[34,66,123]. Die Bandnaht wird daher aktuell nicht als Therapieoption angesehen.

In den 70er und 80er Jahren des letzten Jahrhunderts wurden große Hoffnungen in den synthetischen vKB-Ersatz gesetzt. Die Langzeitergebnisse bei Materialien wie GoreTex, Dacron, Kohlefaser oder Kennedy-LAD waren jedoch aufgrund von Prothesenruptur, Synovialitiden und konsekutiver Arthrose-Entstehung nicht überzeugend[45,92].

Bei der operativen Therapie hat sich daher die Rekonstruktion des vKB durch autologe Transplantate, insbesondere durch die Patellarsehne oder ischiokrurale Muskelsehnen, durchgesetzt. Im Langzeitvergleich erwiesen sich diese beiden Methoden als gleichwertig[35,77,88,110].

Als nachteilig bei der Verwendung der Patellarsehe werden die Entnahmestellenmorbidität sowie eine postoperative femoropatellare Schmerzsymptomatik genannt. Den ischiokruralen Muskelsehnen wird eine im Vergleich erschwerte Fixierung im Knochen nachgesagt, da hier das Transplantat keinen Knochen enthält[19,38,88] .

Neuere Trends versuchen eine Wiederherstellung einzelner Bündel des Kreuzbandes. Diese Technik konnte keine statistisch signifikanten Verbesserungen im Vergleich zur Einzelbündeltechnik zeigen[88,89].

1.5 Rehabilitation

Die operative Rekonstruktion des vKB bleibt die häufigste Methode dem Knie nach vKB-Ruptur mechanische Stabilität zu verleihen. Mit den steigenden Operationszahlen, der größeren Routine und der besseren Vorhersehbarkeit bezüglich der postoperativen Ergebnisse steigt sowohl bei den Patienten als auch den behandelnden Ärzten der Wunsch, nicht nur eine Rückkehr zum Sportniveau vor der Verletzung, sondern auch eine frühere Teilhabe am Alltagsleben, wie zum Beispiel in Beruf oder Ausbildung, zu erreichen[83]. Tatsächlich kehren jedoch weniger Patienten als vermutet zu ihrem Ausgangsaktivitätsniveau zurück. Eine Meta-Analyse von Ardern et al.[6] aus dem Jahr 2011 untersuchte 5770 Patienten aus 48 Studien und kam zu den Ergebnissen, dass 82 % der Studienteilnehmer zwar wieder Sport trieben, jedoch nur 63 % auf dem Niveau wie vor der Verletzung und nur 44 % Sport unter Wettkampfbedingungen.

Carey et al.[23] beobachteten 2006, dass 80% der Wide-Receiver und Running-Backs in der NFL nach vKB-Rekonstruktion in den Profisport zurückkehrten, allerdings reduzierte sich ihre statistische Leistung (Touchdowns, zurückgelegte Yards etc.) um ca. 1/3.

Angesichts der Schwere der Kreuzbandverletzung, des oftmals reduzierten Aktivitätsniveaus und der möglichen Spätfolgen nimmt die Nachbehandlung der vKB-Rekonstruktion daher eine Schlüsselrolle im Gesamttherapiekonzept ein[56,83].

Einigkeit herrscht über die langfristigen Ziele der Nachbehandlung bei Kreuzbandpatienten. Hierzu gehören die Verhinderung der Schädigung weiterer Kniebinnenstrukturen aufgrund der vKB-Verletzung wie Meniskusschaden oder Osteoarthrose, die Wiederherstellung von Beweglichkeit sowie Stärkung der Muskulatur der unteren Extremität und Verbesserung der neuromuskulären Koordination, um letztlich die Rückkehr zum Aktivitätsgrad vor der Verletzung zu erreichen.

Viele Aspekte der Rehabilitation nach vKB-Rekonstruktion sind bereits in Studien untersucht worden. Einheitliche Behandlungsrichtlinien weist die Literatur jedoch nicht aus. In den letzten Jahren sind einige Reviews erschienen[14,48,72,143,144], die auf Grundlage der erforschten Teilgebiete versuchten, Protokolle für die Rehabilitation zu erstellen.

Zu den untersuchten Inhalten zählten u.a. Zeitpunkt und Ausmaß der postoperativen Belastung und Bewegung, Rückkehr zum Sport, die Anwendung von „Continuous Passive Motion“-Geräten, „Closed oder Open Chain Kinetic Exercise“, Orthesenversorgung, neuromuskuläre Stimulation, aber auch psychologische Aspekte.

Während bei vielen dieser Therapieinhalte noch keine Klarheit herrscht und weitere Studien gefordert werden, kristallisiert sich dennoch ein insgesamt progressives Vorgehen mit frühzeitiger Bewegung und Belastung des Kniegelenks sowie dem Verzicht auf Orthesenversorgung heraus[48,72,144].

In der akuten Phase der Rehabilitation sollen hier meist Schwellung und Schmerz reduziert und daneben eine volle Streckung und Mobilisation der Patella erreicht werden, um Narbenbildung zu verringern. Auch wird eine rasche Belastung des Knies anvisiert.

Spätere Ziele sind Wiedererlangen und Beibehaltung des vollen Bewegungsausmaßes, Verbesserung der Propriozeption und Balance, Stärkung und Koordination der Quadricepsmuskulatur sowie der Hüft- und Haltemuskulatur[89]. In der Regel wird hiermit nach etwa 3-4 Monaten sportliche

Betätigung wie Joggen wieder erreicht. Knie belastende Sportarten können oft nach 6 Monaten wieder aufgenommen werden[48].

Als Voraussetzung für eine frühe funktionelle Nachbehandlung wird eine Belastung des Transplantats postoperativ von einigen Hundert Newton sowie die vollständige Gelenkbeweglichkeit am Ende der Operation angesehen[37]. Mit den heute angewandten Operationstechniken kann dies in der Regel erreicht werden.

Noch zu Beginn der 80er Jahre wurden nach vKB-Ersatz konservative Rehabilitationskonzepte mit Immobilisation und längerer Entlastung umgesetzt. 1981 stellten Paulos et al.[98] die frühzeitige passive Bewegung des Kniegelenks als Therapiekonzept vor, welches später auch von anderen Autoren übernommen wurde[119]. Im Verlauf des Jahrzehnts beobachteten Shelbourne et al.[119], dass Patienten, die eine geringere Compliance bei ihrem damals verwendeten zurückhaltenden Rehabilitationsprotokoll nach Operation mit Patellarsehnentransplantat aufwiesen, die besseren Ergebnisse zeigten. Daraufhin veränderten sie ihr Rehabilitationsprotokoll und ließen bei ihren Patienten unter anderem unmittelbar postoperativ volle Belastung zu sowie frühe Bewegungstherapie[116]. Die Resultate zeigten im Vergleich zur früher durchgeführten postoperativen Immobilisierung des Kniegelenks eine bessere Beweglichkeit und Kniefunktion sowie geringere Muskelhypotrophie[120].

In Tiermodellen zeigte sich ein Verlust der Reißfestigkeit mit einer Teilnekrose des vKB-Transplantats nach 6–12 Wochen[107]. Die Befürchtung, dass somit beim Menschen frühe Belastung und Bewegung dem Patellarsehnentransplantat schaden könnten, widersprachen Isberg et al. [63] 2006, da sie keine negativen Folgen im Rahmen eines beschleunigten Rehabilitationsprogramms bezüglich Bandstabilität, Bewegungsumfang, Lysholm-Score, Tegner-Aktivitätslevel, One-Leg-Hop-Test und IKDC-Score feststellen konnten. Auch Beynnon et al.[15] zeigten mit einem beschleunigten Rehabilitationsprogramm über 19 Wochen im Vergleich zu einem nicht-beschleunigten Programm über 32 Wochen nach keinen signifikanten Unterschied in Bezug auf Bandlaxizität im Verlauf von zwei Jahren. Allerdings konnten Aktivitäten mit stärkerer Belastung des vKB in der beschleunigten Rehabilitationsgruppe schneller begonnen werden. Darüber hinaus soll frühe Mobilisation des Kniegelenks den Heilungsprozess der Kreuzbandplastik sowie

der Knieweichteile positiv beeinflussen sowie zu einer Schmerzreduktion und geringeren Schädigung des Gelenkknorpels beitragen[14].

Bei der Verwendung ischiokruraler Sehnentransplantate ergaben sich widersprüchliche Ergebnisse. Fujimoto et al.[42] warnten bei frühzeitiger Belastung vor schlechter Kniestabilität, während Christensen et al.[24] u.a. keine Unterschiede in Bezug auf Knielaxizität bei dem Vergleich eines aggressiven und eines nicht-aggressiven Rehabilitationsprotokolls feststellen konnten.

Kruse et al.[72] und van Grinsven et al.[48] folgerten in ihren Reviews, dass durch eine beschleunigte Rehabilitation unabhängig vom Transplantat keine Nachteile entstünden. Diese könne jedoch auf der anderen Seite kostengünstiger sein sowie eine frühere sportliche Aktivität, frühere Transplantatheilung, bessere Beweglichkeit und Muskelkraft sowie geringere Arthrofibroseraten herbeiführen[48].

Im Rahmen beschleunigter Rehabilitationsmaßnahmen nach vKB-Rekonstruktion bleibt für Shelbourne et al. nach Jahrzehnte langer Forschung auf diesem Gebiet die Beweglichkeit zentrales Thema[115,117,118,121,122]. Besteht beispielsweise bei einem Patienten ein Streckdefizit, kann es passieren, dass sich Blutkoagel im ventralen Abschnitt des Kniegelenks zu Narbengewebe umbilden. Dies kann zu einer mechanischen Behinderung der Streckbewegung führen (sog. Zyklopssyndrom) und das Streckdefizit festigen[55,56].

Die Patienten von Shelbourne et al. wiesen 10-20 Jahre nach vKB-Rekonstruktion dann die größten Zufriedenheitswerte auf, wenn sie vollständige Beweglichkeit wie im kontralateralen gesunden Kniegelenk erreicht hatten. Beweglichkeit stellte sogar einen wichtigeren Prognosefaktor als Meniskusläsionen oder Knorpelschäden dar[118]. Neben subjektiven Ergebnissen gibt es aber auch immer wieder Beobachtungen, die einen Zusammenhang von Verlust der Beweglichkeit und Entstehung von Osteoarthrose nach vKB-Rekonstruktion nahelegen. Roe et al.[106] stellten fest, dass Flexionskontrakturen vergesellschaftet waren mit vorzeitiger Arthrose-Entstehung sieben Jahre nach vKB-Rekonstruktion. Salmon et al.[109] fanden 13 Jahre postoperativ einen Zusammenhang zwischen Extensionsdefizit oder Meniskektomie und Arthrose. In einer 2012 veröffentlichten Studie beobachteten Shelbourne et al.[121] Patienten nach vKB-Rekonstruktion über mindestens fünf Jahre um den Zusammenhang von Beweglichkeit und Osteoarthrose zu untersuchen. Hierfür

wurden 780 Patienten zu dem Zeitpunkt der Rückkehr zu sportlicher Aktivität und nach frühestens 5 Jahren eingeschlossen mit dem Ergebnis, dass die Prävalenz radiologischer Osteoarthrose langfristig in der Patientengruppe, die vollständige Beweglichkeit früh erreicht und beibehält im Vergleich zu Patienten mit reduzierter früher und später Beweglichkeit signifikant geringer ausfiel (39% vs. 53%). Aus diesen Ergebnissen folgerten sie, dass sowohl Patientenzufriedenheit als auch die Entstehung von Osteoarthrose durch Umsetzung richtiger Rehabilitationsinhalte positiv beeinflusst werden können[118,121].

1.6 Schwellung, Erguss und Ödembildung

Im klinischen Sinne wird unter einem Ödem eine Schwellung verstanden, deren Ursache die Vermehrung des Flüssigkeitsgehaltes im Interstitium darstellt und die wir mit Hilfe unserer Sinnesorgane erkennen können. Mit einer Ausnahme stellt das Ödem stets ein Symptom einer anderen Krankheit dar und ist keine Diagnose: beim Lymphödem handelt es sich um eine Ödemform, die Folge einer mechanischen Insuffizienz des Lymphsystems selber ist[36].

Der beobachtete Erguss und die Schwellungsneigung nach vKB-Rekonstruktion werden als traumatisches Ödem bezeichnet.

Es wird davon ausgegangen, dass Schwellung, Erguss und Ödem in der postoperativen Frühphase ein großes Hindernis sind, Beweglichkeit zu erreichen. Shelbourne et al.[118] empfehlen daher, in der postoperativen Phase zunächst diese zu behandeln, bevor das Rehabilitationsprotokoll beispielsweise durch Training der Muskulatur fortgesetzt werden kann. Mayr et al.[83] gehen davon aus, dass Schwellung und Erguss nicht nur das Bewegungsausmaß reduzieren, sondern auch Schmerzen verursachen. Auch Feller et al.[35] machen das Voranschreiten im Rehabilitationsprotokoll abhängig von den Parametern Schmerz und Schwellung. Eine Optimierung in der Behandlung könnte somit den Rehabilitationsprozess beschleunigen und für den Patienten besser erträglich gestalten. Trotzdem gibt es wenig Literatur, die sich mit Schwellung, Erguss und Ödem sowie Schmerzen nach Kreuzbandoperationen befassen, um

diesen allseits vermuteten Zusammenhang zu belegen.

1.6.1 Pathophysiologie der Ödembildung

Im Rahmen von Verletzungen oder Operationen ist die Entstehung von Erguss und Ödem unvermeidbar.
Durch die Verletzung bzw. Operation kommt es zur vermehrten Ansammlung von Flüssigkeit im Extrazellularraum durch Ausstrom von Wasser, Elektrolyten, Proteinen und Zellen aus defekten Kapillaren, aber auch durch biochemisch vermittelte Permeabilitätserhöhung der Kapillarwand durch Bradykinine und Histamin im Rahmen des posttraumatischen Entzündungs- und Heilungsprozesses[138].
Im Ruhezustand entspricht die Blutkapillare einer nicht ganz idealen semipermeablen Membran. Wasser und kleinere Moleküle können sie passieren, für Proteine ist sie nicht ganz undurchlässig. Anhand der Starling‘schen Filtrationsformel lässt sich die Volumenbewegung zwischen den Kompartimenten Blutkapillare und Interstitium berechnen:

$$V = K\,[(P_k - P_i) - \sigma\,(\pi_k - \pi_i)]$$

Maßgebende Größen sind der hydrostatische Druck im Gefäß (P_k) und Interstitium (P_i) sowie der onkotische Druck im Gefäß (π_k) und Interstitium (π_i). K entspricht dem Filtrationskoeffizienten, der die Permeabilität und Temperatur mit berücksichtigt. σ ist der Reflektionskoeffizent[36].
Normalerweise besteht nur annähernd ein Gleichgewicht zwischen Flüssigkeitsausstrom aus dem Kapillarsystem und Rückresorption in das venöse Gefäßbett, da der Filtrationsdruck höher ist als der Resorptionsdruck[36]. Netto bleibt ca. 1/10 der Flüssigkeit im Interstitium zurück, was bei Betrachtung des gesamten Organismus einer Menge von ca. 2-3 Litern entspricht[141].
Die Aufgabe der Rückführung dieser Flüssigkeit in das Gefäßsystem obliegt dem Lymphgefäßsystem[138]. Dieses beginnt blind mit feinen Lymphkapillaren (bis zu 100 µm)[141], die subepithelial an inneren und äußeren Körperoberflächen

sowie im Interstitium der Organe entspringen und sich zu immer größeren Lymphgefäßen vereinigen, bis sie gemeinsam als Ductus lymphatici in den zwei Anguli venosi zwischen Vena jugularis interna und Vena subclavia einmünden[111,141]. Im Gegensatz zu den Blutkapillaren sind Lymphkapillaren ein Endothelverbund aus sich überlappenden oder lose verbundenen Zellen, die keine oder nur eine grobmaschige Basalmembran aufweisen. Dieser Aufbau ermöglicht neben der Aufnahme von Flüssigkeit auch die Wiederaufnahme von größeren Molekülen wie Fetten oder Proteinen[141].

Besonders proteinhaltige Flüssigkeit ist von diesem System abhängig, da Proteine nur im geringen Maße durch einfache Diffusion zurück in das Blutgefäßsystem gelangen[138]. Der Abtransport der Lymphflüssigkeit in den Lymphgefäßen erfolgt in erster Linie passiv durch die „Muskelpumpe“: Klappen in den Lymphgefäßen sorgen für einen unidirektionalen Fluss bei Kompression von außen durch Muskelaktivität. Darüber hinaus verfügen größere Lymphgefäße über glatte Muskulatur in ihrem Wandaufbau, welche einen aktiven Transportmechanismus bereitstellen[141]. Im gesunden Zustand wird so eine Homöostase von aus dem Blutkreislauf austretenden Molekülen und deren Abtransport sichergestellt.

Zusätzlich wird im Interstitium durch Proteoglykane eine Pufferfunktion bereitgestellt, um somit austretende Flüssigkeit bis zu einem gewissen Punkt abzufangen[138].

Überschreitet die anfallende Flüssigkeitsmenge die Aufnahmekapazität der Lymphgefäße und Pufferkapazität des Interstitiums oder werden die Lymphbahnen beispielsweise durch freigesetzte Proteine blockiert und in ihrer Funktion gehemmt, entsteht freie Flüssigkeit, die wir mit unseren Sinnesorganen als Schwellung wahrnehmen können.

Auf zellulärer Ebene wird hierbei die Versorgung des Gewebes durch Vergrößerung der Diffusionsstrecke zwischen Kapillaren und Zellen erschwert[26]. Darüber hinaus werden im Interstitium liegende Nervenenden durch das steigende Volumen komprimiert. Sowohl ein verlangsamter Heilungsprozess im Verletzungsgebiet, erhöhte Infektionsgefahr als auch reduzierte Beweglichkeit und Schmerzen können die Folge sein[26].

In der frühen Heilungsphase nach einem Trauma besteht das Ödem nach Villeco et al.[138] in erster Linie aus Wasser und Elektrolyten. Bei längerem

Bestehen des Ödems erhöht sich der Proteinanteil. Die negativ geladenen Proteine binden das Wasser vermehrt und erschweren den Ödemabbau in der Folge. Ödeme, die länger als sechs Monate vorzufinden sind, neigen zur Ausbildung von Vernarbungen und reduzierter Beweglichkeit durch vermehrte Kollagendurchbauung.

1.7 Kompressionstherapie zur Reduktion von Ödemen

Bereits Hippokrates (460 v. Chr. – 370 v. Chr.) soll zur Therapie akuter Verletzungen neben Kälte und Hochlagern der betroffenen Extremität Kompression angewandt haben[113,125].

Im 18. und 19. Jahrhundert sollen laut Brodell et al.[20] englische Chirurgen durch externe Kompression die Beindurchblutung gefördert und die Wundheilung verbessert haben. Charnley beschrieb 1950 erstmals eine Kompressionstherapie bestehend aus „drei Schichten Wolle und drei Schichten Bandage“, die Sir Robert Jones (1857-1933) während seiner Tätigkeit als Orthopäde in Liverpool angewandt haben soll[20].

Später empfahlen Trueta (1945), Harkness (1975) und Smilie (1978) die Anwendung von Kompressionsbandagen nach Operationen[20]. Brodell et al.[20] proklamierten 1986, dass in der Versorgung von Verletzungen nicht nur die Knochen stabilisiert werden sollten, sondern auch das Weichteilgewebe unterstützt werden müsse. Sie beobachteten einen schmerzlindernden Effekt durch die Verwendung einer „Robert Jones Bandage“ und vermuteten eine schnellere Heilung. Eine modifizierte Bandage nach Robert Jones findet noch heute Anwendung[100].

Neben der Kompressions-, Kälte- und Elevationstherapie werden mittlerweile auch modernere Therapiemaßnahmen wie die manuelle Lymphdrainage, Elektrische Stimulation, Bewegung und Kinesio Taping genutzt[138].

Auch bei Ödemen nicht-traumatischer Genese ist die Kompressionstherapie seit Jahrzehnten etabliert. Bei der Therapie des Lymphödems findet die Kompressionstherapie in unterschiedlichen Formen Anwendung. In einer Studie aus dem Jahr 1984 wurden Patientinnen mit Lymphödem nach Mastektomie

beobachtet. Hier kam es ohne Therapie zu einer Volumenreduktion von 0,4% nach 4 Wochen. Bei Verwendung eines Kompressionsstrumpfes kam es im Verlauf von sechs Monaten zu einer Volumenreduktion um 8%[134]. Eine andere Studie konnte eine Beinumfangsreduktion von 14,7% durch Tragen eines Kompressionsstrumpfes nach sechs Monaten zeigen[11].

Badger et al.[9] zeigten eine größere Effektivität von Bandagen in der Volumenreduktion im Vergleich zu Kompressionsstrümpfen bei Patienten mit unterschiedlichen Formen des Lymphödems. Ein Kompressionsschlauch zeigte sich nach Hornsby et al.[59] als nicht effektiv.

Die Anwendung von intermittierender pneumatischer Kompression (IPK) wurde ebenfalls untersucht. Einige Studien gehen von einem kurzfristigen positiven Effekt aus, jedoch ohne Langzeitwirkung; eine andere Studie kam zu dem Ergebnis, dass IPK gleichwertig zu manueller Lymphdrainage sei[30]. Auch in der Venenchirurgie wird sie erfolgreich angewendet, um Ödembildung, Schmerz und Hämatome zu vermeiden[103].

Nach Földi et al.[36] ist die zu Grunde liegende Idee dieser Therapieform Druck. Der durch Kompressionsmaterialien verursachte Druck wird durch das Laplace'sche Gesetz beschrieben:

$$P = \frac{T}{r}$$

Der Druck (*P*) ist proportional abhängig von der Materialspannung (*T*) und reziprok abhängig vom Radius (*r*) der Körperoberfläche[103].

Die Wirkung des Drucks wird damit begründet, dass sich die im Weichteilgewebe befindende Flüssigkeit nicht komprimieren lässt und stattdessen dem Druck auszuweichen versucht[36]. Dies ist im Gewebe jedoch nur bedingt möglich, was zu einer Erhöhung des interstitiellen Drucks führt[36]. In den Blut- und Lymphkapillaren dagegen kann der Druck entweichen[36]. Nach der Starling'schen Filtrationsformel verringert sich durch Erhöhung des interstitiellen Drucks die Volumenverschiebung ins Interstitium. Auch der Abfluss in die Lymphkapillaren wird gesteigert durch den gegenüber den Lymphkapillaren höheren Druck im Interstitium. Darüber hinaus sorgt Druck für Zug an den Ankerfilamenten der Lymphkapillaren, welche sich dadurch öffnen und Flüssigkeit besser aufnehmen können[36]. Im venösen Schenkel des

Kreislaufsystems verteilt der von außen wirkende Druck das Blut von peripher nach zentral und unterstützt den orthograden Bluttransport, indem die Venen verengt werden, und damit den Abfluss[97,103]. Ein positiver Effekt auf die intraartikuläre Ergussbildung wird ebenfalls vermutet[133].

Dennoch lassen sich in der Literatur, trotz der theoretischen Möglichkeit, hiermit Schwellung, Erguss und Ödem zu reduzieren, wenige Beweise für die Wirksamkeit dieser Therapieform nach Kreuzbandplastikoperationen finden. In der Regel wurden Kältetherapie und Kompression gemeinsam untersucht.

Schröder et al.[113] verglichen 1994 eine Kompressionsbandage nach vKB-Plastik, die eine kontinuierliche Kühlung und Druck gewährleistete, mit einfacher Kühlung durch Eisbeutel. Dabei konnten sie zeigen, dass die Kombination aus Kälte- und Kompressionstherapie der Standardtherapie hinsichtlich Schwellung, Schmerz und Bewegungsumfang überlegen war. Daraus folgerten sie, dass der Kompression eine größere Bedeutung zukommt als der Kältebehandlung.

Auch eine Studie Dervin et al.[29] stützt diese Vermutung, da bei einer Kompressionsbandage gefüllt mit zirkulierendem Eiswasser im Vergleich zu der gleichen Bandage gefüllt mit auf Raumtemperatur erwärmtem Wasser keine Unterschiede ausgemacht werden konnten.

Mayr et al.[83] verglichen über einen Zeitraum von zwölf Monaten nach vKB-Operation eine weiche wasserbefüllte Knieorthese, die für Kompression sorgte, mit einer Standardknieorthese, und stellten signifikant geringere Werte für Schwellung und Erguss, Extensionsdefizit bei ähnlichem Gesamtbewegungsumfang fest.

Diese Erfolge ließen sich nach Knietotalendoprothesen-Operation nicht reproduzieren[91]. Die Verwendung von Kompressionsbandagen zeigte sich hingegen erfolgreicher.

1992 verglichen Levy et al.[75] 80 Patienten, die postoperativ entweder eine Cryocuff-Bandage oder einen Standardkompressionsverband trugen. Die Patienten, die eine Cryocuff-Bandage trugen, schlossen mit signifikant besseren Werten für Blutverlust, Schmerzmittelbedarf und Beweglichkeit ab. Gegenteiliges beobachteten Healy et al.[52] 1994. Sie verglichen eine Cryocuff-Bandage mit einer elastischen Bandage und stellten keine Vorteile für die Cryocuff-Bandage fest, da keine statistisch signifikanten Unterschiede für Beweglichkeit, Schwellung, Wundsekretion und Schmerzmittel gemessen

wurden[52].

Webb et al.[140] konnten 1998 keine statistisch signifikanten Unterschiede beim Vergleich von Kompressionstherapie mit Kälte-Kompressionstherapie in Bezug auf Schwellung und Beweglichkeit messen, jedoch erreichte die Kälte-Kompressionsgruppe bessere Werte für Schmerz und Blutverlust.

Aktuellere Veröffentlichungen schließen sich mit ihren Schlussfolgerungen Healy et al. an[18,98,103]. So untersuchten Gibbons et al.[22] 2001 die Wirksamkeit einer Kälte-Kompressionsbandage im Vergleich zu einer modifizierten Robert Jones Bandage an 60 Patienten in Bezug auf Dauer des Krankenhausaufenthalts, Blutverlust, Beweglichkeit, Schmerzen und Schmerzmittelbedarf nach Knietotalendoprothesen-Operation. Hierbei wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen gefunden außer beim Blutverlust. In ihrem Review 2010 fassen Adie et al.[1] daher zusammen, dass Kryotherapie mit Kompression gegenüber alleiniger Kompressionstherapie keinen zusätzlichen Nutzen in der Behandlung nach vKB-Rekonstruktion aufweisen.

1.8 Vorausgehende Überlegungen und Hypothesen

Nach Ruptur des vorderen Kreuzbandes erfahren viele Patienten Schmerzen und Instabilitätsgefühl und erleiden sekundäre Läsionen der Menisken und Osteoarthrose. Diese könnten im Zusammenhang stehen mit einem Defizit der Beweglichkeit postoperativ. Zudem wünschen sowohl Patienten als auch Ärzte eine raschere Funktionsfähigkeit in Alltag und Freizeit.

Für eine Steigerung der Beweglichkeit und ein schnelleres Voranschreiten im Rehabilitationsprotokoll scheint in der frühen postoperativen Phase die Kontrolle von Schwellung, Erguss und Ödem von essentieller Bedeutung. Die Anwendung von Kompressionsbandagen scheint auch ohne Kältetherapie in der Behandlung von Schwellung, Erguss und Ödemen ein effektives Therapeutikum zu sein. Die bisher untersuchten Kompressionsprodukte nach Kreuzbandplastikoperationen zeigen jedoch eine große Heterogenität und sind für den Patienten kompliziert in der Handhabung. Darüber hinaus wurde stets

die Kombination aus Kompression und Kälte untersucht, nicht jedoch Kompression allein. Beobachtungen aus der klinischen Praxis legen nahe, dass Kniebandagen und Kompressionsstrümpfe neben steigernden Effekten der propriozeptiven Fähigkeiten auch Schwellung, Erguss und Ödem sowie Schmerzen reduzieren können.
Die vorliegende randomisierte Studie wurde durchgeführt, um die Wirksamkeit einer neu entwickelten Post-OP-Bandage mit herkömmlichen Kompressionsstrümpfen in Bezug auf Schwellung, Schmerzen und Beweglichkeit zu vergleichen. Darüber hinaus sollte der Zusammenhang zwischen den Parametern Schwellung, Schmerz und Beweglichkeit in beiden Gruppen untersucht werden. Diese Zusammenhänge sind nach Kreuzbandplastikoperationen bisher unzureichend erforscht. Daher sollten die nachfolgenden Hypothesen überprüft werden.

1.8.1 Hypothesen

Hypothese 1) Die neuartige Post-OP-Bandage ist herkömmlichen Kompressionsstrümpfen in Bezug auf Vermeidung der postoperativen Entwicklung von Schwellung, Erguss und Ödemen überlegen, reduziert den postoperativen Schmerz und steigert die postoperative Kniegelenksbeweglichkeit.

Hypothese 2) Je geringer die postoperative Beinvolumenzunahme/Schwellung ausfällt, desto geringer ist der postoperative Schmerz.

Hypothese 3) Je geringer die postoperative Beinvolumenzunahme/Schwellung ausfällt, desto größer ist die postoperative Beweglichkeit des Kniegelenks.

Hypothese 4) Je geringer der Schmerzwert ausfällt, desto größer ist die postoperative Beweglichkeit

2 Patienten und Methoden

2.1 Patienten

2.1.1 Versuchsplan

Im Zeitraum von August 2010 bis November 2011 wurden 17 Patienten mit Ruptur des vorderen Kreuzbandes und anschließend erfolgter vKB-Rekonstruktion eine Woche vor und vier Wochen nach der Operation untersucht. Im Mittelpunkt stand hierbei die Erhebung der Parameter:

- Beinvolumen
- Knieumfang
- Beweglichkeit
- Schmerz

Es haben Patienten teilgenommen, die sich während des oben genannten Zeitraums zur operativen Therapie in der orthopädischen Praxis von Prof. Dr. med. Bernd M. Kabelka in Hamburg vorstellten und sich nach der Aufklärung von Inhalt, möglichen Risiken und Nebenwirkungen der Studie schriftlich zur Teilnahme bereit erklärten. Alle Teilnehmer erhielten nach Abschluss aller Untersuchungen eine Aufwandsentschädigung von 50 €.

2.1.2 Einschlusskriterien

An der Studie nahmen Patienten im Alter zwischen 18 und 60 Jahren teil, die eine operative Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes (OPS 5-813.3/4) nach dessen Ruptur (ICD-10: M23.61) erhalten haben.
Zusätzlich mussten Freiwilligkeit sowie die Bereitschaft und die Fähigkeit zum Tragen einer Bandage bzw. eines Kompressionsstrumpfes vorhanden sein.

Gleichwohl wurde von ihnen erwartet, dass sie Anweisungen des Arztes Folge leisten konnten sowie die geplanten Kontrollen eingehalten werden konnten. Außerdem mussten ausreichende deutsche Sprachkenntnisse in Wort und Schrift ausgemacht werden, um sicher zu stellen, dass sie alle Abläufe sprachlich nachvollziehen konnten.

2.1.3 Ausschlusskriterien

Als Ausschlusskriterien galten ein Alter über 60 beziehungsweise unter 18 Jahre. Des Weiteren durften Patienten mit akuter bzw. in der Vergangenheit aufgetretener tiefer Venenthrombose, arterieller Verschlusskrankheit, Diabetes Mellitus mit Neuropathie oder peripherer arterieller Durchblutungsstörung, schwerwiegender Herz-, Lungen-, Leber- oder Nierenerkrankungen, schwerer Hypertonie, endokrinen Störungen, akuten oder chronischen Infektionskrankheiten nicht teilnehmen. Auch die Einnahme von ödem-abführenden Medikamenten, Antidepressiva oder Betablockern führten zum Ausschluss, damit die erhobenen Parameter Beinvolumen, Schmerz und Beweglichkeit nicht durch eine vorbestehende Krankheit bzw. Medikamenteneinnahme beeinflusst werden konnten. Eine nicht unterschriebene Einverständniserklärung sowie die Teilnahme an einer anderen Studie führten zum Ausschluss. Studienteilnehmer, die während der Operation keine Kreuzband-Plastik erhielten, sondern mit anderen operativen Verfahren versorgt wurden, eigneten sich ebenfalls nicht zur Teilnahme an dieser Studie.

2.1.4 Abbruchkriterien

Als Gründe für das individuelle Ausscheiden von Probanden aus der Untersuchungsphase kam Folgendes in Frage:

- Die Rücknahme des Einverständnisses zur Studienteilnahme durch den

Probanden

- Durchblutungsstörungen (bspw. Thrombose, Embolie, Blutung)
- Infektion
- zu große Reizerscheinungen der Haut (bspw. Blasenbildung)
- Risiko für den Patienten durch Tragen der Post-OP-Bandage
- Andere schwerwiegende Komplikationen (bspw. Compartment-Syndrom, Patellafraktur)
- Nicht-Befolgen von Anweisungen des behandelnden Arztes nur dann, wenn sich daraus ein Risiko für den Probanden ergab

2.1.5 Votum Ethikkommission

Die Ethikkommission der Universität Hamburg hat der Durchführung der Studie mit Beschluss vom 06.05.2010 zugestimmt.

2.1.6 Bauerfeind Post-OP-Bandage

Bei der neu entwickelten Post-Op Bandage handelt es sich um eine flachgestrickte Bandage mit einem Öffnungsfenster im Kniebereich zur Durchführung von Drainagen bzw. Zugang zum Operationsbereich. Die Bandage reicht vom Oberschenkel bis zum Knöchel und lässt sich direkt intraoperativ durch einen durchgehenden Klettverschluss angelegen. Dieser lässt auch eine flexible Nachstellung je nach Beinanschwellung zu. Proximal um die Kniescheibe wird zusätzlich ein gelartiges, hufeisenförmiges Kissen gelegt, das durch den Verschluss des Öffnungsfensters im Kniebereich fixiert wird und für zusätzlichen Druck auf den Recessus suprapatellaris sorgt. Das Gestrick der Bandage ist quer-unelastisch und längs-elastisch.

Abbildung 1: Post-OP-Bandage, geschlossen

Abbildung 2: Post-OP-Bandage, geöffnet. Hufeisenförmiges Gelkissen proximal der Kniescheibe

Als Prototyp unterliegt die Post-OP-Bandage den Bestimmungen des Medizinproduktgesetztes.

2.1.7 Kompressionsstrumpf: Bauerfeind VenoTrain Soft

Der VenoTrain Soft Kompressionsstrumpf wurde ebenfalls von der Firma Bauerfeind entwickelt. Es handelt sich um einen Kompressionsstrumpf der Kompressionsklasse II.
Die Fußspitze ist bei diesem Modell geschlossen. Der Kompressionsstrumpf reicht bis zum Oberschenkel und weist dort einen ca. 5cm breiten noppigen Abschluss auf.
Seine Fertigung wird nach der Gütezeichenbestimmung RAL GZ 387 durchgeführt. Seine Vergabe ist durch eine entsprechende Hilfsmittelnummer hinsichtlich einer Abrechnung durch die Krankenkasse anerkannt.

Abbildung 3: VenoTrain Soft. Kompressionsstrümpfe der Kompressionsklasse II

Quelle: Bauerfeind AG, Zeulenroda, www.bauerfeind.de

2.1.8 Kniegelenksorthese: SecuTec Genu

Über die Post-OP Bandage bzw. den Kompressionsstrumpf wurde zur Stabilisierung und Bewegungslimitierung des Kniegelenks die etablierte Kniegelenksorthese SecuTec Genu der Firma Bauerfeind getragen.

2.2 Methoden

2.2.1 Randomisierug

Nach erfolgter Aufklärung der Patienten und deren schriftlichen Einwilligung zur Teilnahme an der Studie erfolgte die Randomisierung. Hierfür wurden zunächst 32 Lose in einen undurchsichtigen Beutel gelegt. Jeweils 16 waren mit den Buchstaben „B“ für Post-OP-Bandage und „K“ für Kompressionsstrümpfe bedruckt. Aus dem Beutel wurde jedem Patienten auf diese Weise entweder die post-OP-Bandage oder der Kompressionsstrumpf zugelost.

2.2.2 Eingangsuntersuchungen und- Vermessungen

Zwischen vier und sieben Tagen vor dem Operationstermin erfolgten zum einen eine klinische Untersuchung des verletzten Kniegelenks in der Praxis von Prof. Kabelka und zum anderen die Eingangsvermessungen des Institutes für Sport- und Bewegungsmedizin der Universität Hamburg in der orthopädietechnischen Praxis Vitalwelten Stolle.
Im Rahmen der klinischen Untersuchungen wurden Abweichungen vom physiologischen Befund dokumentiert.
Bei den Eingangsvermessungen wurden die Beweglichkeit beider Kniegelenke, das Volumen und der Knieumfang beider Beine erfasst.

2.2.3 Untersuchung der Beweglichkeit mittels Plurimeter

Die Beweglichkeit der Kniegelenke wurde mit Hilfe eines Plurimeters ermittelt. Die Messung der Gelenkbeweglichkeit für die Flexion im verletzen Kniegelenk erfolgte in Bauchlage. Die Füße des Probanden ragten dabei über die Liege hinaus. Die Auflagefläche des Plurimeters wurde direkt proximal des Achillessehnenursprungs auf den Unterschenkel des Probanden platziert. Das Kniegelenk wurde, so weit wie es Beweglichkeit und Schmerzen des Probanden zuließen, in Flexionsstellung bewegt und der Winkelgrad auf dem Plurimeter abgelesen.

Abbildung 4: Plurimeter

Quelle: Dr. Jules Rippstein, La Conversion, CH, www.dr-rippstein.ch

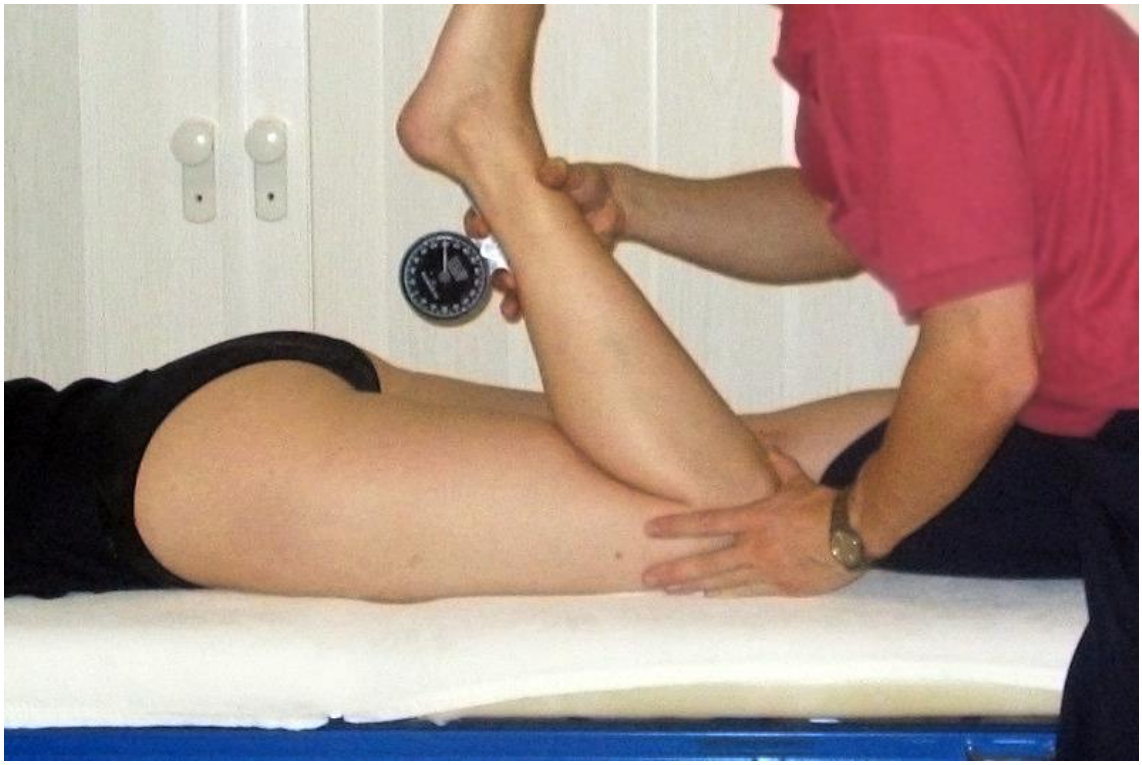

Abbildung 5: Messung der Kniegelenksflexion mittels Plurimeter

Quelle: Bruzek R., Rippstein J. "Physiotest-Ortho 1.5" Desimed Verlag für Neue Medien 2006

Zur Messung der Extension im verletzten Kniegelenk lag der Proband diagonal auf der Untersuchungsliege, sodass der Unterschenkel des zu messenden Beines über den Rand der Bank herausragte. Das Plurimeter wurde erneut proximal des Achillessehnenursprungs, wie bei der Messung der Flexion, platziert. Anschließend wurde im Rahmen des Beweglichkeitsvermögens und Schmerzempfindens des Probanden das Kniegelenk in die Extensionstellung gebracht und der Winkelgrad auf dem Plurimeter erhoben. Die Beweglichkeitsmessung des gesunden Beines erfolgte auf die gleiche Weise.
Die erhobenen Daten wurden in folgender Tabelle dokumentiert:

Prä-OP: Uni Hamburg

Datum:		
ROM (Flexion/Extension)	links	rechts
Volumen Image 3D	links	rechts

Tabelle 1: Erstmessung

2.2.4 Ermittlung des Beinvolumens mittels Image-3D

Die Untersuchungen des Instituts für Sport- und Bewegungsmedizin umfassten zusätzlich eine Volumenmessung der Beine vom Fuß bis zum Oberschenkel mit dem Image-3D-Gerät der Firma Bauerfeind.

Beim Image-3D handelt es sich um ein berührungsloses optoelektrisches Messsystem, das eine hardware- und softwarebasiert exakte Volumenbestimmung ermöglicht.

Hierfür nimmt eine Kamera Bilder der Beine, die einen Vermessungsstrumpf mit besonderer Musterung tragen, auf. Diese werden softwarebasiert vergrößert und in Volumendaten umgerechnet. Es entsteht dabei keinerlei Strahlenbelastung für die Probanden.

Zur Vermessung des Beinvolumens mussten die Probanden sich bis auf die Unterwäsche entkleiden. Anschließend wurden die Image-3D-Messstrümpfe angezogen und die Probanden stellten sich auf die auf der Messplattform des Image-3D eingezeichneten Felder. Es folgte der Messvorgang. Hierbei wurde die Messplattform mit Patient 1 ½ Mal langsam im Kreis gedreht. Zur Sicherheit konnten sich die Probanden an Haltevorrichtungen festhalten. Während dieser Zeit mussten sie ruhig stehen und durften sich nicht bewegen.

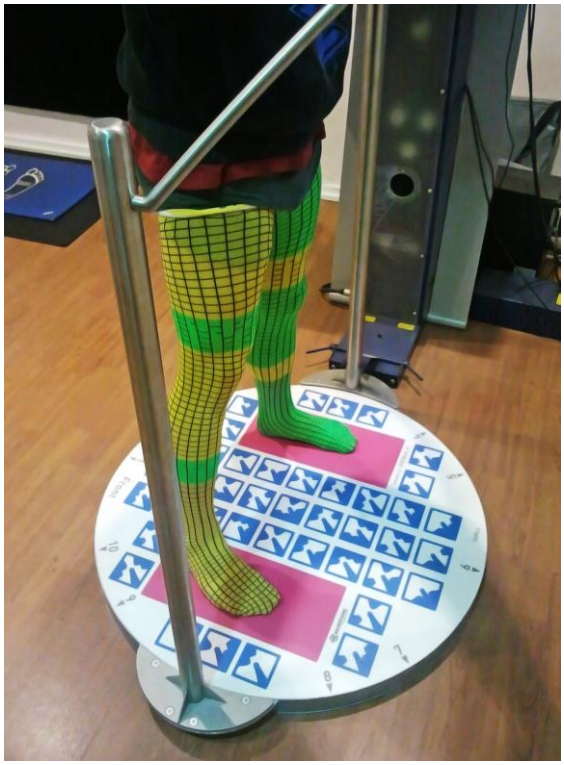

Abbildung 6: Patient bei der Beinvolumenmessung mittels Image-3D

Abbildung 7: Patient bei der Beinvolumenmessung mittels Image-3D

2.2.5 Fertigung der Bandage und der Kompressionsstrümpfe

Die erhobenen Volumendaten wurden elektronisch an die Firma Bauerfeind übermittelt. Anhand der Volumendaten wurden je nach Gruppenzugehörigkeit des Patienten passende Kompressionsstrümpfe bzw. die neuartige Post-OP-Bandage gefertigt. Die Kompressionsstrümpfe vom Typ VenoTrain Soft wurden je nach Messergebnis maßgefertigt oder anhand der Größentabellen zugeteilt. Bei den Post-OP-Bandagen handelte es sich stets um Maßanfertigungen.

2.2.6 Operative und postoperative Versorgung

Die operative Versorgung der Patienten erfolgte im Krankenhaus Tabea in Hamburg Blankenese durch Prof. Dr. med. Bernd M. Kabelka. Als Transplantat diente die Patellarsehne, in Ausnahmefällen die Semitendinosussehne.
Probanden aus der Post-OP-Bandagen-Gruppe wurden unmittelbar postoperativ mit der Bandage versorgt. Dem gesunden Bein wurden auf Station reguläre Kompressionsstrümpfe angepasst.
Studienteilnehmer aus der Vergleichsgruppe erhielten unmittelbar postoperativ auf Station die VenoTrain Soft Kompressionsstrümpfe. Das gesunde Bein wurde sogleich mit den Kompressionsstrümpfen versorgt. Nach Entfernung der Redon-Drainage wurden diese auch am operativ versorgten Bein angezogen.
Am ersten postoperativen Tag wurde noch im Krankenhaus die Anpassung der Bauerfeind SecuTec Genu Knieorthese durchgeführt.
Postoperativ schloss sich ein stationärer Aufenthalt im Krankenhaus Tabea von drei bis vier Tagen an.
Sowohl die Post-OP-Bandage als auch die VenoTrain Soft Kompressionsstrümpfe sollten postoperativ am operierten Bein für vier Wochen mindestens acht Stunden täglich getragen werden. Am nicht-operierten Bein sollten die Kompressionsstrümpfe für mindestens 14 Tage mindestens acht Stunden täglich getragen werden.

2.2.7 Schmerzmessung mittels visueller Analog-Skala (VAS)

Während des Krankenhausaufenthalts erfolgte an den ersten drei postoperativen Tagen die Ermittlung des Schmerzstatus.
Hierfür wurde den Probanden täglich eine visuelle Analog-Skala vorgelegt, auf der sie auf einer Skala von 0 bis 100 ihren aktuellen Schmerzstatus im Operationsgebiet markieren sollten. Ein Wert von 0 bedeutete dabei „keine Schmerzen“ und ein Wert von 100 wurde mit dem maximal vorstellbaren Schmerz des Probanden gleichgesetzt.
Die visuelle Analog-Skala hatte, von linker Spitze bis rechter Spitze gemessen,

eine absolute Länge von 178 mm. Ein einzelner Schmerzwert eines Probanden wurde ermittelt, indem der Abstand von der linken Spitze bis zur Markierung des Probanden gemessen wurde. Der gemessene Wert in Millimetern wurde anschließend in Relation gesetzt zum Maximalwert in Millimetern. So ließ sich ein Schmerzwert von 0-100% errechnen.
Zusätzlich erfolgte die Dokumentation der ambulanten Schmerzmitteleinnahme sowie des klinischen Zustands des Kniegelenks.

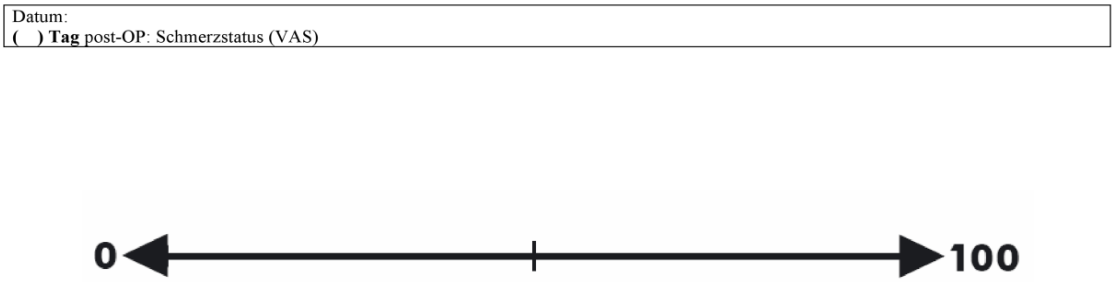

Abbildung 8: Visuelle Analog-Skala (VAS)

2.2.8 Postoperative Nachuntersuchungen

Im Rahmen der Nachbetreuung erfolgten, beginnend eine Woche nach der Operation jeweils im wöchentlichen Abstand, vier Nachuntersuchungen.
Dabei wurden folgende Parameter erhoben:

- Beinvolumen beider Beine mittels Image-3D
- Knieumfang beider Kniegelenke mittels Image-3D
- Beweglichkeit beider Beine mittels Plurimeter
- Schmerzstatus mittels VAS

Bei der Erhebung der Beweglichkeit der Kniegelenke wurden als Maximalwerte eine Beugung von 90° und eine Extension von 0° nicht über- bzw. unterschritten, da dies die Behandlungsvorgaben des operierenden Arztes in diesem Zeitraum nicht zuließen.

Die Patienten aus der Post-OP-Bandagen-Gruppe wurden zusätzlich wöchentlich zu subjektivem Sitz- und Tragekomfort sowie weiteren Besonderheiten der Post-OP-Bandage befragt und die Ergebnisse wurden dokumentiert.

Eine zusätzliche Übersicht über die einzelnen Untersuchungen liefert Abbildung 9.

Code:	Verletztes Kniegelenk:
Gruppe:	Rechts: O Links: O

Prä-OP: Uni Hamburg

Datum:		
ROM (Flexion/Extension)	links	rechts
Volumen Image 3D	links	rechts

Post-OP: Prof. Kabelka

		Besonderheiten:
Datum: **1. Tag** post-OP: Schmerzstatus (VAS)		
Datum: **2. Tag** post-OP: Schmerzstatus (VAS)		
Datum: **3. Tag** post-OP: Schmerzstatus (VAS)		

Post-OP: Uni-Hamburg, Prof. Kabelka

		Anmerkungen Kabelka
Datum: **1. Woche** post-OP: Schmerzstatus (VAS)		
Datum: **2. Woche** post-OP: Schmerzstatus (VAS)		
Datum: **3. Woche** post-OP: Schmerzstatus (VAS)		
Datum: **4. Woche** post-OP: Schmerzstatus (VAS)		

Datum: **1. Woche:** Volumen Image 3D	links	rechts
Datum: **2. Woche:** Volumen Image 3D	links	rechts
Datum: **3. Woche:** Volumen Image 3D	links	rechts
Datum: **4. Woche:** Volumen Image 3D	links	rechts

Datum: **1. Woche:** ROM (Flexion/Extension)	links	rechts
Datum: **2. Woche:** ROM (Flexion/Extension)	links	rechts
Datum: **3. Woche:** ROM (Flexion/Extension)	links	rechts
Datum: **4. Woche:** ROM (Flexion/Extension)	links	rechts

4. Woche Post-OP**:** Uni Hamburg

Datum: Fragebogen		

Abbildung 9: Probandenlaufzettel

2.2.9 Zusammenfassung des Studienablaufs

An dieser Stelle soll der gesamte Ablauf der Studie anhand eines Beispielpatienten dargestellt werden.

Nach der Diagnosestellung „Ruptur des vorderen Kreuzbandes“ durch Prof. Dr. med. Bernd M. Kabelka wird ein Termin zur Rekonstruktions-Operation vereinbart.

Vier bis sieben Tage vor der Operation erfolgt nach schriftlicher Einwilligung und Randomisierung eine Erstuntersuchung des Patienten. Hierbei werden das Beinvolumen und der Knieumfang mittels Image-3D sowie die Beweglichkeit mittels Plurimeter ermittelt.

Im Krankenhaus erfolgt die Versorgung mit Post-OP-Bandage bzw. Kompressionsstrumpf sowie an Tagen 1-3 die Messung des Schmerzstatus mittels VAS. Die Bandage bzw. die Kompressionsstrümpfe sollen mindestens acht Stunden am Tag getragen werden.

Nach den Wochen 1 bis 4 postoperativ erfolgen jeweils ambulante Nachuntersuchungen in der Praxis Prof. Kabelka sowie in der orthopädietechnischen Praxis Vitalwelten Stolle. Dabei sollen erneut die Parameter Beinvolumen und Knieumfang sowie Beweglichkeit und Schmerz gemessen werden. Abbildung 10 fasst den Studienablauf als Flussdiagramm zusammen.

2.2.10 Flussdiagramm Studienablauf

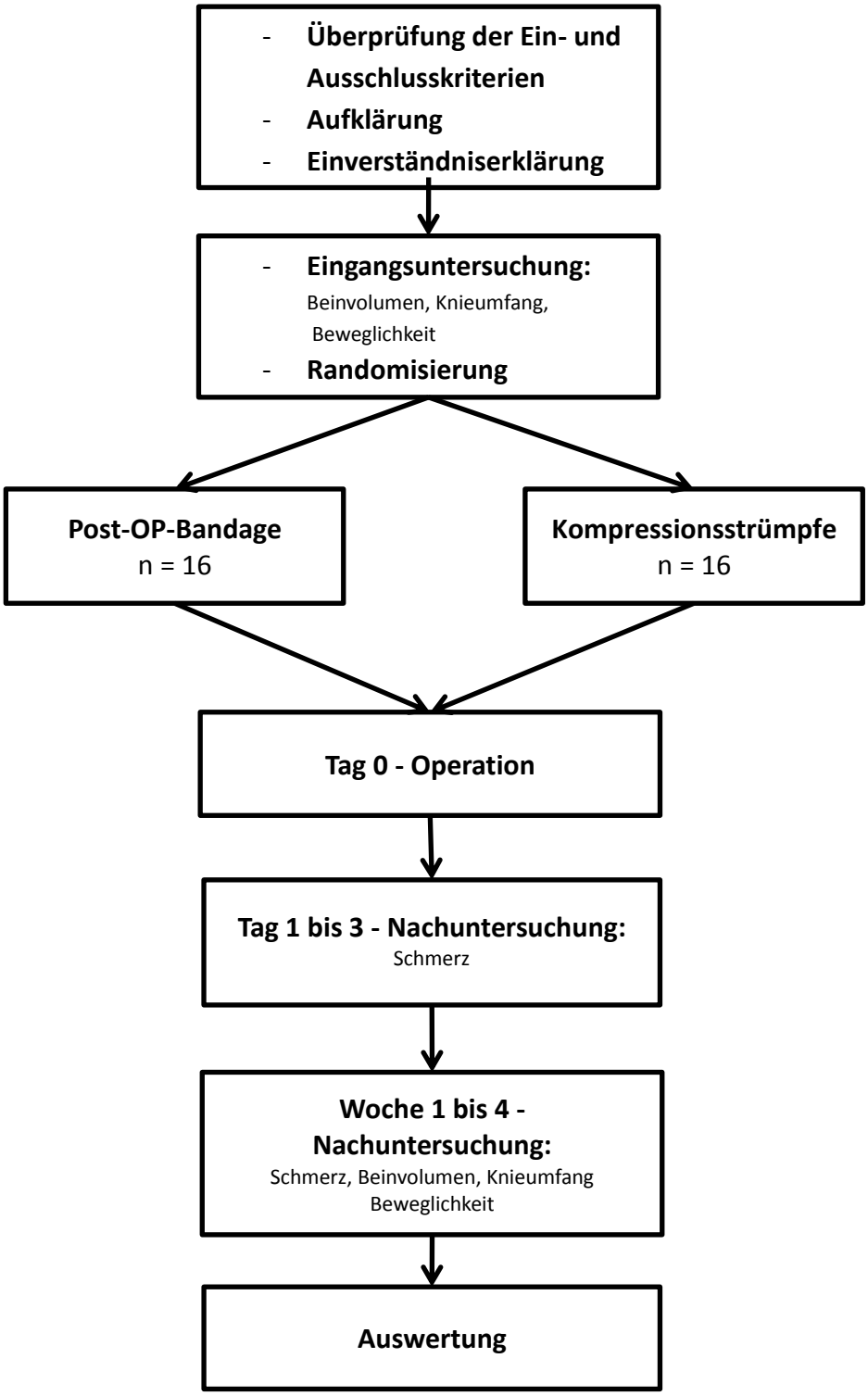

Abbildung 10: Flussdiagramm Studienablauf

2.2.11 Datenerhebung und statistische Auswertung

Die Aufarbeitung der erhobenen Daten und grafische Darstellung erfolgte mit Excel und Word aus Microsoft Office 2010. Zusätzlich wurde für die statistische Auswertung IBM SPSS für Windows (Version 20) herangezogen.

Für die Ergebnisse der Messungen von Beinvolumen, Knieumfang, Schmerzen und Beweglichkeit – hierbei wurde unterschieden zwischen Extension und Flexion – wurden die Mittelwerte (MW) sowie die Standardabweichungen (±SD) berechnet.

Die Messergebnisse der Post-OP-Bandagen-Gruppe im Vergleich zur Kompressionsstrumpf-Gruppe in der Entwicklung der oben genannten Parameter sollten mittels Varianzanalyse auf mögliche statistische Unterschiede überprüft werden. Als statistisch signifikant wurde ein p-Wert < 0,05 angesehen.

Zusätzlich wurde innerhalb der Gruppen die Entwicklung der oben genannten Parameter im Vergleich zu vorangegangenen Messzeitpunkten mittels Varianzanalyse für wiederholte Messungen auf statistisch relevante Unterschiede untersucht.

Hierfür wurden zunächst mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test und Shapiro-Wilk-Test die oben genannten Parameter auf Normalverteilung geprüft. Als Signifikanzniveau wurde ein p-Wert < 0,05 festgelegt. Da eine ANOVA für wiederholte Messungen bei Ablehnung der Tests auf Normalverteilung bei kleineren Stichproben nicht durchgeführt werden sollte, wurde für solche Fälle die Signifikanz mittels Friedman-Test ermittelt[39]. Auch hier wurde das Signifikanzniveau auf p < 0,05 festgelegt.

Mittels Korrelationsanalysen wurden zudem Zusammenhänge zwischen den Parametern Beinvolumen und Schmerz, Beinvolumen und Beweglichkeit, Knieumfang und Schmerz, Knieumfang und Beweglichkeit, Schmerz und Beweglichkeit zu jedem Messzeitpunkten statistisch untersucht.

Da bei einem nicht-signifikanten Kolmogorov-Smirnov-Test bzw. Shapiro-Wilk-Test von einer Normalverteilung der Werte ausgegangen werden kann, wurde in einem solchen Fall der Korrelationskoeffizient mittels Produkt-Moment-Korrelation nach Pearson bei intervallskalierten und normalverteilten Variablen berechnet. Im umgekehrten Fall erfolgte die Berechnung durch die Rangkorrelation nach Spearman[129].

3 Ergebnisse

3.1 Allgemeine Patientenstatistik

Insgesamt willigten 32 Patienten ein, an der Studie teilzunehmen. Drei Patienten erhielten die Post-OP-Bandage der Firma Bauerfeind, 14 Kompressionsstrümpfe vom Typ Bauerfeind VenoTrain Soft. 15 Patienten schieden aus der Studie aus.
Als Ausscheidungsgründe sind bei 14 Patienten das Nicht-Erhalten einer Kreuzbandplastik beim Operationstermin zu nennen sowie bei einem Patienten das Nicht-Wahrnehmen weiterer postoperativer Untersuchungstermine.
Somit durchliefen 17 Patienten die Studie vollständig. Diese Patienten wiesen ein Alter zwischen 18 und 33 Jahren auf. Das Durchschnittsalter lag bei 26 Jahren (SD ± 4,05). Das Verhältnis Männer zu Frauen belief sich auf 4,67:1.

3.2 Kompressionsstrümpfe

3.2.1 Patientendaten

Die Kontrollgruppe bestand aus 14 Patienten. Das Alter betrug im Durchschnitt 25,86 Jahre bei zwölf männlichen (85,7%) und zwei weiblichen (14,3%) Teilnehmern.
Die durchschnittliche Körpergröße der Patienten belief sich auf 1,77 m (SD ± 0,09 m). Ihr Gewicht betrug im Mittel 77 kg (SD ± 10,51 kg). Aus den ermittelten Werten ließ sich ein durchschnittlicher BMI von 24,34 kg/m² (SD ± 2,24 kg/m²) errechnen.

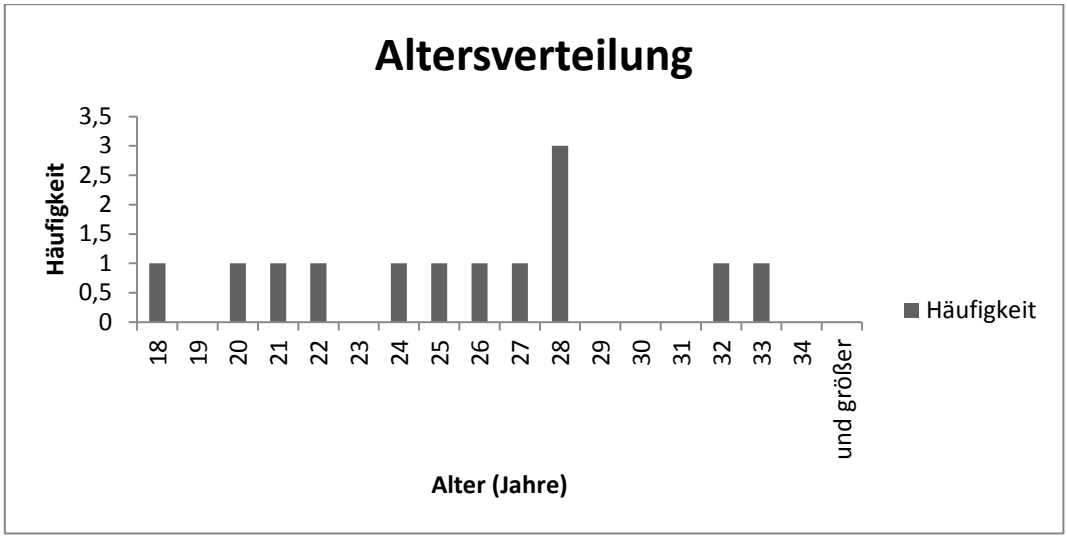

Abbildung 11: Altersverteilung Interventionsgruppe

Acht Patienten (57,14%) wurden am rechten Kniegelenk operiert, sechs Patienten (42,86%) am linken Kniegelenk. 14 Patienten erlitten eine Komplettruptur des vKB. 13 Patienten (82,86%) wurden mittels Patella-Bone-Tendon-Bone-Transplantat versorgt, ein Patient erhielt eine Semitendinosus-Plastik (7,14%).

Als Nebendiagnosen traten bei drei Patienten (21,43%) Innenmeniskusläsionen und ebenfalls bei drei Patienten (21,43%) Außenmeniskusläsionen auf. Zusätzlich wurden bei zwei Patienten (14,29%) Knorpelschäden und bei einem Patienten (7,14%) eine Arthrose diagnostiziert. Insgesamt sechs Patienten (42,86%) wiesen keine anderen Verletzungen auf. Die Begleitverletzungen wurden im Rahmen der vKB-Rekonstruktion mitversorgt.

3.2.2 Allgemeine Beobachtungen

In der Kontroll-Gruppe kam es zu keinen Auffälligkeiten, die einen Zusammenhang mit den Kompressionsstrümpfen erkennen ließen.

Ein Proband wies im verletzten Bein postoperativ eine Muskelschwäche im Bereich des Musculus quadriceps femoris auf. Im Verlauf der Anwendungsbeobachtung war diese Symptomatik deutlich rückläufig.

3.2.3 Ergebnisse der Vor- und Nachuntersuchungen

Die präoperativen Voruntersuchungen wurden an 29 Patienten durchgeführt. Aufgrund von Nicht-Erhalten einer Kreuzbandplastik bzw. Erhalts einer alternativen operativen Versorgung, beispielsweise einer „Healing-Response“-Operation, wurden 14 Patienten nicht weiter im Rahmen der Studie betreut. Ein Proband war postoperativ für weitere Untersuchungen nicht zu erreichen. Somit blieben 14 Patienten zur Datenerfassung übrig.

3.3 Beinvolumenmessungen

Das mittels Image-3D präoperativ gemessene Beinvolumen des verletzten Beines betrug im Mittel 7,00 l mit einem Minimum von 5,85 l und einem Maximum von 8,31 l bei einer Standardabweichung (SD) von ±0,80 l.
Beim gesunden Bein lagen die Werte im Mittel bei 7,07 l sowie 5,93 l (Minimum) und 8,31 l (Maximum) bei einer SD von ±0,82 l.
Der Unterschied zwischen beiden Beinen war nicht signifikant ($p = 0,800$).

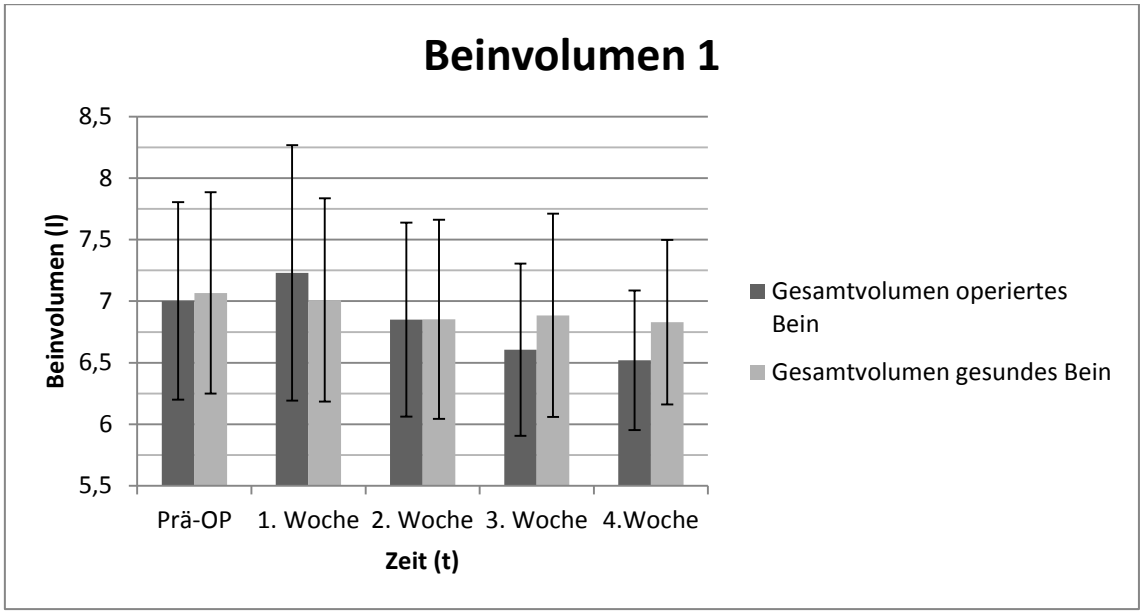

Abbildung 12: Beinvolumen in Litern gemessen mittels Bauerfeind Image-3D

Im Rahmen der ersten postoperativen Volumenmessungen stieg das Gesamtvolumen des operierten Beines auf im Mittel 7,23 l (SD ±1,04 l) an. Das geringste Volumen lag bei 5,91 l, das maximale bei 8,96 l.

Das Gesamtvolumen des gesunden Beines sank geringfügig auf 7,01 l (Mittel), 5,57 l (Minimum), 8,06 l (Maximum) bei einer SD von ±0,83 l.

In der zweiten postoperativen Woche erreichten die Beinvolumina des operierten und gesunden Beines annähernd gleiche Werte. Der Mittelwert lag bei beiden bei ±6,85 l.

Während in der Folgezeit das Volumen des operierten Beines über im Mittel von 6,61 l (SD ±0,70 l) nach Woche 3 auf 6,52 l (SD ±0,57 l) nach Woche 4 weiter absank, stagnierte das Beinvolumen weitestgehend bei Werten um 6,85 l (vgl. Beinvolumen 1). Am Ende der Beobachtungszeit unterschieden sich die Beinvolumina im operierten und nicht-operierten Bein nicht signifikant ($p = 0,190$).

Bei der Untersuchung auf Normalverteilung des Beinvolumens des verletzten Beines an den unterschiedlichen Messzeitpunkten mittels Kolmogorov-Smirnov und Shapiro-Wilk zeigte sich, dass normal verteilte Werte vorlagen. Daher erfolgte die Berechnung der Signifikanz der gemessenen Unterschiede mittels Varianzanalyse für wiederholte Messungen. Der hier ermittelte p-Wert < 0,001

weist auf hochsignifikante Unterschiede der erhobenen Mittelwerte zu den unterschiedlichen Messzeitpunkten hin.

Die Post-Hoc-Analyse wurde mittels T-Tests durchgeführt. Das Signifikanzniveau hierbei lag nach Bonferroni-Adjustierung bei $p < 0{,}005$.

Dabei stellten sich die Volumenänderungen von präoperativ zu Woche 3 ($p = 0{,}000$) und Woche 4 ($p = 0{,}000$), von Woche 1 zu Woche 3 ($p = 0{,}000$) und Woche 4 ($p = 0{,}003$) sowie von Woche 2 zu Woche 3 ($p = 0{,}000$) und Woche 4 ($p = 0{,}005$) als signifikant heraus.

Zur besseren Vergleichbarkeit der Volumendaten der einzelnen Probanden wurden zusätzlich zu den erhobenen absoluten Volumenveränderungen relative Volumenveränderungen berechnet. Hierzu diente der präoperativ erhobene Volumenwert als Referenzwert und wurde gleich 100% gesetzt. Alle postoperativen Messergebnisse der einzelnen Probanden wurden daraufhin mit ihren individuellen präoperativen Werten in Relation gesetzt.

Die relativen Volumenentwicklungen zeigen einen ähnlichen Verlauf wie das absolute Volumen (vgl. Beinvolumen 2).

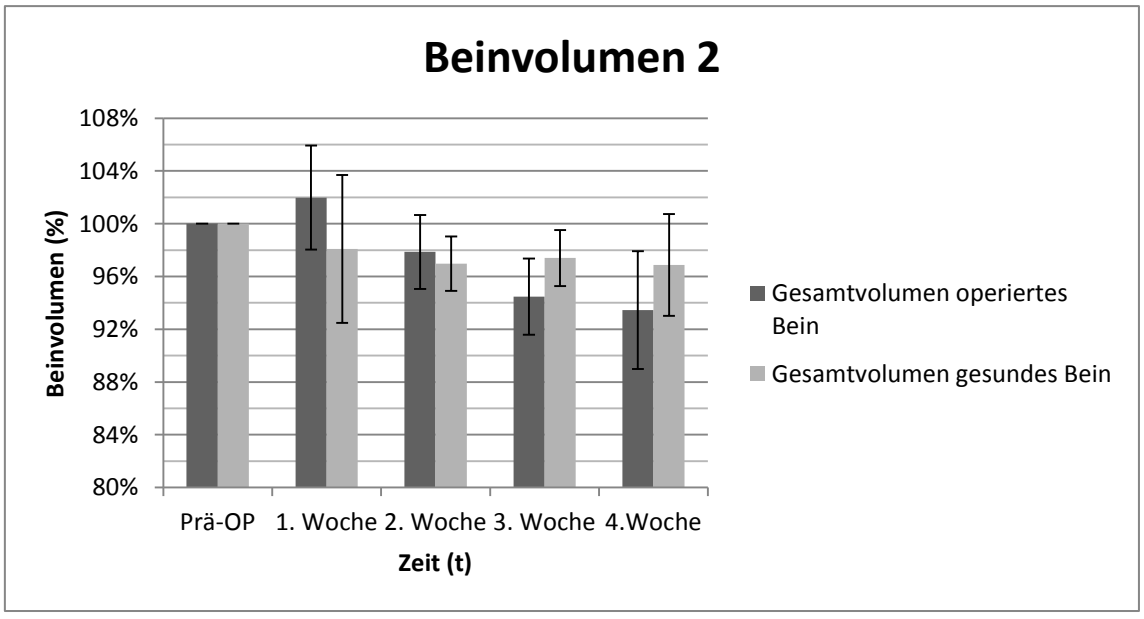

Abbildung 13: Beinvolumen in Prozent der Erstmessung

3.4 Knieumfang

Die Knieumfangsdaten wurden aus den Messergebnissen der Image-3D-Beinvolumenmessungen gewonnen.
Daraus resultierten ähnlich wie bei der Beinvolumenmessung zunächst absolute Messergebnisse.
Der Mittelwert des Knieumfangs ergab bei der präoperativen Messung ein Ergebnis von 40,04 cm bei einer SD von ±1,96 cm im verletzten Bein. Das Kniegelenk des gesunden Beines wies mit 39,58 cm im Mittel bei einer SD von ±1,87 cm ein etwas geringeres Volumen auf, welcher jedoch nicht signifikant war ($p = 0,613$).
Postoperativ nahm das operierte Knie im Mittel bis nach der ersten postoperativen Woche an Volumen auf 42,35 cm (SD ±2,51 cm) zu, um in der Folgewoche wieder leicht auf 41,83 cm (SD ±1,95 cm) im Mittel abzusinken. Dieser Trend setzte sich in den Wochen 3 und 4 fort. Der Knieumfang fiel zunächst auf einen Mittelwert von 41,18 cm (SD ±1,62 cm) und schließlich auf 40,64 cm (SD ±1,25 cm). Somit lag der Knieumfang nach vier Wochen noch leicht über dem präoperativen Ausgangswert. Die im Verlauf beobachteten Veränderungen des Knieumfangs sind hochsignifikant ($p < 0,001$).
Für die Post-Hoc-Analyse mittels T-Tests ergab sich nach Bonferroni-Adjustierung ein Signifikanzniveau von $p < 0,005$. Unter dieser Annahme ergaben sich signifikante Veränderungen des Knieumfang von präoperativ zu Woche 1 ($p = 0,000$) und von präoperativ zu Woche 2 ($p = 0,000$) sowie von Woche 3 zu Woche 4 ($p = 0,005$).
Das Knie des gesunden Beines zeigte bis zum Ende der vierwöchigen Nachbeobachtungsphase kaum Veränderungen: 38,97 cm (SD ±1,46 cm) nach der ersten, 39,46 cm (SD ±1,80 cm) nach der zweiten, 39,54 cm (SD ±2,09 cm) nach der dritten und 38,96 cm (SD ±1,45 cm) nach der vierten postoperativen Woche.

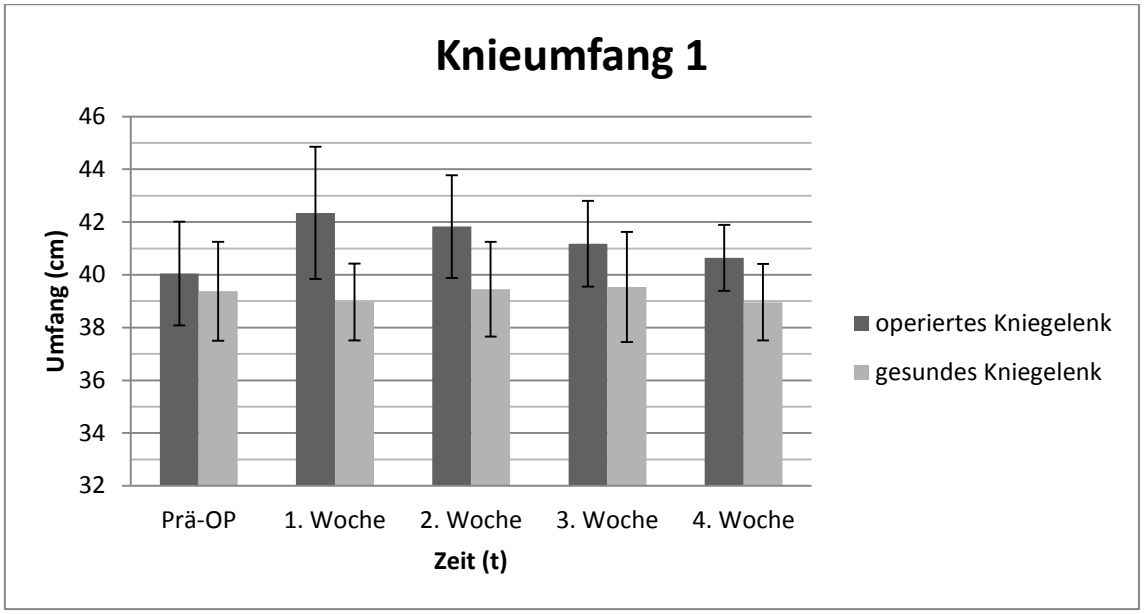

Abbildung 14: absoluter Knieumfang in cm

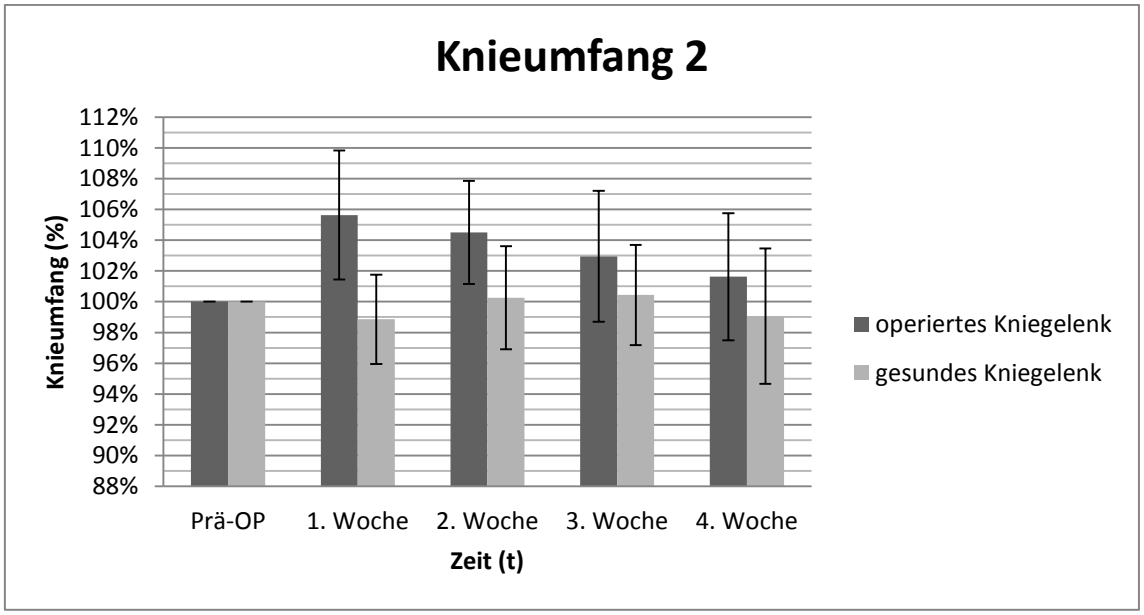

Abbildung 15: Relativer Knieumfang im Vergleich zur Erstmessung

Zur besseren Vergleichbarkeit wurden auch die Knieumfangsdaten in Relation zu Ihrem präoperativen Wert gesetzt. Das Verfahren glich dabei dem der Volumenmessungen.

Hierbei konnte im verletzten Kniegelenk nach einer postoperativen Woche eine Umfangszunahme auf im Mittel 105,63% (SD ±4,20%) des präoperativen Werts

ausgerechnet werden. Der Maximalwert lag bei 113,20%, während der Minimalwert einem Volumenverlust auf 97,44% entsprach.
Im Verlauf reduzierte sich der relative Umfang des operierten Kniegelenks auf 104,50% (SD ±3,35%) nach der zweiten, 102,94% (SD ±4,26%) nach der dritten und 101,63% (SD ±4,13%) nach der vierten Woche. Auch diese Beobachtungen sind hochsignifikant ($p < 0,001$).
Das gesunde Kniegelenk verzeichnete zunächst einen Umfangsverlust auf 98,30% (SD ±2,44%) nach Woche 1. Im Verlauf schwankte dieser Wert ca. um 1% um den präoperativen Ausgangswert.

3.5 Beweglichkeit

Wie bereits im Kapitel Material und Methoden erwähnt, wurde das Bewegungsausmaß der Probanden behandlungsbedingt eingegrenzt. Eine Beugung im verletzten Kniegelenk über 90° hinaus bzw. eine Überstreckung über 0° hinaus sollte nicht durchgeführt werden.
In der folgenden Grafik (Beweglichkeit 1) wird aufgezeigt, inwieweit die Probanden diese Maximalwerte erreichten.
Bereits eine Woche postoperativ erreichten 21,43% der Probanden eine Streckung auf 0°. Kein Proband erreichte zu diesem Zeitpunkt die maximale Beugung von 90°.
Nach Woche 2 konnten 50,00% ihr operiertes Kniegelenk auf 0° Strecken, 42,86% erreichten 90° Beugung.
Während zum Abschluss der Untersuchungen alle Probanden eine Streckung von 0° erreichten, lag der Anteil der Probanden, die die maximale Flexion erlangten, bei 78,57%.

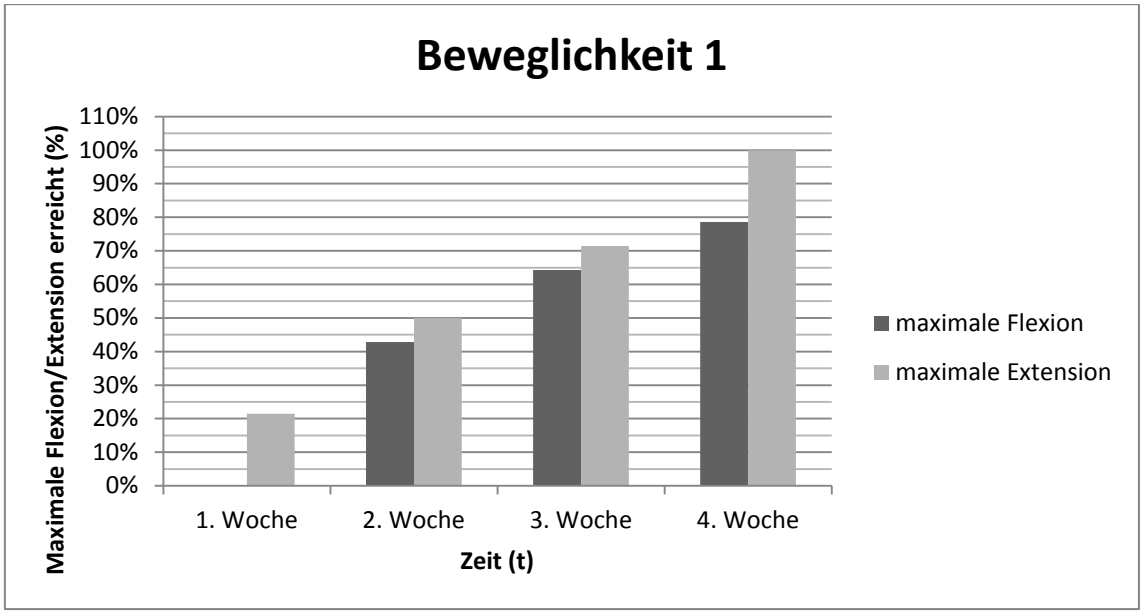

Abbildung 16: Maximale Beweglichkeit erreicht

Vor der genaueren Betrachtung der Extensions- und Flexionswerte in den folgenden Abbildungen sollte erwähnt werden, dass negative Werte eine Streckung des Gelenks über 0° hinaus darstellen. Positive Werte dagegen bedeuten ein Streckdefizit.

Präoperativ wurde im verletzten Kniegelenk eine Beweglichkeit von im Mittel 120° (SD ±22,66°) Flexion und -4,77° (SD ±10,22°) Extension gemessen. Die Maximalwerte lagen bei 144° (Flexion) und -20° (Extension), während Minimalwerte von 64° (Flexion) und 18° (Extension) erhoben wurden.

Nach einer Woche postoperativ reduzierte sich im Vergleich zur präoperativen Messung die Flexion auf im Mittel 66,79° (SD ±12,60°) und die Extension auf ein Streckdefizit von 11,14 (SD ±7,62).

In der Folgemessung konnte eine sukzessive Annäherung an 90° Flexion bzw. 0° Extension ausgemacht werden. Auch diese Veränderungen sind statistisch hochsignifikant ($p<0,001$). Für die Post-Hoc-Analyse der Flexions- bzw. Extensionswerte mittels Wilcoxon-Tests wurde ein Signifikanzniveau von < 0,005 nach Bonferroni-Adjustierung errechnet.

Hierbei ergaben sich bei der Flexion signifikante Veränderungen von präoperativ zu Woche 1 ($p = 0,002$), Woche 2 ($p = 0,002$), Woche 3 ($p = 0,002$) und Woche 4 ($p = 0,003$) sowie von Woche 1 zu Woche 2 ($p = 0,001$), Woche 3

(p = 0,001) und Woche 4 (p = 0,001). Für die Extension zeigten sich die Veränderungen von präoperativ zu Woche 1 (p = 0,003) signifikant sowie von Woche 1 zu Woche 2 (p = 0,004), Woche 3 (p = 0,002) und Woche 4 (p = 0,002).

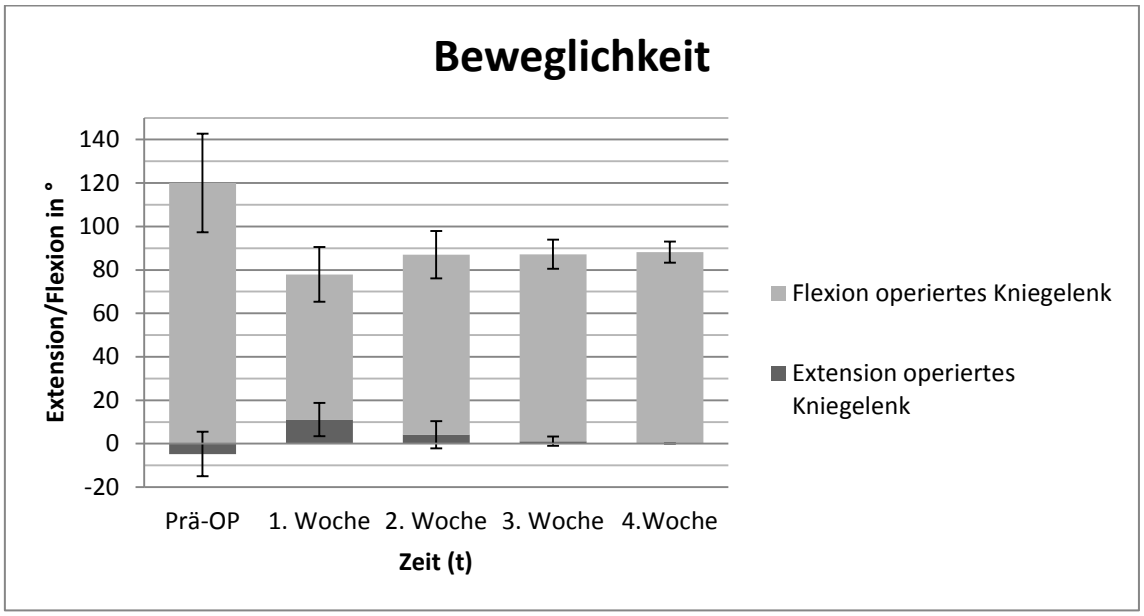

Abbildung 17: Extension und Flexion des operierten Kniegelenks

Die Beweglichkeit im gesunden Kniegelenk lag präoperativ über der des verletzten Kniegelenks mit im Mittel 134,92° (SD ±6,76°) Flexion und -9,08° (SD ±5,39°) Extension. Nach Woche 1 lagen diese Werte bei 135,29° (SD ±6,40°) Flexion und -10,57 (SD ±5,05°) Extension.

Auch in der Folge blieben die Werte auf dem Ausgangsniveau: zum Abschluss der Untersuchungen nach Woche 4 bei 137,50° (SD ±5,67°) Flexion und -11° (SD ±3,80°) Extension.

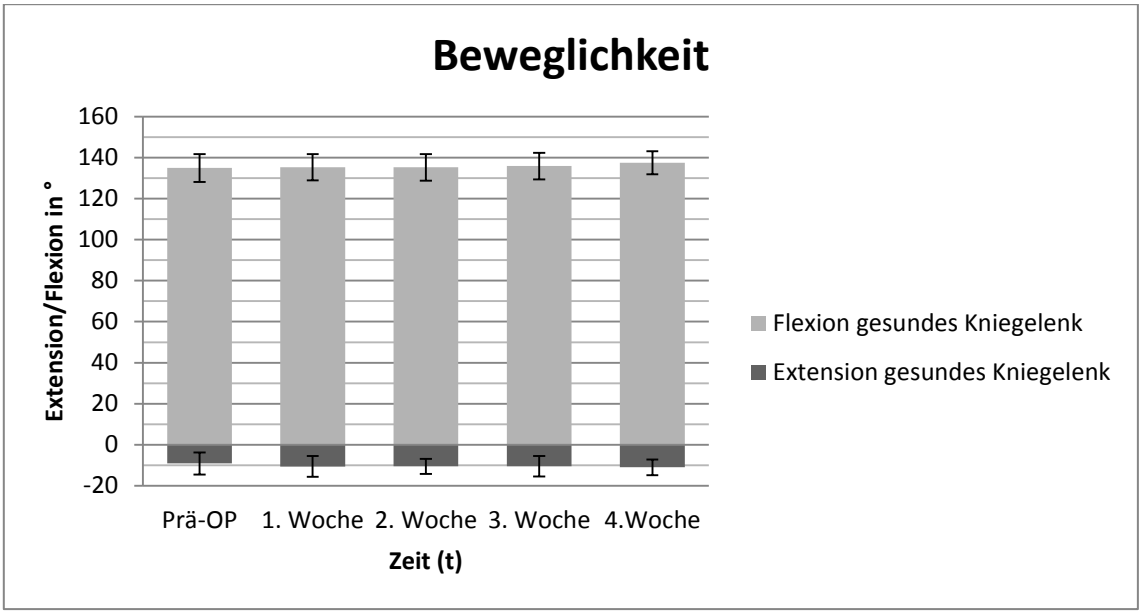

Abbildung 18: Extension und Flexion des nicht-operierten Kniegelenks

3.6 Schmerz

Die Erhebung der Schmerzdaten ließ Werte zwischen 0 und 100% zu.

Am ersten postoperativen Tag gaben die Probanden einen Schmerzwert von im Mittel 33,39% (SD ±24,63%) mit einem Maximalwert von 78,09% und einem Minimalwert von 0%.

Am zweiten postoperativen Tag sank der mittlere Schmerzwert auf 24,24% (SD ±12,45%) bei einem Maximalwert von 41,01% und einem Minimalwert von 7,30%. Der letzte stationär gemessene Schmerzwert ergab einen Mittelwert von 22,39% (SD ±15,19%) bei einem Maximalwert von 50,00% und einem Minimalwert von 5,61%.

Eine Woche postoperativ blieb der Schmerzwert auf ähnlichem Niveau von im Mittel

20,35% (SD ±16,97). Der höchste Wert lag an diesem Messzeitpunkt bei 67,42%, während der geringste Wert mit 6,74% angegeben wurde.

Nach der zweiten postoperativen Woche erfolgte ein Absinken des mittleren Schmerzwertes auf 13,08% (SD ±12,55%). Die Schmerzangaben schwankten dabei zwischen 0% und 51,12%.

Nach Woche 3 und Woche 4 lagen die Schmerzangaben bei 5,90% (SD ±4,69%) bzw. 4,65% (SD ±3,25%). Diese Veränderungen über den Zeitverlauf sind hochsignifikant ($p < 0,001$).

Für die Post-Hoc-Analyse mittels Wilcoxon-Test ergab sich nach Bonferroni-Adjustierung ein Signifikanzwert von $p < 0,0024$.

Demnach wurden signifikante Schmerzänderungen von Tag 1 zu Woche 3 ($p = 0,002$) und Woche 4 ($p = 0,002$), von Tag 2 zu Woche 3 ($p = 0,001$) und Woche 4 ($p = 0,001$), von Tag 3 zu Woche 3 ($p = 0,001$) und Woche 4 ($p = 0,001$), von Woche 1 zu Woche 3 ($p = 0,001$) und Woche 4 ($p = 0,001$) sowie von Woche 2 zu Woche 3 ($p = 0,002$).

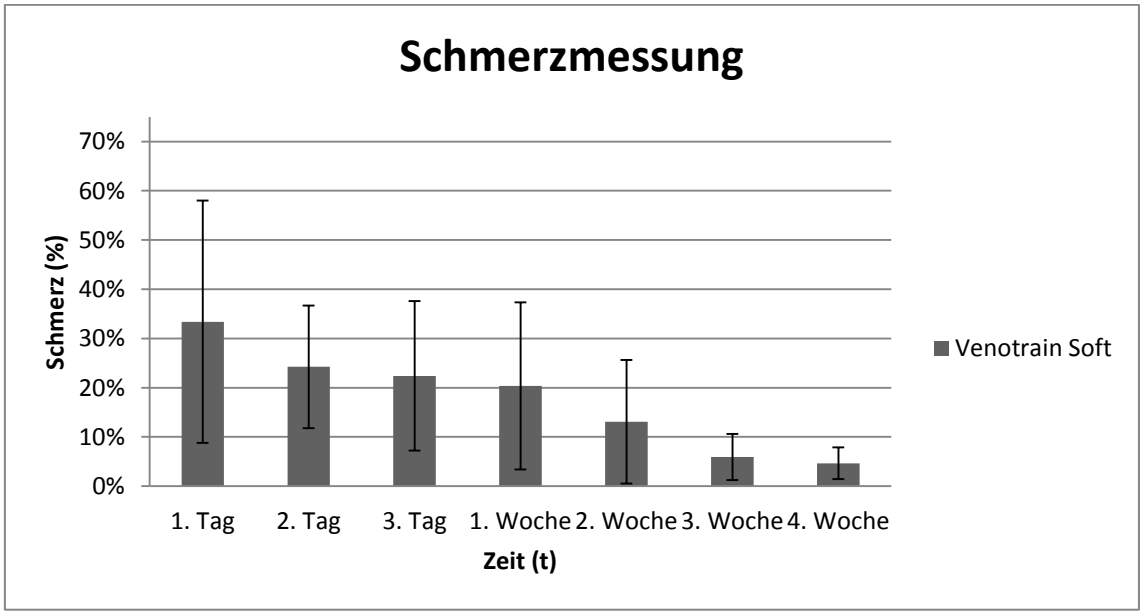

Abbildung 19: Ergebnisse der Schmerzmessungen

3.7 Korrelationsanalysen

Die einzelnen Ergebnisse der Parameter Beinvolumen, Knieumfang, Schmerz und Beweglichkeit wurden mittels Korrelationsanalyse auf mögliche Zusammenhänge untersucht.

3.7.1 Beinvolumen und Schmerz

Zur Untersuchung auf Zusammenhängen zwischen Beinvolumen und Schmerzen im operierten Bein wurden die Ergebnisse der Schmerzmessungen in Prozent mit den relativen Beinvolumenänderungen korreliert. Das relative Beinvolumen wurde gewählt, um nach der Operation entstandene Volumenänderungen zu erfassen und eine Vergleichbarkeit zwischen den Patienten herzustellen.

Die Abbildungen 20-23 fassen die Ergebnisse zusammen. Zusätzlich sind zu jeder Grafik der zugehörige Korrelationskoeffizient angegeben, das zweiseitige Signifikanzniveau und ebenfalls die Anzahl der untersuchten Fälle. Da bei den Daten oftmals keine Normalverteilung vorlag, wurden Korrelationskoeffizient und Signifikanz mittels Korrelationsanalyse nach Spearman ermittelt.

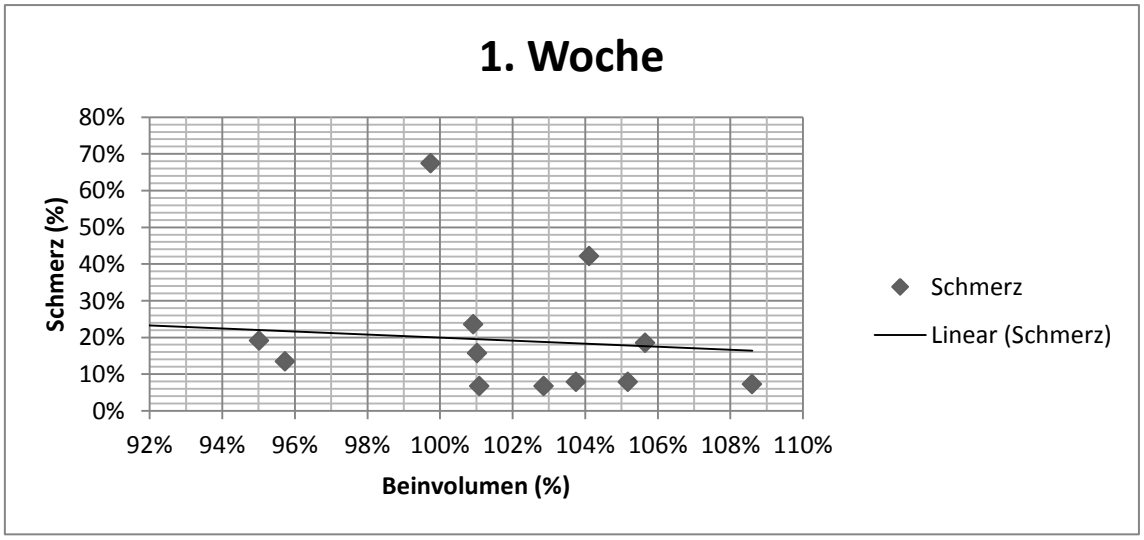

Abbildung 20: Korrelation Beinvolumen und Schmerz Woche 1

Korrelationskoeffizient	-0,361
Signifikanz (2-seitig)	0,248
N	12

Tabelle 2: Korrelation Beinvolumen und Schmerz Woche 1

Nach Woche 1 zeigt sich kein einheitliches Bild. Hohe Beinvolumina gehen nicht mit hohen Schmerzwerten einher oder umgekehrt. Auffällig ist Patient 116, der einen Schmerzwert von ca. 67% angibt bei einem Gesamtbeinvolumen von ca. 99% des Ausgangswerts. Wird dieser Patient bei der Korrelationsanalyse nicht berücksichtigt, verändert sich das Ergebnis jedoch kaum (Korrelationskoeffizient = -0,251, p = 0,456, N = 11).

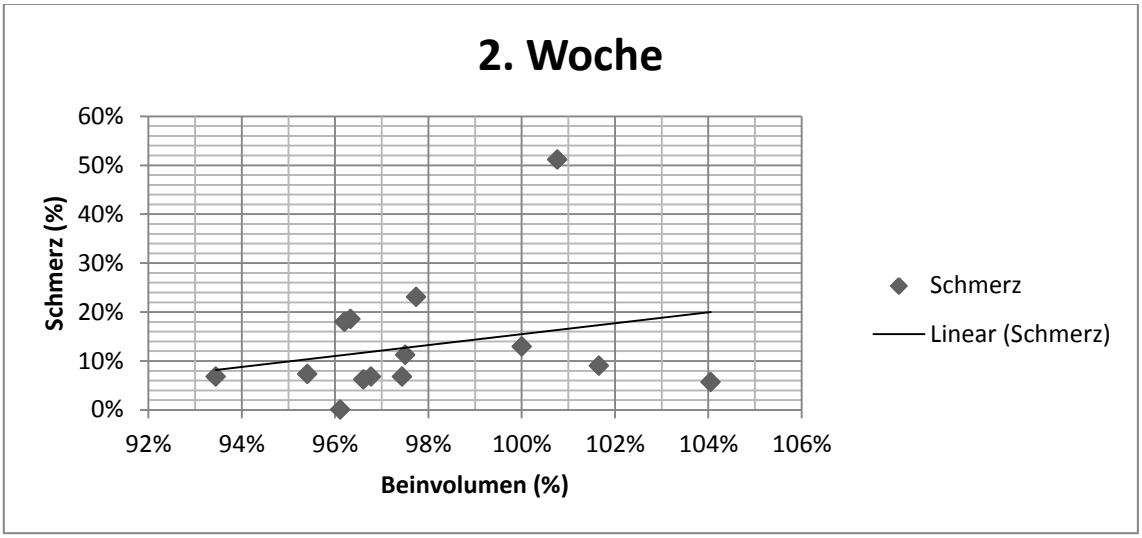

Abbildung 21: Korrelation Beinvolumen und Schmerz Woche 2

Korrelationskoeffizient	0,232
Signifikanz (2-seitig)	0,425
N	14

Tabelle 3: Korrelation Beinvolumen und Schmerz Woche 2

Ähnlich wie zur Vorwoche verhält es sich nach Woche 2. Hier erscheint jedoch Patient 110 auffällig mit hohen Schmerzwerten bei einem Gesamtbeinvolumen von ca. 100% des Ausgangswerts. Ein Ausschluss des Extremwerts aus dieser Statistik verändert diese jedoch nur geringfügig (Korrelationskoeffizient = 0,138, p = 0,653, N = 13).

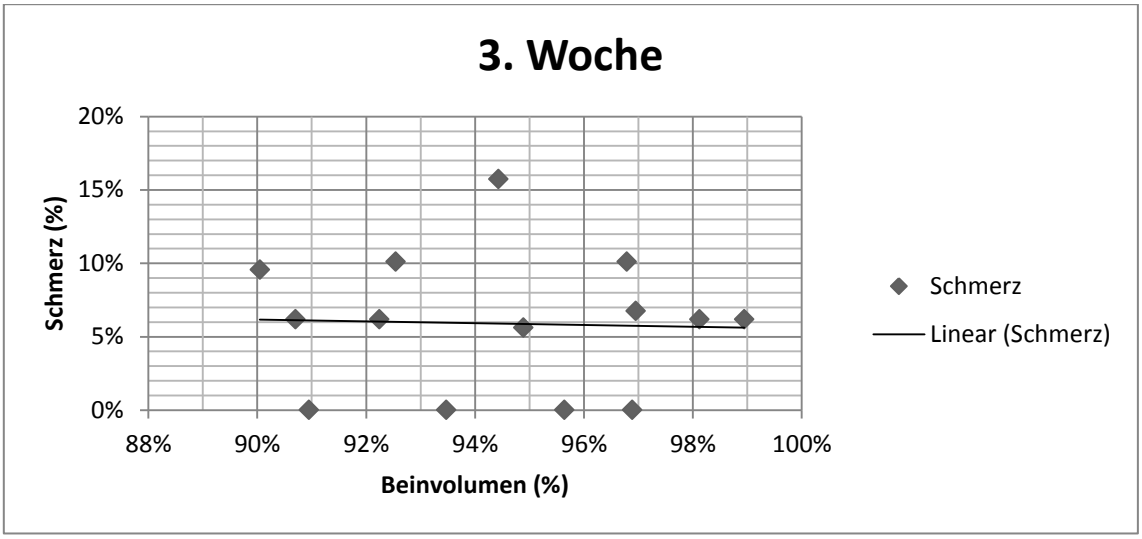

Abbildung 22: Korrelation Beinvolumen und Schmerz Woche 3

Korrelationskoeffizient	-0,050
Signifikanz (2-seitig)	0,867
N	14

Tabelle 4: Korrelation Beinvolumen und Schmerz Woche 3

Nach Woche 3 zeigen sich keine „Ausreißer“ mehr. Hinweise für einen Zusammenhang der Parameter zeigen sich auch hier nicht.

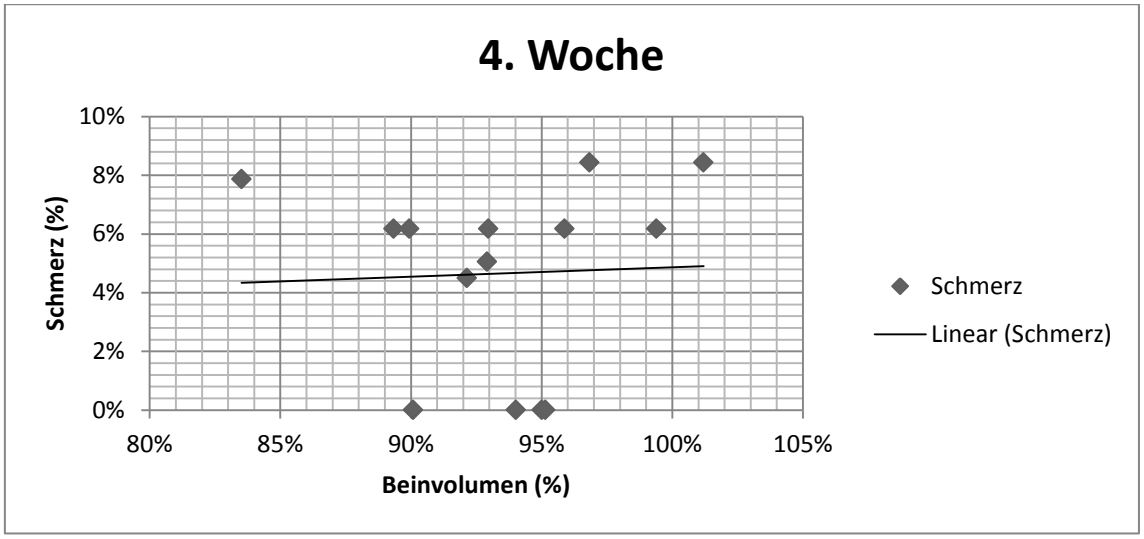

Abbildung 23: Korrelation Beinvolumen und Schmerz Woche 4

Korrelationskoeffizient	0,173
Signifikanz (2-seitig)	0,554
N	14

Tabelle 5: Korrelation Beinvolumen und Schmerz Woche 4

Am Ende des Beobachtungszeitraums wiederholt sich das Bild der Vorwoche. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass sich zu keinem Zeitpunkt der Nachbeobachtung eine signifikante Korrelation der Parameter Beinvolumen und Schmerzen darstellen lässt. Auch tendenziell zeigt sich kein Hinweis auf einen Zusammenhang dieser Parameter.

3.7.2 Beinvolumen und Beweglichkeit

Bei der Untersuchung der Parameter Beinvolumen und Beweglichkeit wurde bei letzterem zwischen Extension und Flexion unterschieden. Das Beinvolumen wurde erneut als relatives Beinvolumen betrachtet, um die Veränderungen in Relation zum Zeitpunkt vor der Intervention abbilden zu können.

Die Abbildungen 24-27 fassen die Ergebnisse zusammen. Zusätzlich sind zu jeder Grafik der zugehörige Korrelationskoeffizient angegeben, das zweiseitige Signifikanzniveau und die Anzahl der untersuchten Fälle

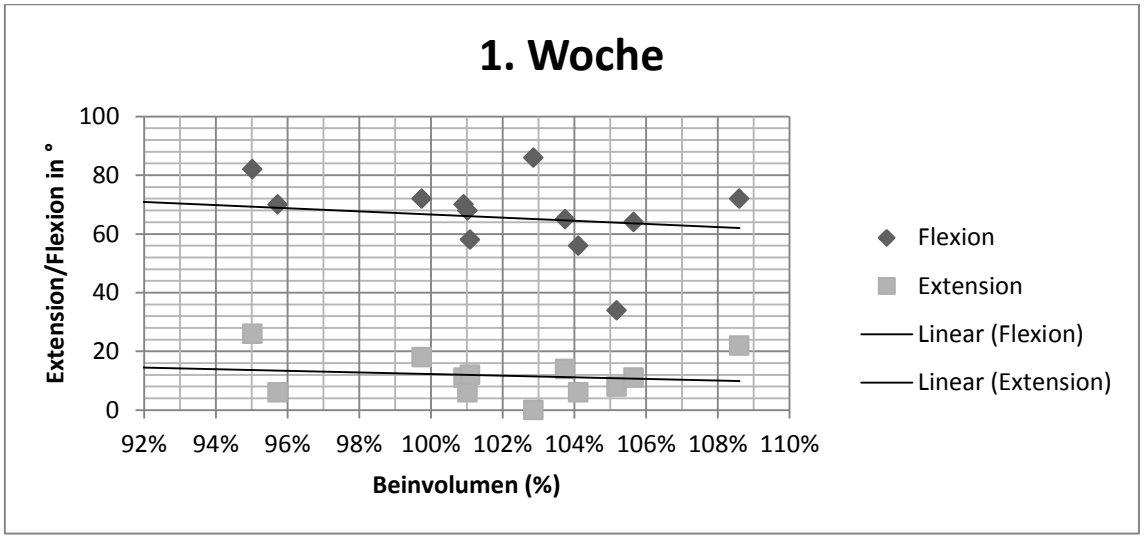

Abbildung 24: Korrelation Beinvolumen und Beweglichkeit Woche 1

Flexion	
Korrelationskoeffizient	-0,453
Signifikanz (2-seitig)	0,140
N	12
Extension	
Korrelationskoeffizient	-0,074
Signifikanz (2-seitig)	0,819
N	12

Tabelle 6: Korrelation Beinvolumen und Beweglichkeit Woche 1

Tendenziell besteht zwischen Beinvolumen und Beugefähigkeit ein negativer Zusammenhang, auch wenn dieser nicht signifikant ist. Dieses widerspräche der von uns und anderen Autoren aufgestellten Hypothese, dass höhere Beinvolumina mit einer reduzierten Beweglichkeit einhergehen. Die Extension

zeigt auch in der Tendenz, trotz nicht signifikanten Werten, keine Abhängigkeit vom Beinvolumen auf.

Auffällig ist jedoch Patient 110, der einen sehr geringen Flexionswert von 34° aufweist bei einer Volumenzunahme auf 105%. Wird er als „Ausreißer“ aus den Berechnungen entfernt, verringert sich die Tendenz zur negativen Korrelation zwischen Flexion und Beinvolumen nur minimal, ohne eine Signifikanz zu erreichen (Korrelationskoeffizient = -0,393, p = 0,232, N = 11).

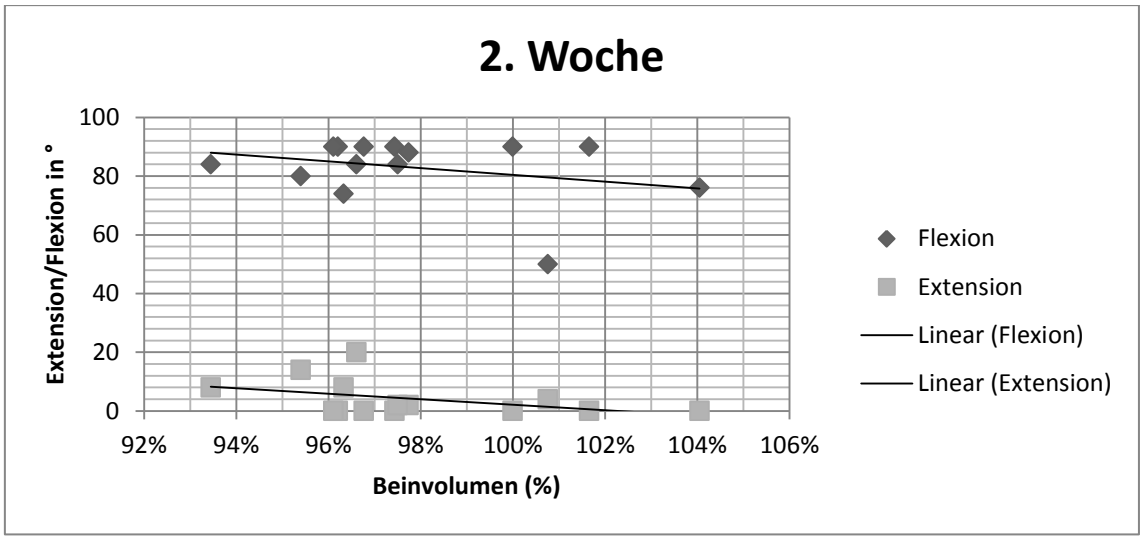

Abbildung 25: Korrelation Beinvolumen und Beweglichkeit Woche 2

Flexion	
Korrelationskoeffizient	-0,048
Signifikanz (2-seitig)	0,870
N	14
Extension	
Korrelationskoeffizient	-0,409
Signifikanz (2-seitig)	0,146
N	14

Tabelle 7: Korrelation Beinvolumen und Beweglichkeit Woche 2

Nach 2 Wochen ergibt sich das umgekehrte Bild, auch wenn die Werte nicht signifikant bleiben. Die Flexion zeigt sich tendenziell unabhängig, während die Extension negativ mit dem Beinvolumen korreliert. Patient 110 fällt auch hier bei der Betrachtung der Flexion als Extremwert mit geringer Beugefähigkeit auf. Wird dieser aus der Berechnung ausgeschlossen, bleiben nicht signifikante unabhängige Werte bestehen (Korrelationskoeffizient = 0,131, p = 0,670, N = 13).

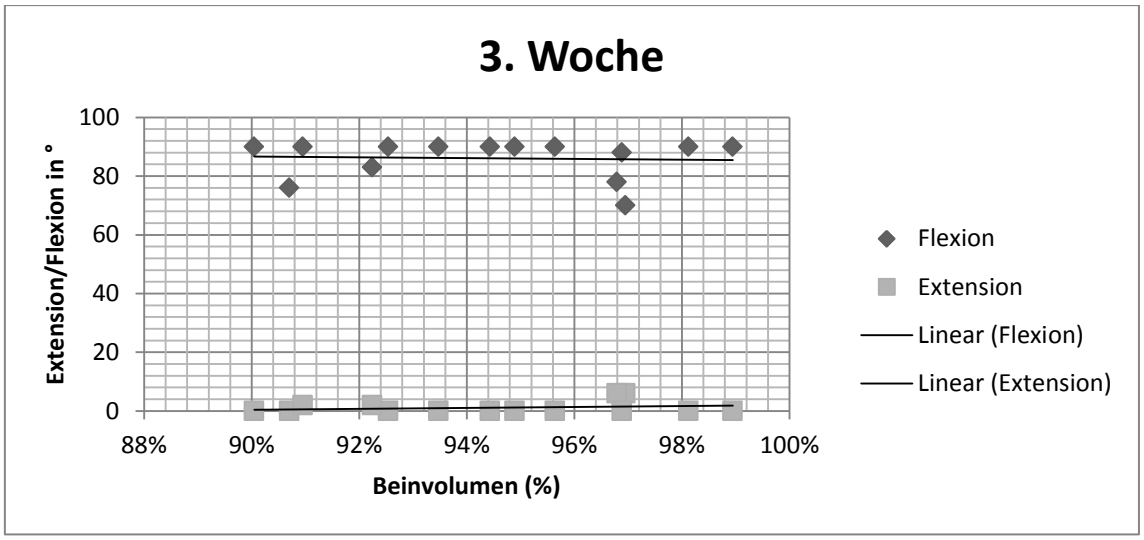

Abbildung 26: Korrelation Beinvolumen und Beweglichkeit Woche 3

Flexion	
Korrelationskoeffizient	-0,054
Signifikanz (2-seitig)	0,855
N	14
Extension	
Korrelationskoeffizient	-0,044
Signifikanz (2-seitig)	0,881
N	14

Tabelle 8: Korrelation Beinvolumen und Beweglichkeit Woche 3

Nicht signifikant unabhängig voneinander zeigen sich die Werte nach Woche 3. Die meisten Patienten haben hier bereits die volle Flexion und Extension erreicht, bei breit gestreuten Volumenwerten.

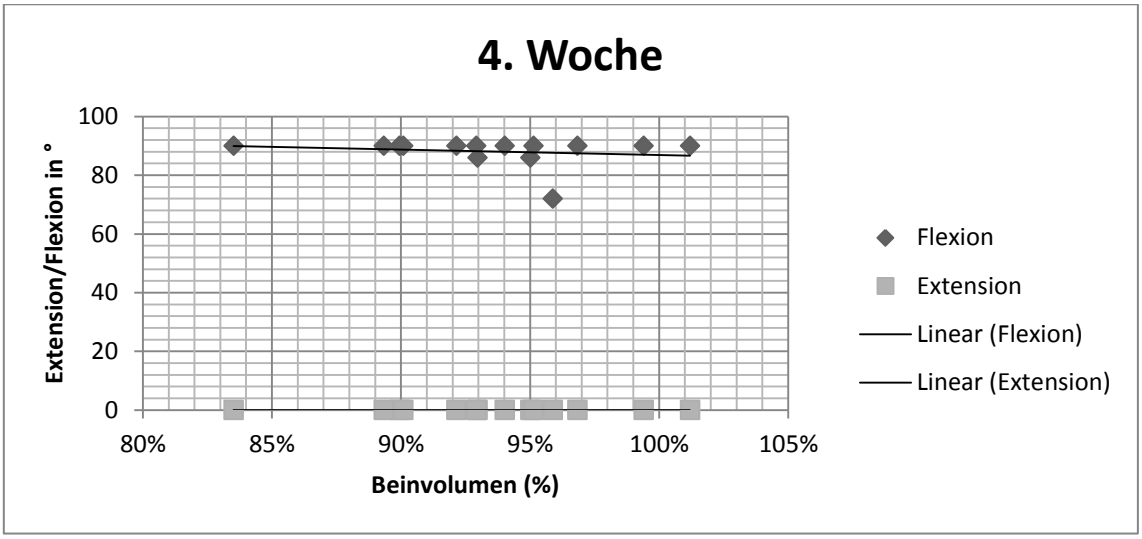

Abbildung 27: Korrelation Beinvolumen und Beweglichkeit Woche 4

Flexion	
Korrelationskoeffizient	-0,211
Signifikanz (2-seitig)	0,468
N	14
Extension	
Korrelationskoeffizient	.
Signifikanz (2-seitig)	.
N	14

Tabelle 9: Korrelation Beinvolumen und Beweglichkeit Woche 4

Das Bild aus Woche 3 wiederholt sich am Ende des Untersuchungszeitraums. Alle Patienten haben hier die volle Extension erreicht. Auffällig erscheint hier Patient 109, der auf ein Beinvolumen von lediglich 83% des Ausgangswerts kommt. Dieser Wert könnte auf einem Messfehler beruhen. Wird dieser Patient

bei den Berechnungen ausgeschlossen, ergeben sich für die Flexion ähnliche Werte wie zuvor (Korrelationsanalyse = -0,168, p = 0,584, N = 13).
Patient 110 fällt weiterhin mit einer geringen Flexionsfähigkeit auf.
Insgesamt lässt sich zu keinem Zeitpunkt der Nachbeobachtung eine signifikante Korrelation der Parameter Beinvolumen und Beweglichkeit darstellen. Auch tendenziell zeigt sich kein signifikanter Hinweis dafür, dass im Zeitverlauf beispielsweise größere Beinvolumina zu einer Verringerung der Kniegelenksbeweglichkeit führen oder umgekehrt. Lediglich in den ersten beiden Wochen zeigen sich negative Korrelationen für die Flexion (Woche 1) und Extension (Woche 2).

3.7.3 Knieumfang und Schmerz

Die Veränderungen des Beinvolumens postoperativ werden nicht nur durch die Ödem- und Ergussbildung beeinflusst, sondern auch durch die im Rahmen der Inaktivität der Muskulatur auftretende Muskelhypotrophie. Daher wurde auch der Einfluss des Knieumfangs auf das Schmerzempfinden separat untersucht. Die Abbildungen 28-31 zeigen die Ergebnisse dieser Korrelationen. Zusätzlich sind zu jeder Grafik der zugehörige Korrelationskoeffizient angegeben, das zweiseitige Signifikanzniveau und die Anzahl der untersuchten Fälle. Da auch hier keine normalverteilten Ergebnisse vorlagen, erfolgte die Korrelationsanalyse nach Spearman.

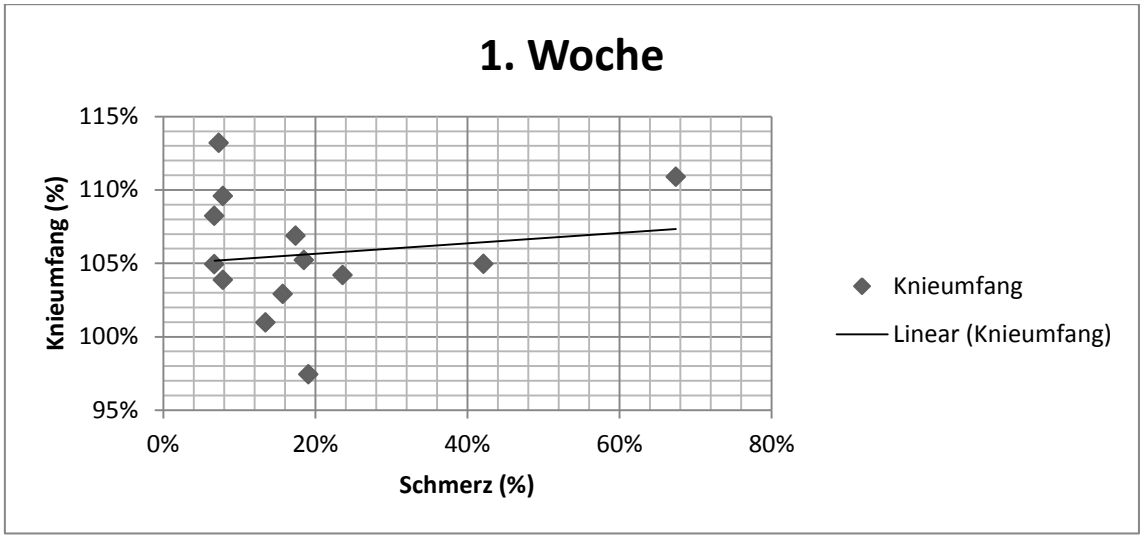

Abbildung 28: Korrelation Knieumfang und Schmerz Woche 1

Korrelationskoeffizient	-0,135
Signifikanz (2-seitig)	0,660
N	13

Tabelle 10: Korrelation Knieumfang und Schmerz Woche 1

Auffällig ist nach der ersten Woche erneut Patient 116, der einen Schmerzwert von ca. 67% angibt bei einer Knieumfangszunahme auf ca. 111% des Ausgangswerts. Diese Knieumfangszunahme ist der zweithöchste gemessene Wert und geht gleichzeitig mit dem höchsten Schmerzwert einher. Dennoch ergibt sich kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen Knieumfang und Schmerzen in der beobachteten Gruppe. Wird Patient 116 bei der Korrelationsanalyse nicht berücksichtigt, verändert sich das Ergebnis kaum (Korrelationskoeffizient = -0,375, p = 0,229, N = 12).

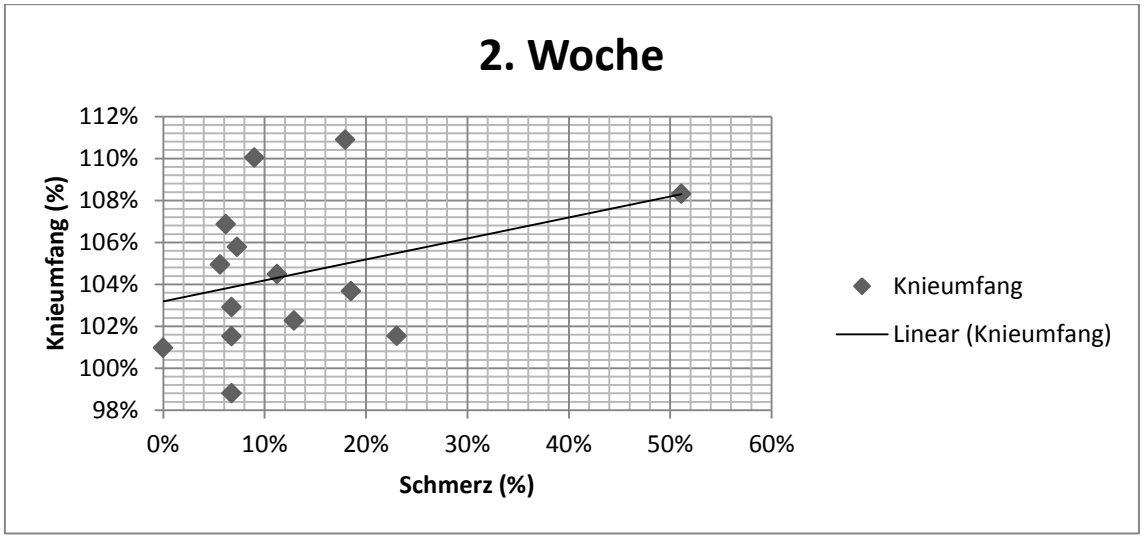

Abbildung 29: Korrelation Knieumfang und Schmerz Woche 2

Korrelationskoeffizient	0,267
Signifikanz (2-seitig)	0,356
N	14

Tabelle 11: Korrelation Knieumfang und Schmerz Woche 2

Patient 110 fällt auch hier als “Ausreißer“ auf. Insgesamt betrachtet ergibt sich erneut kein Anhalt für einen Zusammenhang zwischen Knieumfang und Schmerzempfinden, auch wenn die Ergebnisse statistisch nicht signifikant sind. Die Entfernung von Patient 110 aus den Berechnungen ergibt keine bedeutenden Veränderungen im Ergebnis (Korrelationskoeffizient = 0,182, p = 0,551, N = 13).

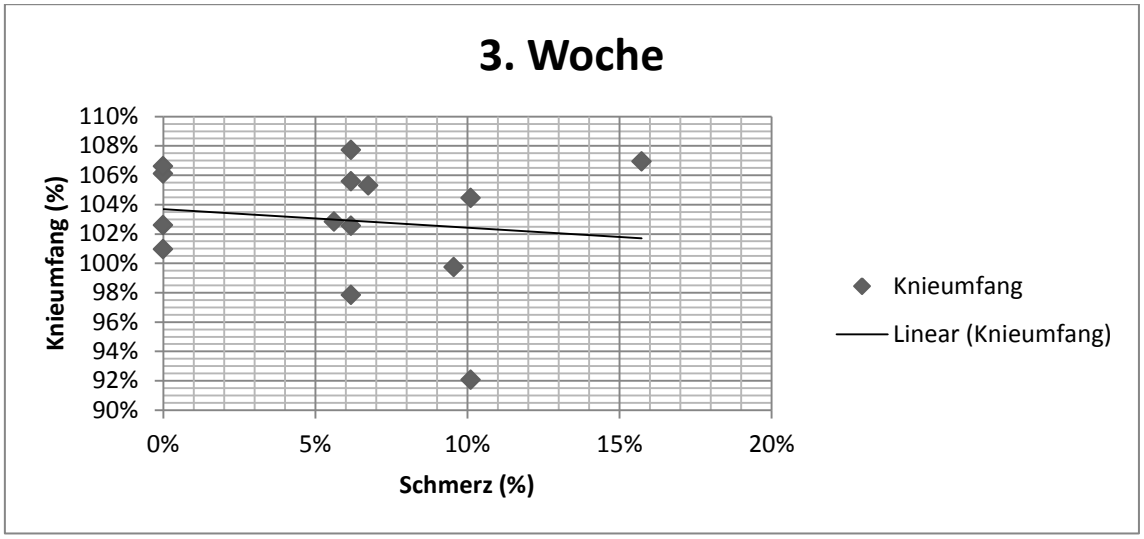

Abbildung 30: Korrelation Knieumfang und Schmerz Woche 3

Korrelationskoeffizient	-0,090
Signifikanz (2-seitig)	0,760
N	14

Tabelle 12: Korrelation Knieumfang und Schmerz Woche 3

Auch nach Woche 3 gibt es keine Hinweise auf Zusammenhänge dieser Parameter. Auffällig erscheint hier erneut Patient 109, der bekanntermaßen auch auf eine deutliche Gesamtvolumenreduktion kam. Auch der Knieumfang wurde hier mit 92% des Ausgangswerts niedrig gemessen. Wird dieser Patient bei den Berechnungen ausgeschlossen, ergeben sich ähnliche Werte wie zuvor (Korrelationsanalyse = -0,057, p = 0,854, N = 13).

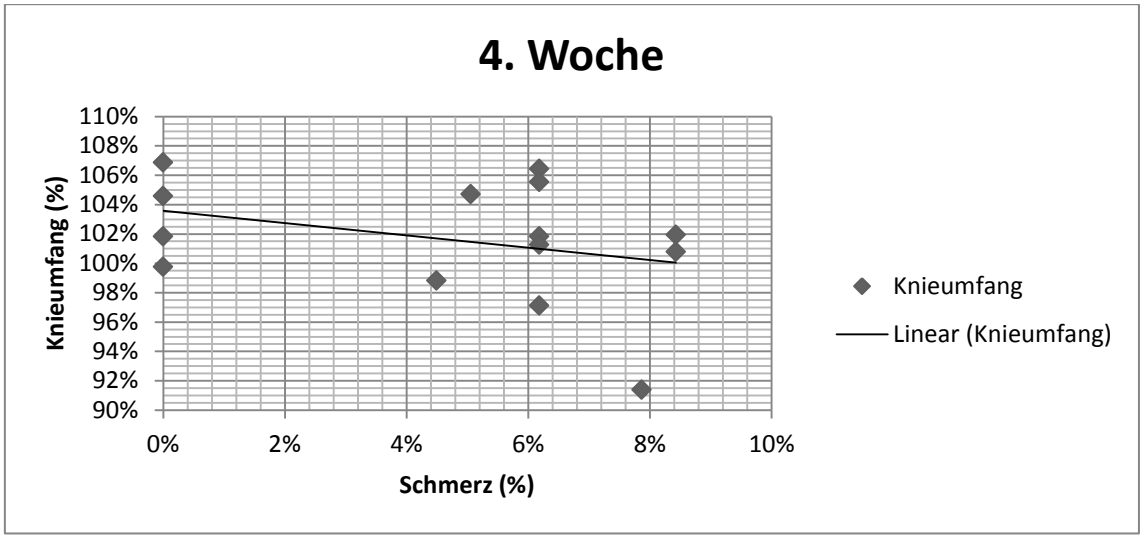

Abbildung 31: Korrelation Knieumfang und Schmerz Woche 4

Korrelationskoeffizient	-0,223
Signifikanz (2-seitig)	0,443
N	14

Tabelle 13: Korrelation Knieumfang und Schmerz Woche 4

Auch in Woche 4 zeigt sich bei Patient 109 ein sehr niedriger Knieumfang von ca. 91% des Ausgangswerts. Ohne diesen Patienten verändert sich die Statistik minimal (Korrelationskoeffizient = -0,089, p = 0,772, N = 13). Die Ergebnisse bleiben nicht signifikant.

Insgesamt betrachtet ergeben sich auch für die Parameter Schmerzen und Knieumfang keine Hinweise auf einen Zusammenhang: weder eine konstante Tendenz zu einer Korrelation noch statistisch signifikante Werte konnten gefunden werden.

3.7.4 Knieumfang und Beweglichkeit

Hinweise auf eine Auswirkung der Knieumfangsveränderungen auf die Beweglichkeit sollten ebenfalls durch eine Korrelationsanalyse gesucht werden. Letztere wurden erneut unterteilt in Flexion und Extension.

Patient 110 zeigt in den vorherigen Korrelationsanalysen Extremwerte für die Flexion auf. Daher wurde er in dieser Darstellung nicht berücksichtigt. Die berechneten Ergebnisse änderten sich durch den Ausschluss nur minimal, ohne an Signifikanz zu gewinnen.

Die Berechnungen verdeutlichen, dass auch hier kein Zusammenhang zwischen den gemessenen Umfangwerten und der Beweglichkeit zu bestehen scheint. Zu keinem der Messzeitpunkte konnten signifikante Korrelationskoeffizienten ermittelt werden, weder für die Flexion, noch für die Extension.

Die Abbildungen 32-35 stellen die Ergebnisse dieser Korrelationen nochmals grafisch dar. Zusätzlich sind zu jeder Grafik der zugehörige Korrelationskoeffizient angegeben, das zweiseitige Signifikanzniveau und die Anzahl der untersuchten Fälle. Da auch hier keine normalverteilten Werte vorlagen, erfolgte die Korrelationsanalyse nach Spearman.

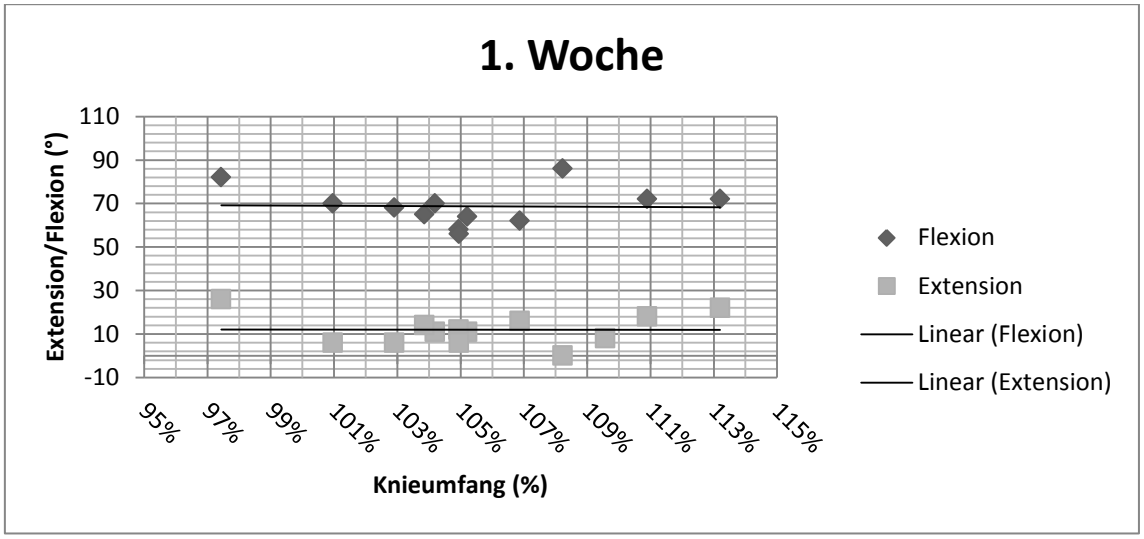

Abbildung 32: Korrelation Knieumfang und Beweglichkeit Woche 1

Flexion	
Korrelationskoeffizient	-0,050
Signifikanz (2-seitig)	0,872
N	13
Extension	
Korrelationskoeffizient	0,130
Signifikanz (2-seitig)	0,672
N	13

Tabelle 14: Korrelation Knieumfang und Beweglichkeit Woche 1

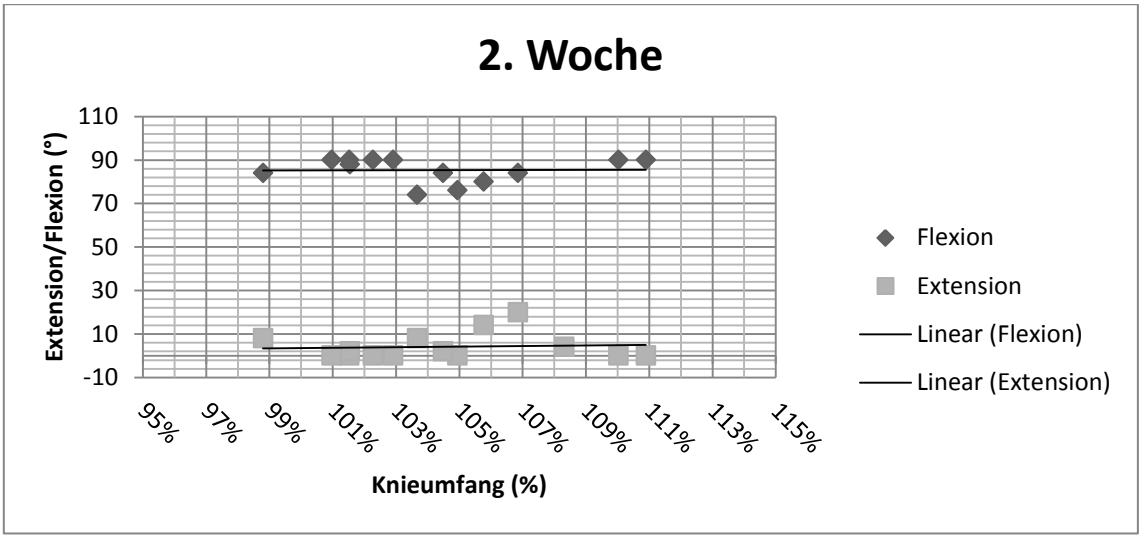

Abbildung 33: Korrelation Knieumfang und Beweglichkeit Woche 2

Flexion	
Korrelationskoeffizient	-0,239
Signifikanz (2-seitig)	0,410
N	14
Extension	
Korrelationskoeffizient	-0,002
Signifikanz (2-seitig)	0,994
N	14

Tabelle 15: Korrelation Knieumfang und Beweglichkeit Woche 2

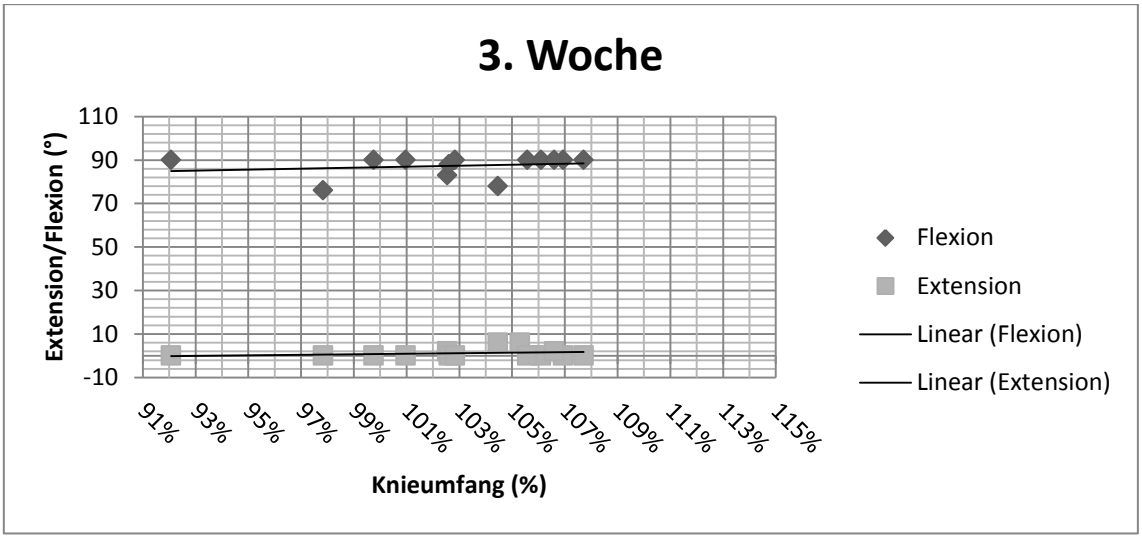

Abbildung 34: Korrelation Knieumfang und Beweglichkeit Woche 3

Flexion	
Korrelationskoeffizient	0,336
Signifikanz (2-seitig)	0,262
N	13
Extension	
Korrelationskoeffizient	0,145
Signifikanz (2-seitig)	0,636
N	13

Tabelle 16: Korrelation Knieumfang und Beweglichkeit Woche 3

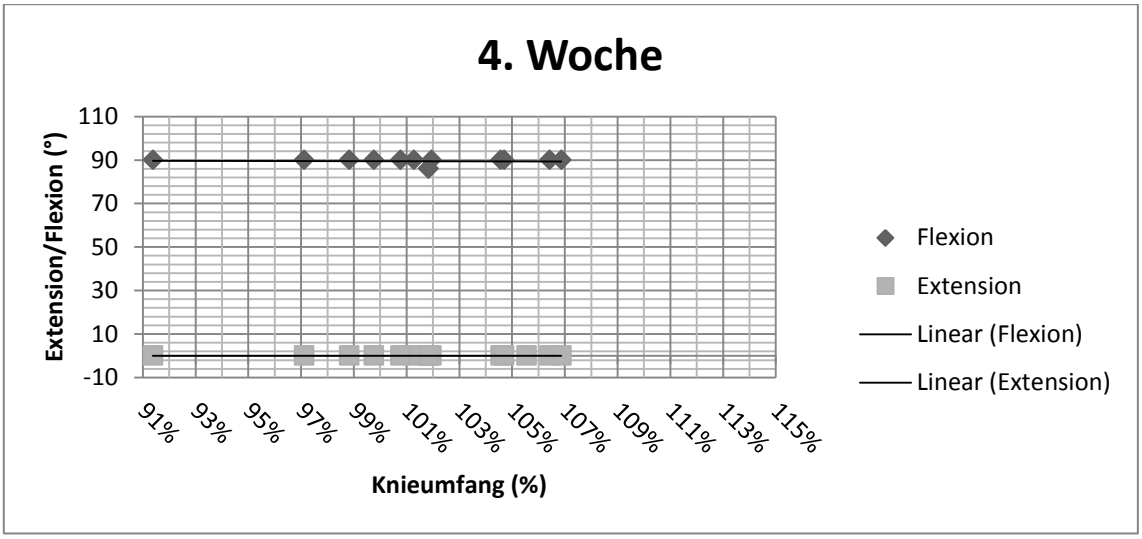

Abbildung 35: Korrelation Knieumfang und Beweglichkeit Woche 4

Flexion	
Korrelationskoeffizient	-0,221
Signifikanz (2-seitig)	0,448
N	14
Extension	
Korrelationskoeffizient	.
Signifikanz (2-seitig)	.
N	14

Tabelle 17: Korrelation Knieumfang und Beweglichkeit Woche 4

3.7.5 Beweglichkeit und Schmerz

Auch die Werte von Schmerzen und Beweglichkeit im operierten Bein wurden zur Untersuchung auf Zusammenhänge miteinander in Korrelation gesetzt. Die Schmerzwerte wurden als Prozentwert verwendet und die Beweglichkeit in Flexion und Extension unterteilt. Die Abbildungen 36-39 stellen die Ergebnisse dieser Korrelationen nochmals grafisch dar. Zusätzlich sind zu jeder Grafik der zugehörige Korrelationskoeffizient angegeben, das zweiseitige

Signifikanzniveau und die Anzahl der untersuchten Fälle. Die Werte dieser Ergebnisse zeigten keine Normalverteilung.

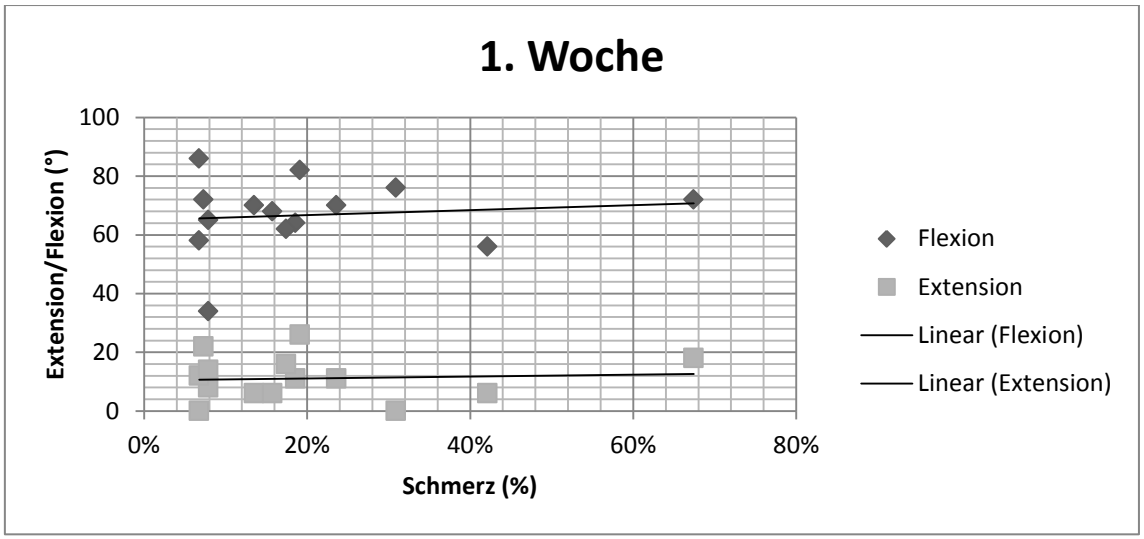

Abbildung 36: Korrelation Beweglichkeit und Schmerz Woche 1

Flexion	
Korrelationskoeffizient	0,082
Signifikanz (2-seitig)	0,781
N	14
Extension	
Korrelationskoeffizient	0,032
Signifikanz (2-seitig)	0,913
N	14

Tabelle 18: Korrelation Beweglichkeit und Schmerz Woche 1

Nach Woche 1 lassen sich keine signifikanten Korrelationen für Flexion oder Extension finden. Auffällig ist hier erneut Patient 116 mit einem hohen Schmerzwert von 67%. Dies scheint sich jedoch nicht negativ auf seine Beweglichkeit auszuwirken. Der Mittelwert für die Flexion liegt nach Woche 1 für alle Patienten bei 66,79°. Patient 116 erreicht hier einen Wert von 72°

Flexion und liegt somit über dem Durchschnitt. Die Extension weist im Mittel auf ein Streckdefizit für alle Patienten von 11,14° hin. Hier schafft er mit einem Defizit von 18° einen geringeren Extensionswert. Eine Nichtbeachtung der Ergebnisse dieses Patienten führt zu keinen signifikanten Veränderungen dieser Ergebnisse (Flex.: Korrelationskoeffizient = -0,017, p = 0,957, N = 13, Ext.: Korrelationskoeffizient: -0,129, p = 674, N = 13).

Patient 110 dagegen weist bei auffällig niedriger Flexion (34°) im Vergleich zum Mittelwert aller Patienten (66,79°), auch einen niedrigen Schmerzwert auf (7,8%). Eine Nichtbeachtung dieses Patienten führt ebenfalls zu keinen signifikanten Veränderungen der Ergebnisse (Flex.: Korrelationskoeffizient = 0,000, p = 1,00, N = 13, .Ext.: Korrelationskoeffizient = -0,015, p = 0,960, N = 13).

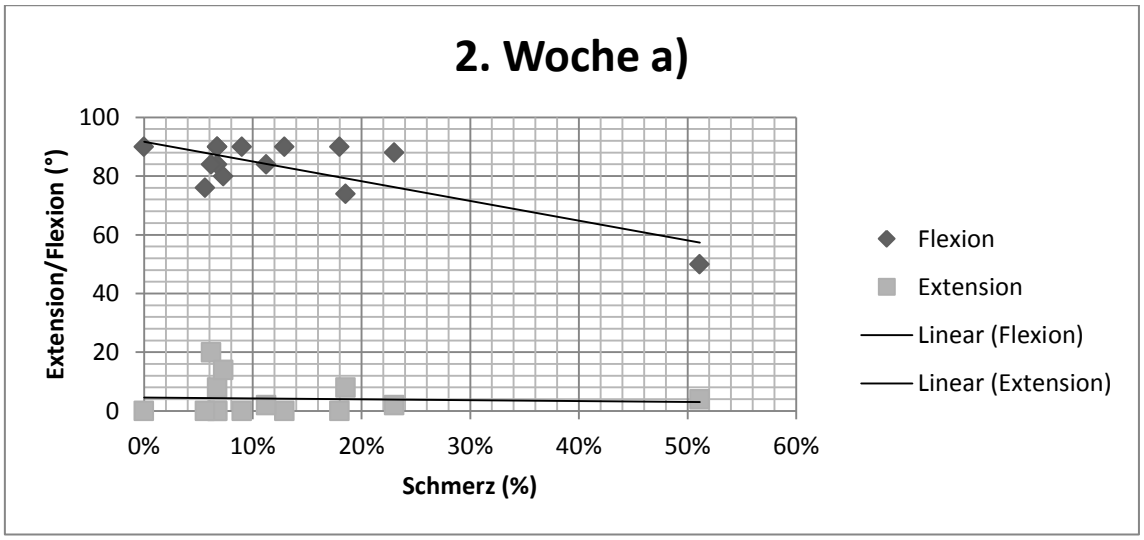

Abbildung 37: Korrelation Beweglichkeit und Schmerz Woche 2 a)

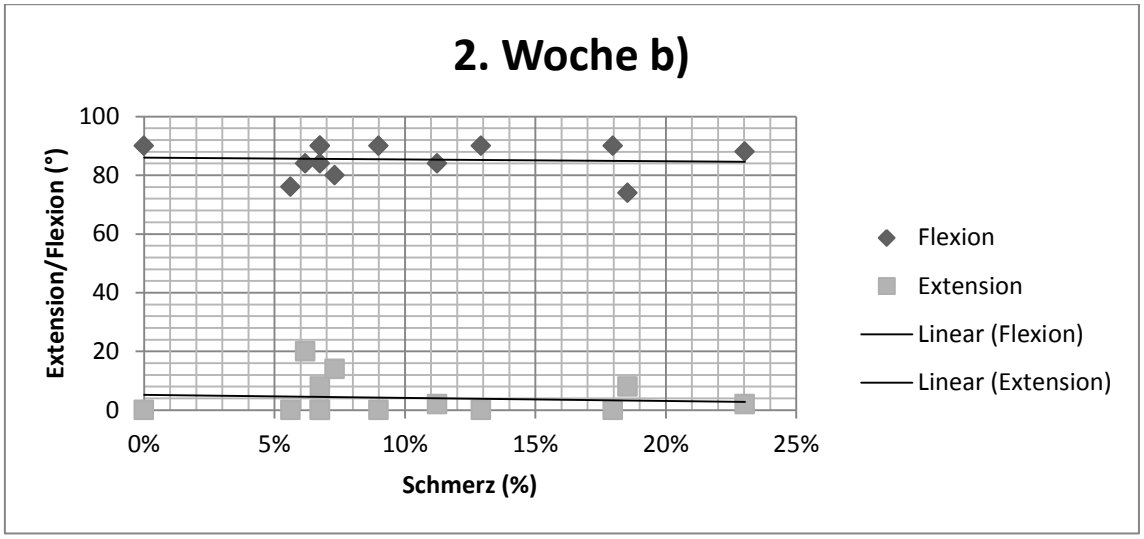

Abbildung 38: Korrelation Beweglichkeit und Schmerz Woche 2 b)

Flexion	*Gesamt*	*Ohne Patient 110*
Korrelationskoeffizient	-0,229	-0,023
Signifikanz (2-seitig)	0,432	0,940
N	14	13
Extension		
Korrelationskoeffizient	0,170	0,118
Signifikanz (2-seitig)	0,561	0,702
N	14	13

Tabelle 19: Korrelation Beweglichkeit und Schmerz Woche 2

Nach 2 Wochen Beobachtungszeitraum lassen sich keine signifikanten Ergebnisse darstellen. Auffällig ist Patient 110, der mit einem hohen Schmerzwert (51%) auch eine deutlich reduzierte Flexion (50°) erreicht. Dies schlägt sich, wie in Abbildung a) ersichtlich, auf die Regressionsgerade nieder, die hier einen starken Zusammenhang suggeriert. Auch die Korrelationskoeffizienten, mit und ohne Patient 110, deuten hier auf einen negativen Zusammenhang hin, auch wenn die Ergebnisse keine Signifikanz erreichen (vergleiche Tab. 19).

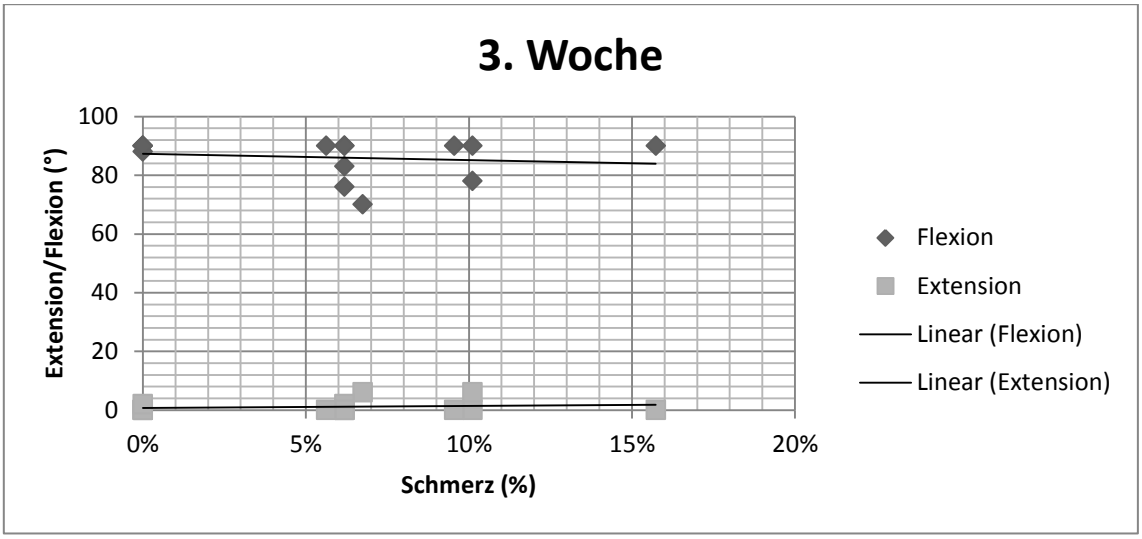

Abbildung 39: Korrelation Beweglichkeit und Schmerz Woche 3

Flexion	
Korrelationskoeffizient	-,170
Signifikanz (2-seitig)	,560
N	14
Extension	
Korrelationskoeffizient	,170
Signifikanz (2-seitig)	,562
N	14

Tabelle 20: Korrelation Beweglichkeit und Schmerz Woche 3

Nach 3 Wochen Beobachtungszeitraum zeigen sich keine signifikanten Ergebnisse. Patient 110 weist weiterhin die geringste Flexion auf (70°) bei nun wieder Schmerzwerten im mittleren Bereich (7%).

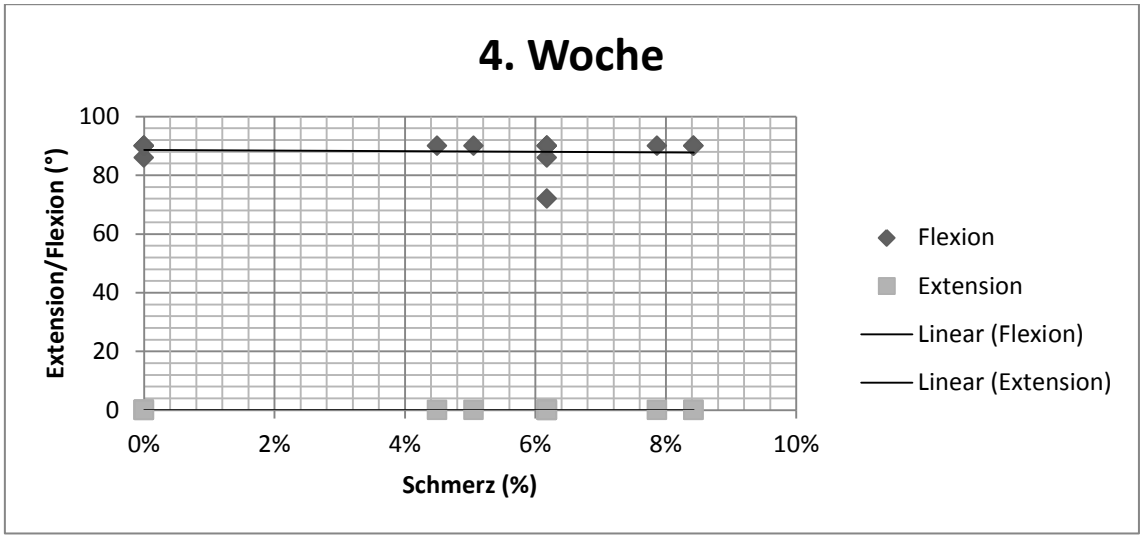

Abbildung 40: Korrelation Beweglichkeit und Schmerz Woche 4

Flexion	
Korrelationskoeffizient	,068
Signifikanz (2-seitig)	,817
N	14
Extension	
Korrelationskoeffizient	.
Signifikanz (2-seitig)	.
N	14

Tabelle 21: Korrelation Beweglichkeit und Schmerz Woche 4

Auch am Ende des Beobachtungszeitraums ergeben sich keine signifikanten Zusammenhänge für die Parameter Schmerzen, Flexion und Extension. Patient 110 bleibt als einziger Patient mit 72° Flexion deutlich entfernt von dem Ziel, 90° zu erreichen. Auf den Schmerzwert hat dieses jedoch keine Auswirkung (5%).

3.8 Post-OP-Bandage

3.8.1 Patientendaten

Die Interventionsgruppe erlangte eine Größe von drei Patienten im Alter von 26, 26 und 27 Jahren. Das Verhältnis Männer zu Frauen lag bei 2:1.
Die durchschnittliche Körpergröße der Patienten belief sich auf 1,80 m (SD ± 0,06 m). Ihr Gewicht betrug im Mittel 77,5 kg (SD ± 11,82 kg). Aus den ermittelten Werten ließ sich ein durchschnittlicher BMI von 23,79 kg/m² (SD ± 2,89 kg/m²) errechnen.
Ein Patient (33,33%) wurde am rechten Kniegelenk operiert, zwei Patienten (66,66%) am linken. Alle Patienten erlitten eine Komplettruptur des vKB und erhielten ein Patella-Bone-Tendon-Bone-Transplantat.

3.8.2 Ergebnisse der Vor- und Nachuntersuchungen

Die Anzahl der Studienteilnehmer in der Post-OP-Bandagen-Gruppe erreichte drei Teilnehmer.
Zwei dieser drei Teilnehmer entwickelten Nebenwirkungen wie Druckstellen, Blasenbildung der Haut und Druckschmerz. Zudem wurde bei allen Patienten dieser Gruppe im Verlauf ein lockerer Sitz der Bandage beobachtet.
Ein Proband beendete am zehnten postoperativen Tag die Teilnahme an der Studie und trug von da an herkömmliche Kompressionsstrümpfe.
Der Hersteller beschloss daher von einer weiteren Verwendung der Bandage abzusehen. Der Vollständigkeit halber werden die Ergebnisse aus dieser Gruppe im Folgenden dennoch dargestellt.

3.8.3 Patient 1

Patient 1 erlitt eine Komplettruptur des linken vKB und erhielt eine ipsilaterale Patella-Bone-Tendon-Bone-Plastik über Mini-Arthrotomie. Intraoperativ wurden keine Begleitverletzungen festgestellt.
Patient 1 trug die Post-OP-Bandage über den gesamten Beobachtungszeitraum. Hier traten keinerlei Beschwerden wie Druckstellen oder Blasenbildung auf. Subjektiv fiel dem Patienten anfangs eine schmerzlindernde Wirkung der Bandage beim Tragen auf im Vergleich zum Weglassen der Bandage. In Woche zwei postoperativ empfand der Patient die Bandage als etwas zu eng und klagte über Schwierigkeiten diese selbstständig anzuziehen.
Mit zunehmender Mobilität ab Woche 3 berichtete der Patient über ein größeres Stabilitätsgefühl und stärkere Muskelkraft durch Tragen der Bandage. Allerdings wurde sie weiterhin als etwas zu klein empfunden.
In der letzten Beobachtungswoche hätte die Bandage schließlich einen zufriedenstellenden Sitz aufgewiesen.

3.8.3.1 Beinvolumen

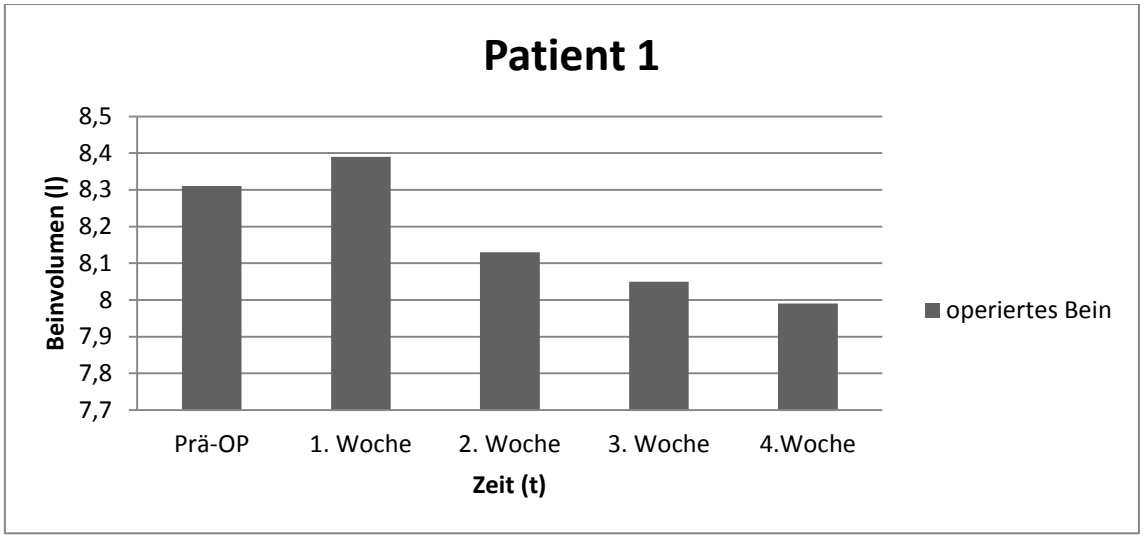

Abbildung 41: Patient 1 – Beinvolumen

Bei Patient 1 fällt ein nur geringgradiger Volumenzuwachs von unter 100 ml oder 0,9% des Ausganswerts in der ersten postoperativen Woche auf. Im Verlauf sinkt das Volumen kontinuierlich ab auf 7,99 l oder 96% am Ende des Beobachtungszeitraums.

3.8.3.2 Knieumfang

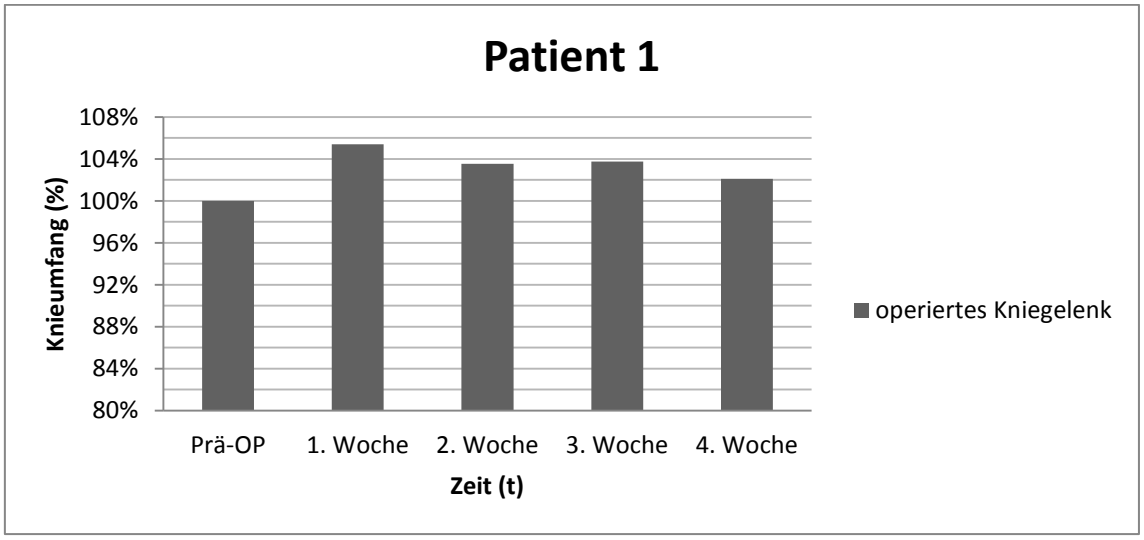

Abbildung 42: Patient 1 – Knieumfang

Bei der separaten Betrachtung des Kniegelenks zeigt sich eine Umfangszunahme auf mehr als 105% in der ersten postoperativen Woche, die bis zum Ende des Beobachtungszeitraums auf ca. 102% absinkt.

3.8.3.3 Beweglichkeit

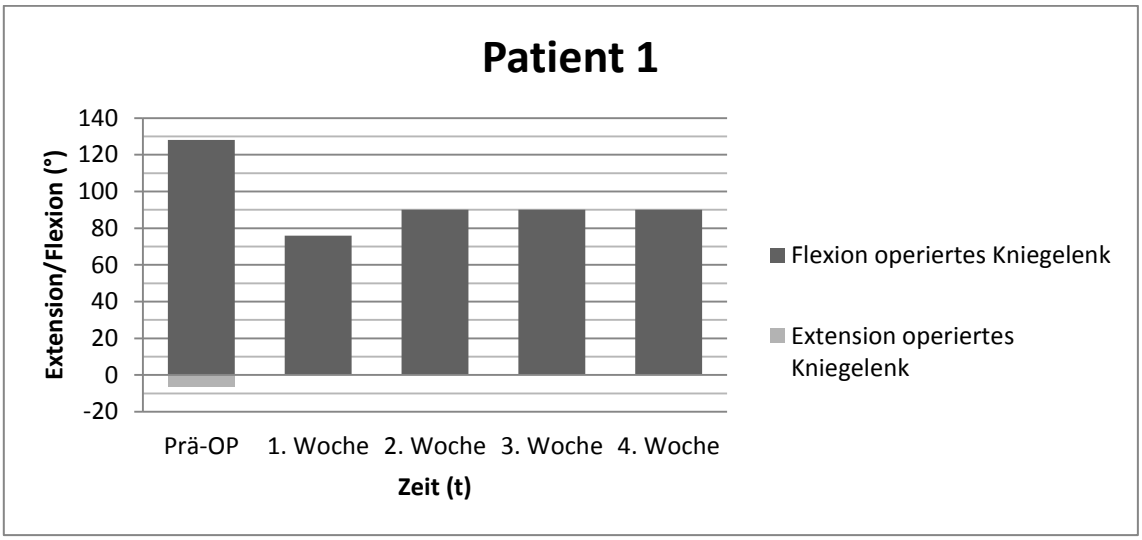

Abbildung 43: Patient 1 – Beweglichkeit

Die präoperative Beweglichkeit liegt mit 128° Beugung und 6° Überstreckung im Bereich des Mittelwerts der Kontrollgruppe (120°). Auffällig sind die postoperativen Beweglichkeitswerte. Bereits nach einer Woche ist die vollständige Extension erreicht und auch die Flexion ist mit 76° hoch. Ab Woche 2 erlangt der Patient auch die volle Flexion von 90°.

3.8.3.4 Schmerz

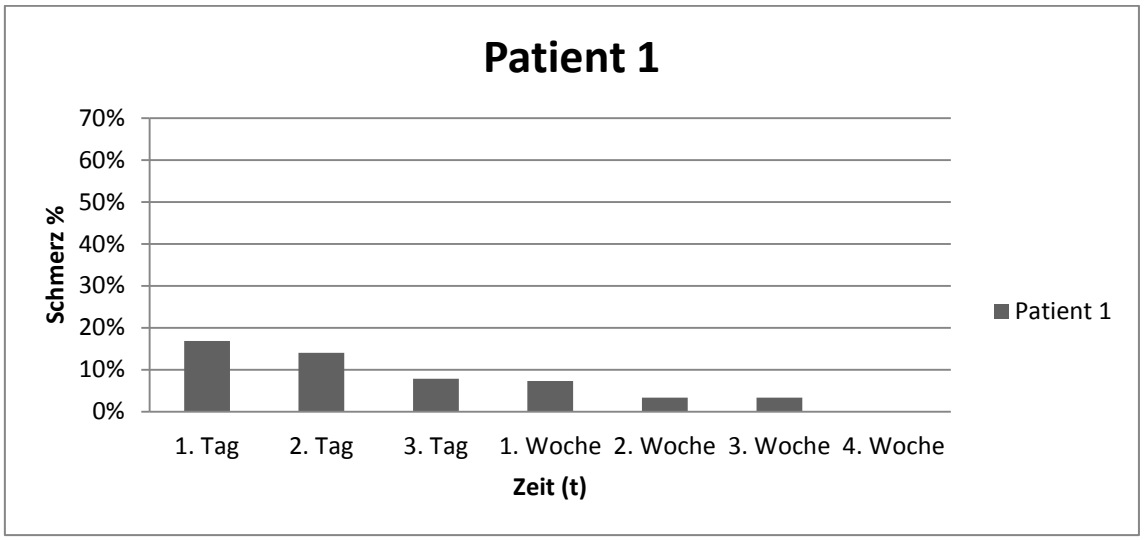

Abbildung 44: Patient 1 - Schmerz

Bei der Betrachtung der Schmerzwerte dieses Patienten fällt besonders der niedrige Ausgangswert auf. Allerdings gab es auch in der Kontrollgruppe Patienten mit ähnlich geringen Werten.

3.8.4 Patient 2

Bei Patient 2 lag eine Komplettruptur des linken vKB, ein inkompletter Längsriss im Bereich des Innenmeniskushinterhorns sowie eine Knorpelläsion Grad IV im Bereich der medialen Femurcondyle. Die vKB-Rekonstruktion erfolgte durch Einsatz eines ipsilateralen Patella-Bone-Tendon-Bone-Transplantats über Mini-Arthrotomie.

Patient 2 trug die Bandage über den gesamten Beobachtungszeitraum. Hierbei traten einige Komplikationen auf, die der Patient jedoch nie als so störend empfand, dass er die Teilnahme an der Studie beenden wollte.

Nach der ersten postoperativen Woche berichtete er über Schmerzen beim Tragen der Post-OP-Bandage besonders unter Falten rund um das Kniegelenk

und im Verlauf des Seitengestänges der Knieorthese. Diese Beschwerden machten es unmöglich die Bandage länger als zwei Stunden ungeöffnet zu tragen. Zudem empfand der Patient beim Tragen die Beweglichkeit im Kniegelenk als eingeschränkt.

In der klinischen Untersuchung ergaben sich rötlich-livide Abdrücke der Falten und des Gestänges der Knieorthese an Außen- und Innenseite des Knies. Die Längsfalte im Verlauf des Gestänges wies eine Länge von ca. 10 cm auf, während die je Seite ca. sechs quer verlaufende Abdrücke ca. 3-5 cm lang waren. Hier klagte der Patient auch über einen leichten Druckschmerz. Hinweise für Hauterosionen gab es nicht.

Ab der zweiten postoperativen Woche zeigten sich die geschilderten Beschwerden rückläufig. Im Verlauf fiel aber ein zunehmend mangelhafter Sitz der Bandage auf. Besonders am Oberschenkel wirkte sie zu weit.

Abbildung 45: Patient 2 linkes Knie von ventromedial. Erste Woche postoperativ

Abbildung 46: Patient 2 – linkes Bein von ventromedial. Die Post-OP-Bandage eine Woche postoperativ mit Faltenbildung im Bereich des Kniegelenks und lockerem Sitz im Bereich der Wadenmuskulatur

Abbildung 47: Patient 2 – linkes Bein von ventromedial. Die Post-OP-Bandage eine Woche postoperativ mit geöffnetem Fenster im Bereich des Kniegelenks

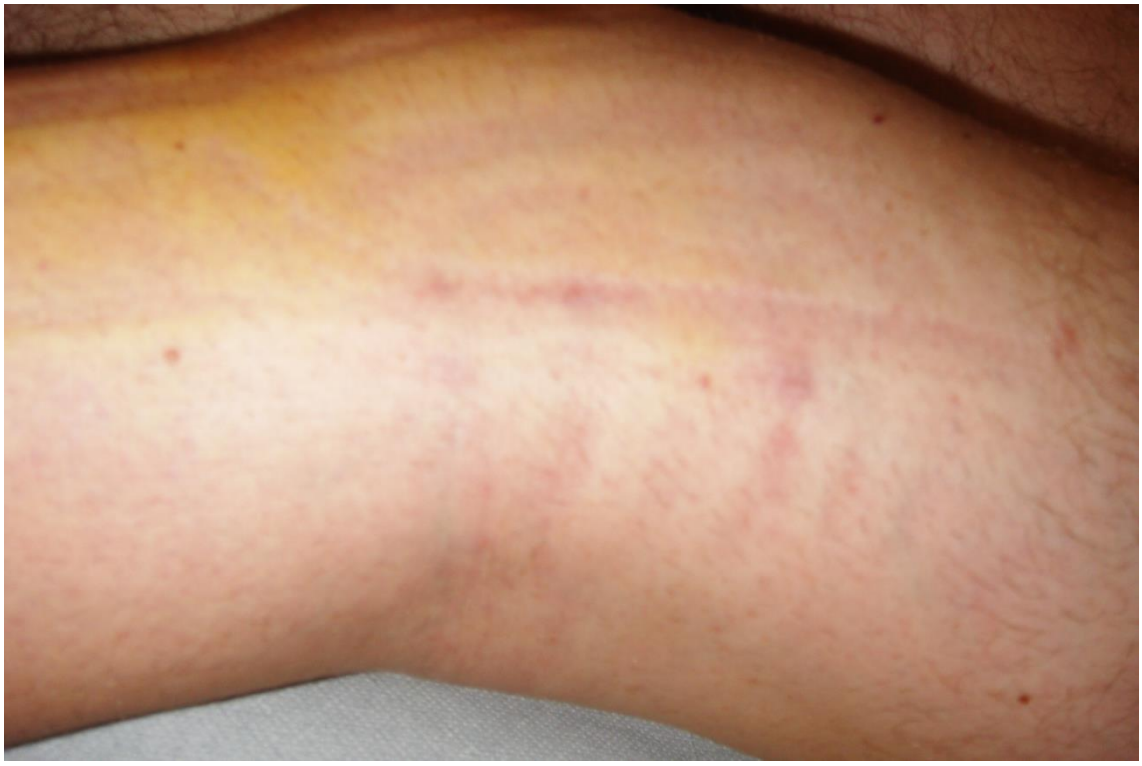

Abbildung 48: Patient 2 – linkes Knie von lateral. Druckstellen 10x1 cm in Längsrichtung, rechtwinklig hierzu ca. sechs 3-5 cm lange Druckstellen

Abbildung 49: Patient 2 – linkes Bein von lateral. Post-OP-Bandage, Faltenbildung im Bereich der Kniekehle

Abbildung 50: Patient 2 – linkes Bein von lateral. Die Post-OP-Bandage mit Knieorthese, Faltenbildung direkt unter den Längsstreben und dem Gelenk der Orthese

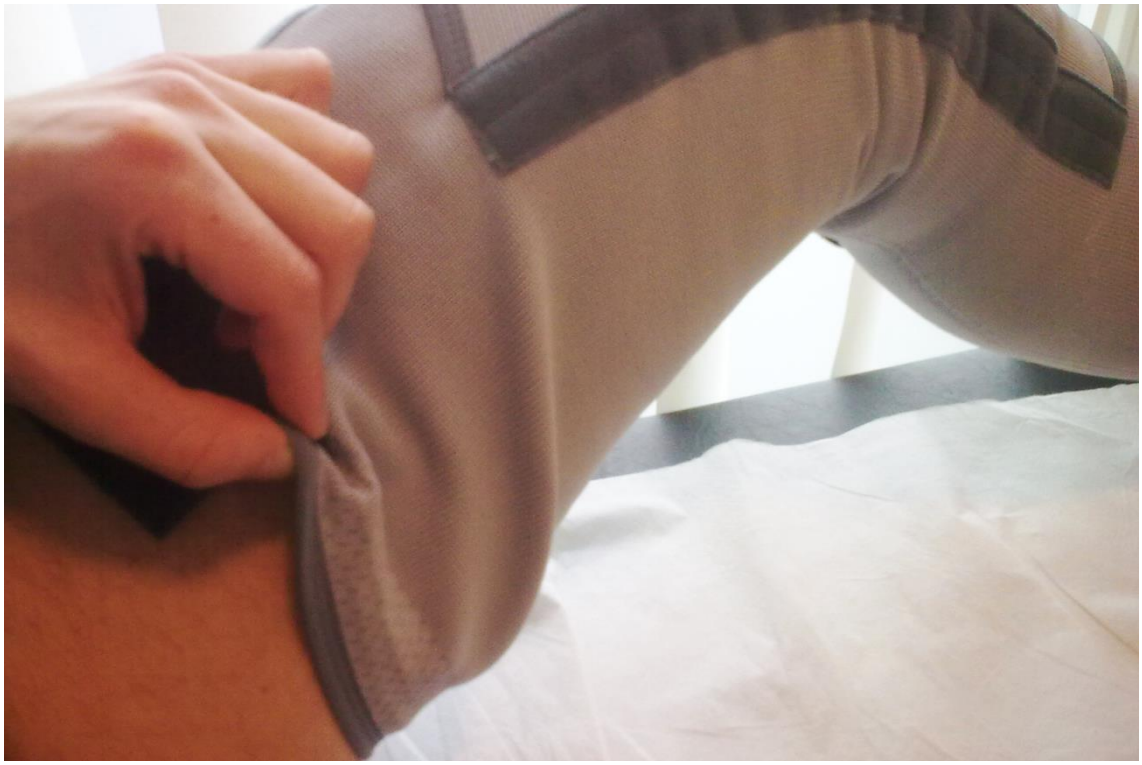

Abbildung 51: Patient 2 – linkes Bein von medial. Vier Wochen postoperativ beim Tragen der Post-OP-Bandage, lockerer Sitz im Bereich des Oberschenkels

3.8.4.1 Beinvolumen

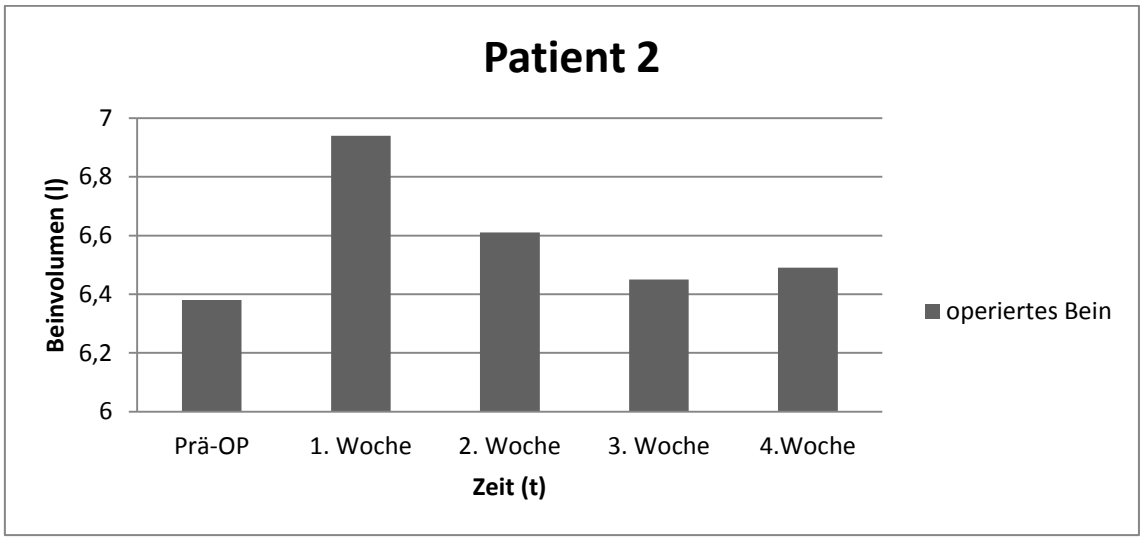

Abbildung 52: Patient 2 – Beinvolumen

Im Vergleich zu Patient 1 vergrößerte sich bei Patient 2 das Beinvolumen postoperativ erheblich. Fast 600 ml bzw. 8% Zuwachs von 6,38 auf 6,94 l ergaben sich zum zweiten Messzeitpunkt. Im Verlauf sank das Beinvolumen stetig. Dennoch wurden am Ende des Beobachtungszeitraums weiterhin ein Mehrvolumen von 1,7% bzw. 6,49 l Gesamtvolumen gemessen.

3.8.4.2 Knieumfang

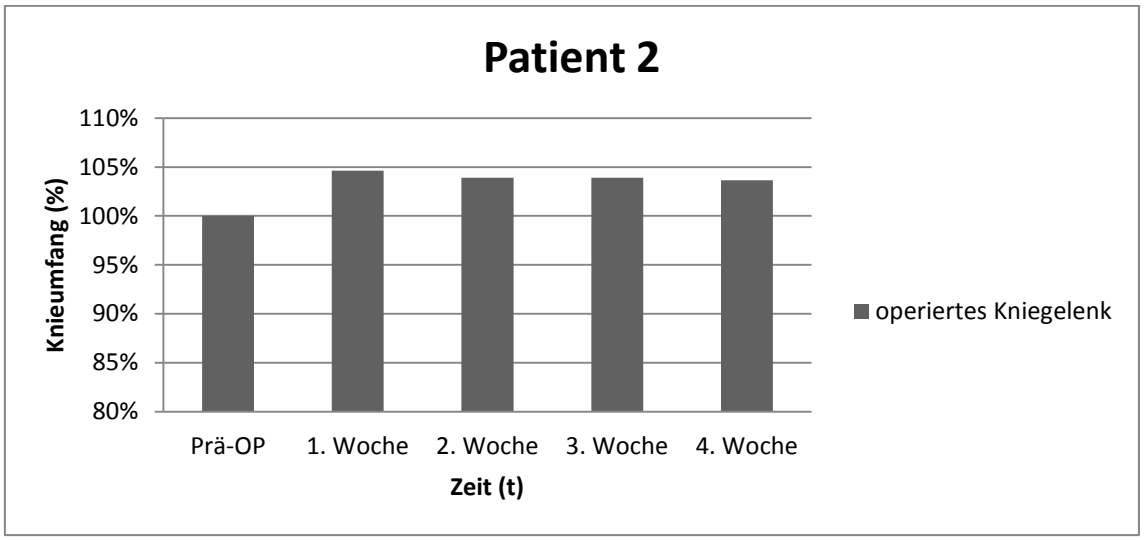

Abbildung 53: Patient 2 – Knieumfang

Bei der separaten Betrachtung des Kniegelenks zeigt sich eine Umfangszunahme auf mehr als 104,6% in der ersten postoperativen Woche, die bis zum Ende des Beobachtungszeitraums auf ca. 103,6% absinkt. Im Vergleich zu Patient 1 bedeutet dies eine geringere Zunahme zu Beginn der Beobachtung, jedoch auch eine geringere Reduktion bis zum letzten Messpunkt.

3.8.4.3 Beweglichkeit

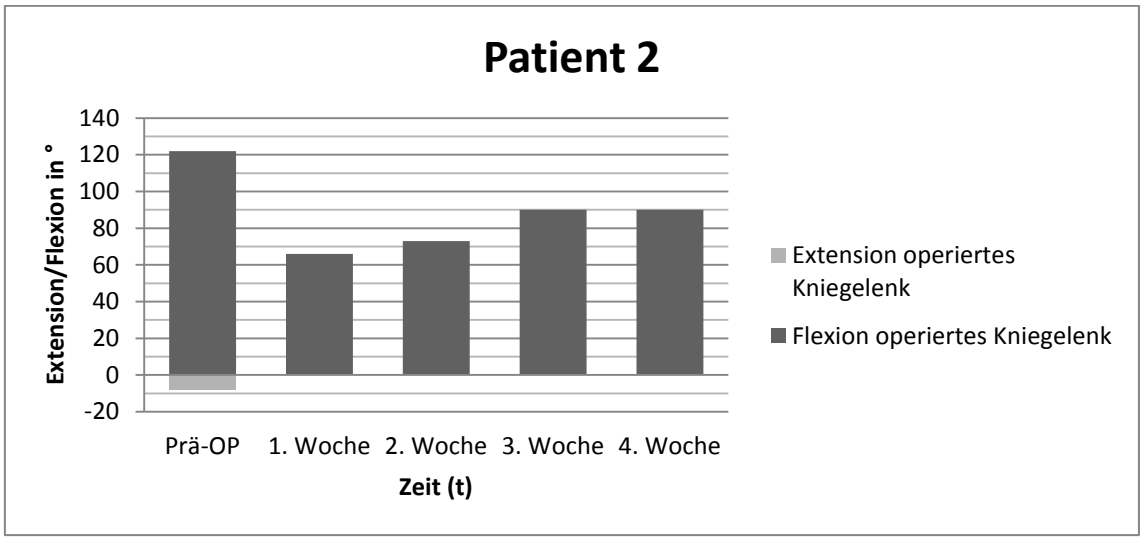

Abbildung 54: Patient 2 – Beweglichkeit

Die präoperative Beweglichkeit liegt mit 122° Beugung und 8° Überstreckung im Bereich des Mittelwerts der Kontrollgruppe (120°/4°). Wie auch Patient 1 erreicht Patient 2 nach einer Woche bereits die volle Streckung, während die Kontrollgruppe hier im Mittel noch ein Streckdefizit von 11° aufweist. Der Flexionswert fällt zu diesem Zeitpunkt mit 66° etwas geringer als bei Patient 1 (76°) aus und liegt genau beim Mittelwert der Kontrollgruppe. Nach zwei Wochen erreicht Patient 2 73° Flexion. Patient 1 schafft hier bereits die volle Beugung und auch die Kontrollgruppe erlangt im Mittel 82°. Ab Woche 3 wird schließlich die maximal erlaubte Flexion von 90° erreicht. Die volle Extension wird über den gesamten Beobachtungszeitraum beibehalten.

3.8.4.4 Schmerz

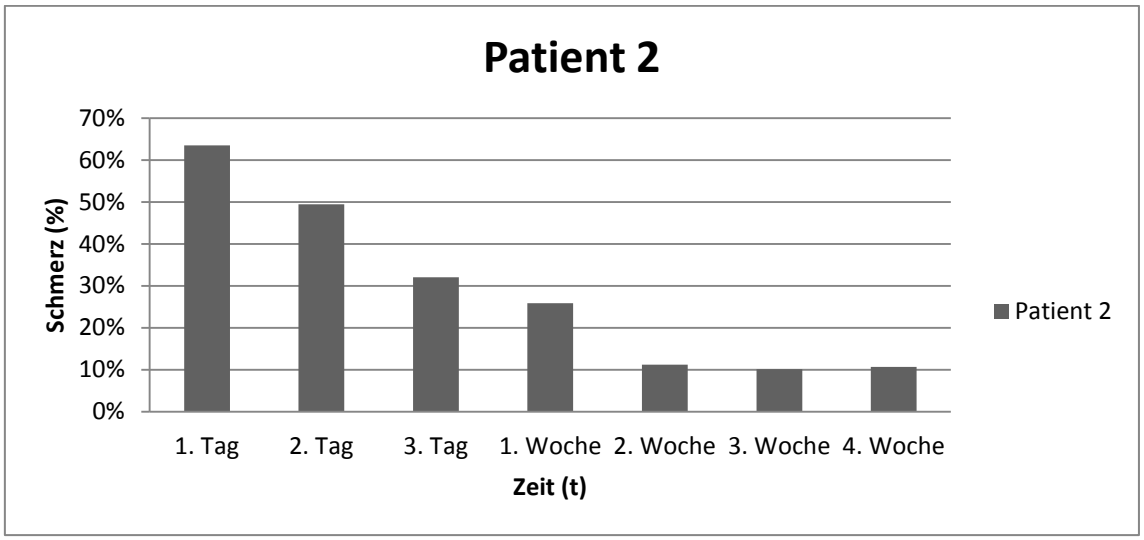

Abbildung 55: Patient 2 – Schmerz

Mit einem Schmerzwert von 63% liegt Patient 2 an Tag 1 deutlich über dem Wert von Patient 1 und auch über dem Mittel der Kontrollgruppe (59%). Nach einer Woche beträgt der Schmerz 25%. Im Verlauf fallen die gemessenen Werte auf ca. 10% in Woche 3 und 4.

3.8.5 Patient 3

Patient 3 erlitt eine isolierte vKB-Ruptur, die mittels ipsilateralem Patella-Bone-Tendon-Bone-Transplantats operativ versorgt wurde.
Bei Patient 3 kam es bereits am ersten postoperativen Tag lateralseitig auf Höhe des Kniegelenkspalts zu einer 10-Cent-Stück großen, schmerzhaften Hautblase. Darüber hinaus wurde über Druckschmerzen und Brennen geklagt. An Tag 4 wechselte die Patientin auf Wunsch die Knieorthese SecuTec Genu von Größe 2 auf 3. Hierin wurde eine mögliche Ursache für die Blasenbildung und die Druckschmerzen gesehen. Dennoch entwickelten sich 3 cm distal der ersten Blase ab Tag 5 eine erbsengroße und zwei stecknadelkopfgroße neue Blasen. Die erste ambulante Nachuntersuchung nach einer Woche nahm die Patientin wahr und äußerte den Wunsch, weiter an der Studie teilzunehmen. Am 10. postoperativen Tag wechselte die Patientin von der Post-OP-Bandage auf reguläre Kompressionsstrümpfe und beobachtete eine Linderung der Schmerzen. Daraufhin beendete Sie die Teilnahme an der Studie.

Abbildung 56: Patient 3 – rechtes Knie von lateral. Fester Sitz der Post-OP-Bandage nach einer Woche postoperativ, geschlossen

Abbildung 57: Patient 3 – rechtes Bein von lateral. Geöffnete Post-OP-Bandage eine Woche postoperativ. Lateralseitig sind vier Hauterosionen erkennbar

Abbildung 58: Patient 3 – rechtes Knie von lateral. Hauterosionen

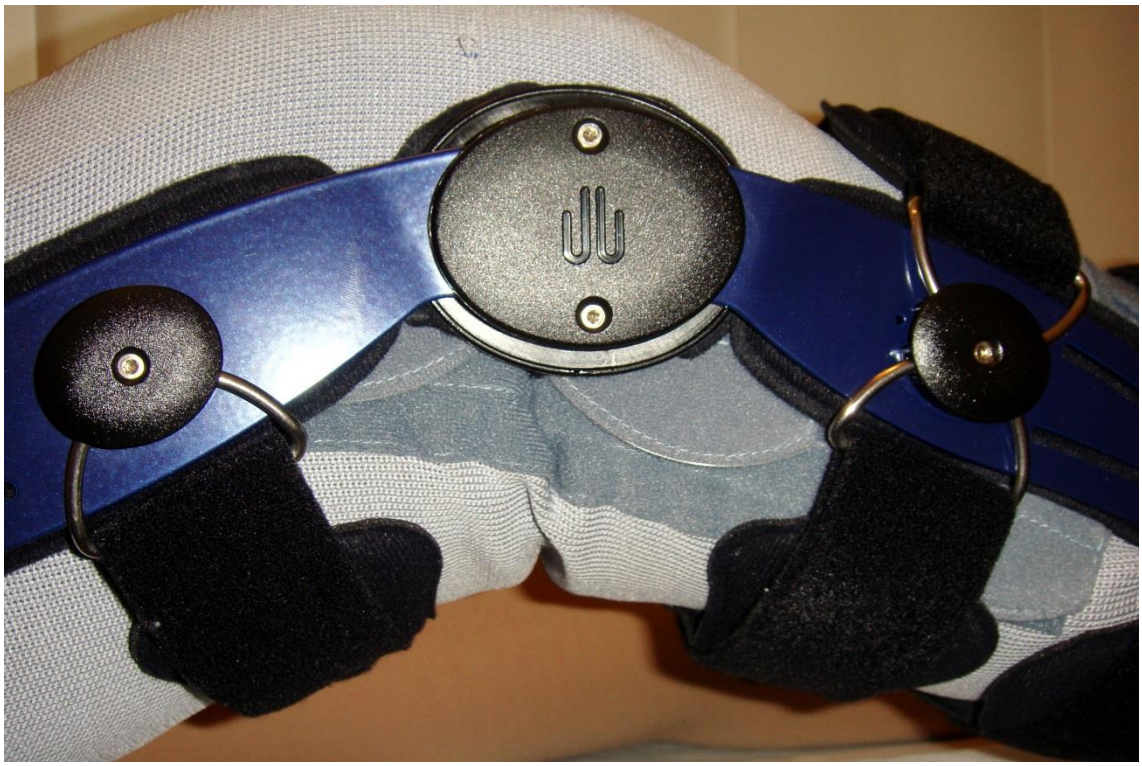

Abbildung 59: Patient 3 – rechtes Bein von lateral. Post-OP-Bandage und Knieorthese mit Faltenbildung im Bereich der Kniekehle

3.8.5.1 Beinvolumen

Aufgrund eines fehlerhaften Messvorgangs der Image-3D-Software liegen lediglich die Volumendaten der Eingangsuntersuchung vor. Hier erreichte Patient 3 ein Volumen von 7,3 l im verletzten Bein und 7,49 l im gesunden.

3.8.5.2 Knieumfang

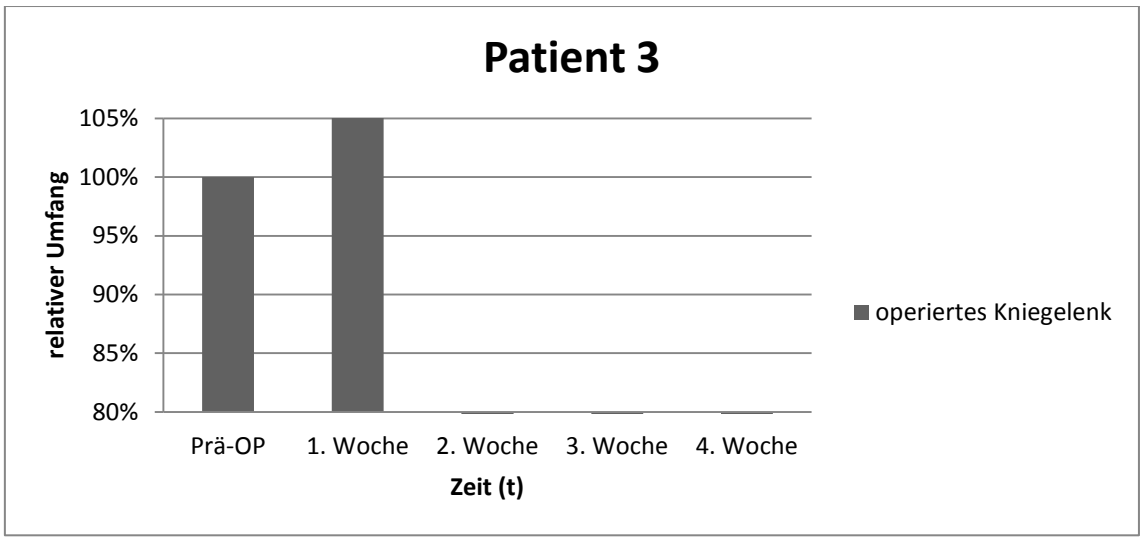

Abbildung 60: Patient 3 – Knieumfang

Der Knieumfang von Patient 3 nahm nach einer Woche postoperativ auf 105% des Ausgangwerts zu. Damit liegt er in einem ähnlichen Bereich wie auch Patient 1 (105%) und 2 (104,6%). Weitere Werte wurden nicht erhoben.

3.8.5.3 Beweglichkeit

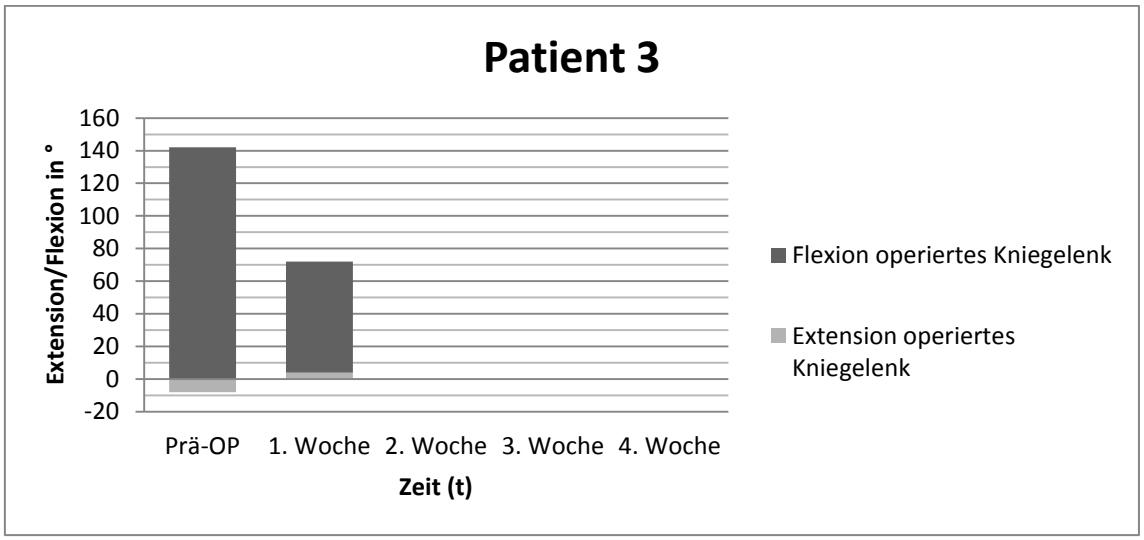

Abbildung 61: Patient 3 – Beweglichkeit

Präoperativ erreichte Patient 3 einen Flexionswert von 142° sowie einen Extensionswert von 8°. Die einzigen postoperativ ermittelten Werte nach der ersten Woche lagen mit 68° Flexion und 4 Grad Streckdefizit zwischen den Werten von Patient 1 (76°/0°) und 2 (66°/11°).

3.8.5.4 Schmerz

Bei Patient 3 konnten lediglich 2 Schmerzwerte ermittelt werden. Am ersten postoperativen Tag wurde ein Wert von 58% gemessen. Dies entspricht genau dem Mittelwert der Kontrollgruppe. Eine Woche postoperativ wurde ein Wert von 38% gemessen. Patient 1 und 2 gaben hier geringere Werte an.

4 Diskussion

Die vorliegende Studie diente dem Ziel, den Einfluss einer neuartigen postoperativen Bandage auf Beinvolumen, Knieumfang, Beweglichkeit und Schmerz nach Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes mit den VenoTrain Soft Kompressionsstrümpfen zu vergleichen sowie Zusammenhänge zwischen den oben genannten Parametern darzustellen.

Im Rahmen von Operationen kommt es zu traumatischer Ödembildung, Schwellung, Erguss und Schmerzen. Diese sollen das Voranschreiten der Rehabilitation nach vKB-Rekonstruktion erheblich behindern[35,83,118]. Für den Patienten vereinen sich so in der Akutphase Unannehmlichkeiten und verzögerte Rückkehr in den Alltag, langfristig gibt es Hinweise, dass eine frühe Einschränkung der Beweglichkeit auch die Entstehung von sekundärer Osteoarthrose begünstigt[81,106,109,115,118,121].

Eine Ursache hierfür könnte in Veränderungen des Knorpelgewebes bei Bewegungsmangel liegen, die sich schon nach kurzzeitiger Immobilität histologisch nachweisen lassen. Troyer et al.[136] untersuchten hierfür Knorpelgewebe aus Hasenknien und konnten nach nur zwei Tagen Immobilität Alterationen im Bereich der Kontaktflächen ausmachen. Shelbourne et al. zeigten zuletzt in Studien aus dem Jahre 2012[115,121], dass eine reduzierte Beweglichkeit nach vKB-Rekonstruktion mit erhöhtem Gelenkknorpelverschleiß einhergeht.

Die neuartige Post-OP-Bandage wurde konstruiert, um den Parametern Beinvolumen, Knieumfang, Beweglichkeitsdefizit und Schmerzen entgegenzuwirken und im Vergleich zur Standardtherapie – dem Tragen von herkömmlichen Kompressionsstrümpfen – eine noch größere Effektivität zu erzielen, um somit die Rehabilitation angenehmer und erfolgreicher zu gestalten.

Als Grundlage diente die Annahme, dass die herkömmlich verwendeten Kompressionsstrümpfe nach vKB-Rekonstruktion ein Potential zur Verbesserung übrig ließen. In zahlreichen Studien konnte gezeigt werden, dass Kompressionsmaterialien effektiv sind in der Reduktion von Schwellung,

Erguss, Schmerz oder Verbesserung der Beweglichkeit und das unabhängig vom Krankheitsbild[9,11,29,30,52,75,83,100,103,113,134,138].

Badger et al.[9] konnten beispielsweise die Überlegenheit einer speziellen Bandage im Vergleich zu herkömmlichen Kompressionsstrümpfen in Bezug auf Volumenreduktion beim Lymphödem unterschiedlicher Genese bereits darstellen.

Auf der anderen Seite wird die klinische Relevanz in der Traumatologie und Orthopädie auch angezweifelt. So konnten Munk et al.[91] keine Vorteile beim Tragen von Kompressionsstrümpfen unter anderem in Bezug auf die Parameter Schwellung, Schmerz, Beweglichkeit und Kniefunktion finden. Sie untersuchten die Wirksamkeit von Kompressionsstrümpfen an 88 Patienten nach Knietotalendoprothesen-Operation. Die Interventionsgruppe trug dabei Kompressionsstrümpfe für vier Wochen postoperativ und die Kontrollgruppe trug keine Kompressionsstrümpfe. Im Verlauf wurden die oben genannten Parameter gemessen. Für den Vergleich zweier Kompressionsmaterialien nach vKB-Rekonstruktion konnten keine Nachweise in der Literatur gefunden werden.

Da unsere Studie aufgrund der negativen Ergebnisse in der Interventionsgruppe vorzeitig beendet wurde und keine Aussage bezüglich der Effektivität der Post-OP-Bandage gemacht werden konnte, intensivierte sich die Betrachtung der Kontrollgruppe.

Durch die genauere Beobachtung der o. g. Parameter beim Tragen von VenoTrain Soft Kompressionsstrümpfen wurden Hinweise über die bereits erreichte Effektivität dieses Kompressionsmittels und für das sich ergebende Verbesserungspotential erhofft. So sollten Erkenntnisse gewonnen werden, ob die Weiterentwicklung der Post-OP-Bandage bzw. die Neuentwicklung anderer Kompressionsbandagen Sinn ergäbe in Bezug auf Volumenreduktion, Schmerzlinderung und Beweglichkeitssteigerung nach vKB-Rekonstruktion.

Im Folgenden wird zunächst angewandte Methodik diskutiert. Im Anschluss erfolgt die Auseinandersetzung mit den Ergebnissen der Messungen an Patienten mit Kompressionsstrümpfen und abschließend mit der Wirksamkeit der Post-OP-Bandage.

4.1 Diskussion der Methodik

Aufgrund der strengen Einschlusskriterien und insbesondere der Tatsache, dass alle Operationen durch denselben Operateur durchgeführt wurden, konnten in die Studie insgesamt lediglich 32 Patienten eingeschlossen werden.
Bei einer Vielzahl der zunächst eingeschlossenen Patienten zeigte sich intraoperativ eine nicht vollständige vKB-Ruptur, sodass häufig von einer vKB-Rekonstruktion abgesehen werden konnte. Ein Proband nahm ohne Angabe von Gründen an den Nachuntersuchungen nicht mehr teil, sodass am Ende insgesamt 17 Patienten in die Studie aufgenommen wurden.
In die Interventionsgruppe wurden insgesamt 3 Patienten eingeteilt, jedoch nur von lediglich 2 Patienten vollständige Datensätze erhoben, da ein Proband aufgrund von Nebenwirkungen freiwillig aus der Studie ausschied. Aufgrund dieser Ergebnisse beendete die Firma Bauerfeind schließlich die Herausgabe weiterer Post-OP-Bandagen, sodass keine weiteren Probanden diese erhielten. Auch die Untersuchung der Kontrollgruppe wurde daraufhin im Oktober 2011 nach dem 14. Patient beendet. Damit bleibt es fraglich, ob dieses kleine Patientenkollektiv als repräsentative Stichprobe der Allgemeinbevölkerung angesehen werden darf.
Die Randomisierung erfolgte durch einfache, nicht eingeschränkte Randomisierung. Eine Stratifizierung gab es folglich nicht, was unter anderem die geringe Balanciertheit der Gruppen erklärt und die Auswertung nach Abbruch erschwerte. Um für eine möglichst große „Gleichheit“ der Versuchsgruppen zu sorgen, hätte die Einteilung in „matched pairs“ eine Alternative dargestellt. Aufgrund der hohen Inzidenz bei jungen sportlich aktiven Patienten wurde jedoch davon ausgegangen, dass diese auch durch einfache Randomisierung erzielt werden konnte.
Vor Beginn dieser Studie hatte eine Poweranalyse, ausgehend von einem zu erwartenden Unterschied von 20% Beinvolumen- bzw. 10 cm Knieumfangszunahme, eine Probandenzahl von 32 Patienten, 16 je Gruppe, ergeben. Diese Anzahl wurde mit 14 Probanden in der einen Gruppe und 3 Probanden in der anderen Gruppe verfehlt. Daher sind die statistischen Ergebnisse dieser Studie nur bedingt aussagekräftig.

In der Umsetzung der Studie gestaltete es sich schwierig die Tragezeit der Post-OP-Bandage bzw. der Kompressionsstrümpfe zu überprüfen. Die Empfehlung für die Patienten lautete, das jeweilige Kompressionsprodukt für mindestens acht Stunden tagsüber zu tragen. Die Wichtigkeit wurde bei jeder Nachuntersuchung auf ein Neues betont, um etwaigen Compliance-Problemen entgegen zu wirken.
Da das Einzugsgebiet der Studienteilnehmer relativ groß war (Hamburg, Niedersachsen, Schleswig-Holstein) und die Probanden sowohl in der Praxis Prof. Dr. med. Kabelka als auch in der orthopädietechnischen Praxis Vitalwelten Stolle untersucht werden mussten, konnten die Zeitpunkte der Vor-Nachuntersuchungen variieren, da sowohl eine Abhängigkeit von den Probanden als auch dem Operateur gegeben war. Dem wurde begegnet, indem so exakt wie möglich eine Abstimmung zum jeweils letzten Termin des einzelnen Probanden vorgenommen wurde.
Die einzelnen Messverfahren werden in den folgenden Unterkapiteln separat diskutiert.

4.1.1 Messung des Beinvolumens

Im Rahmen von klinischen Studien findet die Messung des Beinvolumens häufig statt. Als Goldstandard wird bisher die Wasserplethysmographie angesehen. Allerdings unterliegt diese einer hohen Fehlerrate und ist aufwändig durchzuführen. Neuere Messmethoden stellen optoelektrische Messinstrumente dar. Das in dieser Studie verwendete Bauerfeind Image-3D-System zählt zu diesen optoelektrischen Messinstrumenten. Kauder et al.[68] konnten in ihrer 2011 durchgeführten Studie vergleichbare Ergebnisse mit dem Image-3D-Sytem zur Wasserplethysmographie aufweisen und folgerten, dass „das berührungslose optische Messverfahren des 3D-Imaging […] eine gute Alternative zum bisherigen Goldstandard, der Wasserplethysmographie“, sei. „Es könnte in Zukunft im klinischen Alltag Therapieverläufe objektivieren sowie als Messinstrument im Rahmen klinischer Studien eingesetzt werden.“[68] Daher halten wir unsere ermittelten Volumen- und Umfangswerte für ausreichend

genau, auch wenn kritisch festzuhalten bleibt, dass die Erfahrungen mit diesem System noch begrenzt sind.

4.1.2 Messung der Beweglichkeit

Bei der Messung der Gelenkbeweglichkeit besteht die Schwierigkeit objektivierbare Ergebnisse zu erzielen. Je nach Messmethode oder Untersucher können die Ergebnisse variieren. Daher sollte es stets das Ziel sein eine Messmethode zu finden, die möglichst reproduzierbare Ergebnisse liefert.

Die Messung der Beweglichkeit erfolgte daher in dieser Studie mit dem Plurimeter (Gravitationsgoniometer). Urban et al.[137] verglichen 2002 unterschiedliche Messmethoden um die Intra- und Interrater-Zuverlässigkeit bei Unterarmdrehung zu prüfen. Dabei kamen sie zu dem Schluss, dass „die beste Methode für die Reproduzierbarkeit der Messung der Unterarmdrehung […] das Gravitationsgoniometer [ist], obwohl die gemessenen Werte 5% größer sind als bei den anderen beiden Methoden.“[137]

Auch ältere Studien zeigten zufriedenstellende Ergebnisse mit dieser Methode[73].

4.1.3 Messung des Schmerzes

Schmerz wird als persönliche psychologische Erfahrung beschrieben[62]. Dementsprechend ist es unmöglich diesen exakt zu Messen. Der gleich intensive Schmerzstimulus wird aufgrund unterschiedlicher Schmerztoleranzen von jeder Person unterschiedlich schmerzhaft wahrgenommen. Besonders im 20. Jahrhundert hat es zahlreiche Versuche gegeben dennoch ein Maß für Schmerz zu entwickeln. Michael Bond, Issy Pilowsky und Graham Spear, Psychiater aus Großbritanien entwickelten in den 1960er Jahren die visuelle Analog-Skala (VAS) als Messinstrument für Schmerz[93]. Huskisson et al.[62]

beschrieben 1974 die VAS als sensitivstes Verfahren Schmerz darzustellen. Auch heute wird sie noch als Goldstandard in der Schmerzmessung angesehen[57].
Basierend auf diesen jahrzehntelangen Beobachtungen erfolgte auch in dieser Studie die Schmerzmessung mittels VAS.

4.2 Diskussion der Ergebnisse

4.2.1 Kompressionsstrümpfe

Im Mittelpunkt dieser Studie standen die Untersuchungen der Parameter Beinvolumen, Knieumfang, Beweglichkeit und Schmerz sowie deren Zusammenhänge beim Tragen der Post-OP-Bandage bzw. der VenoTrain Soft Kompressionsstrümpfen sowie der Vergleich dieser beiden Kompressionsformen.
In der Sporttraumatologie wurde meistens die Kompressionstherapie in Kombination mit Kältetherapie beobachtet. Schröder et al.[113] untersuchten den Effekt von langfristiger Kälte-Kompressionstherapie nach vKB-Rekonstruktion. Hierfür wurden 44 Patienten mit vKB-Rekonstruktion in die Studie eingeschlossen und entweder der Kontrollgruppe mit Eistherapie oder der Interventionsgruppe mit Kälte-Kompressionstherapie zufällig zugeteilt und über einen Zeitraum von 12 Wochen nachbeobachtet. Dabei wurden u.a. regelmäßig Schwellung, Schmerzen und Beweglichkeit gemessen und zum Abschluss ein Kniefunktions-Evaluationsbogen ausgewertet. Im Ergebnis ergaben sich für die Patienten mit Kältekompression signifikant bessere Werte für Schwellung, Schmerz, Beweglichkeit und damit einhergehend auch höhere Kniefunktions-Scores am Ende der Beobachtungszeit.
Levy et al.[75] dagegen untersuchten 80 Patienten nach Knie-TEP-OP. Die Hälfte der Patienten erhielt eine Kältekompressionsbandage und die andere eine elastische Bandage und einen Kompressionsschuh zur Thromboseprophylaxe.

Hier schnitt die Interventionsgruppe in Bezug auf Schwellung, Schmerz, Beweglichkeit und Blutverlust signifikant besser ab als die Kontrollgruppe.

Die meisten Autoren schreiben jedoch die positiven Effekte der Kältekompressionstherapie in erster Linie der Komponente Kompression zu[1].

Die gezielte Untersuchung der alleinigen Kompressionstherapie erfolgte bisher selten. Dabei wurden in erster Linie kurzfristige Kompressionsmaßnahmen angewandt.

Quillen et al.[102] untersuchten bei Patienten mit Knöchelverstauchung eine kurzzeitige Kompressionstherapie. Insgesamt 19 Patienten wurden in die Studie eingeschlossen. Sie erhielten innerhalb von 48 Stunden nach der Verletzung einen Kompressionsstrumpf, einen „Cryo-Glove“, eine externe Kompression von 90 mmHg für 5 Minuten mit Hilfe eines pneumatischen Kompressionsgeräts und anschließend eine Bandage. Diese Maßnahmen wurden bis zu acht Mal wiederholt. Vor und nach jeder Behandlungssitzung wurde das Beinvolumen gemessen. Insgesamt wurden signifikante Volumenreduktionen durch die Kompressionstherapie beobachtet. Bei der dritten Sitzung zeigten einige Patienten ein „Rebound“-Phänomen mit Volumenzunahme nach der Behandlung. Hier konnte jedoch rekonstruiert werden, dass diese Patienten die abschließende Bandagierung nicht sofort erhalten hatten. Daraus schlossen die Autoren, dass die Kompressionstherapie eine sichere und erfolgreiche Methode sei den Rehabilitationsprozess zu beschleunigen.

Mayr et al.[83] verglichen nach vKB-Rekonstruktion eine wassergefüllte Kompressionsorthese mit einer herkömmlichen Orthese, die lediglich stabilisierende Eigenschaften aufwies. Patienten mit der Kompressionsorthese wiesen signifikant weniger Erguss und Schwellung, geringere oder vergleichbare Extensionsdefizitwerte bei ähnlichen Gesamtbeweglichkeitswerten und ähnlicher Muskelhypotrophie auf. Die verschiedenen gemessenen Aktivitäts-Scores fielen bei der Kompressionsorthese signifikant besser aus.

Airaksinen et al.[3] untersuchten 44 Patienten mit Knöchelverstauchung ohne Fraktur. Auch sie nutzten kurzzeitige Kompressionsmethoden und maßen das Beinvolumen mittels Wasserplethysmographie. Hierbei ergaben sich signifikante Ergebnisse bei der Reduktion von Knöchelödemen, Schmerz und Beweglichkeit.

Beim Lymphödem kamen Swedborg et al.[134] in einer Studie aus dem Jahr 1984 bei Patientinnen mit Lymphödem nach Mastektomie zu ähnlichen Resultaten. Bei Verwendung eines Kompressionsstrumpfes kam es im Verlauf von sechs Monaten zu einer Volumenreduktion um 8%. In der Kontrollgruppe zeigte sich dagegen nach vier Wochen lediglich eine Volumenreduktion um 0,4%.

Eine andere Studie von Bertelli et al.[11] beobachtete 120 Patientinnen nach Mastektomie und konsekutiver Lymphödementstehung. Durch Tragen eines Kompressionsstrumpfes konnte eine Armumfangsreduktion um 14,7% nach sechs Monaten erreicht werden.

Hornsby et al.[59] erreichten ebenfalls bei Patientinnen mit Lymphödem nach Mastektomie durch Kompressionsstrümpfe in Kombination mit selbstständiger Massage eine Volumenreduktion von im Mittel 24,4% nach vier Wochen.

In einer Studie von Badger et al.[9] wurden 90 Patienten mit Lymphödemen unterschiedlicher Ursache untersucht. Die eine Gruppe erhielt einen Kompressionsstrumpf und die andere einen Kompressionsstrumpf sowie eine Kompressionsbandage. Der Beobachtungszeitraum erstreckte sich über 24 Wochen. Hierbei stellte sich die Bandage in Kombination mit dem Kompressionsstrumpf als effektiver heraus als die alleinige Versorgung mit Kompressionsstrümpfen. Die zu erwartende Volumenzunahme des gesamten Beines sollte beim Lymphödem jedoch deutlich größer ausfallen als bei dem hier vorliegenden Patientenkollektiv nach vKB-Rekonstruktion. Als Einschlusskriterium galt bei Badger et al. daher ein Ausgangsvolumen von mindestens 20% über dem gesunden Bein. Verglichen mit dem präoperativen Wert hatten unsere Patienten beim Tragen der Kompressionsstrümpfe lediglich eine Volumenzunahme von im Mittel ca. 2% vorzuweisen.

Dieses kann darauf zurückgeführt werden, dass eine Ödembildung in erster Linie rund um das Operations- bzw. Verletzungsgebiet zu erwarten ist, während beim Lymphödem das gesamte Bein betroffen ist.

Eine direkte Übertragung der Befunde von Badger et al.[9] auf Patienten mit vKB-Rekonstruktion sollte daher nicht angestellt werden.

Die Ergebnisse unserer Studie zeigten, genau wie die Mehrzahl der bisherigen Studien, eine signifikante Reduktion des Beinvolumens beim Tragen der Kompressionsstrümpfe von ca. 102% nach der ersten postoperativen Woche auf ca. 93,5% ($p < 0,01$), des Knieumfangs von ca. 105,6% auf ca. 101,6% ($p <$

0,01), der Schmerzen von im Mittel ca. 33,4% am ersten postoperativen Tag auf ca. 4,5% ($p < 0,01$) zum Ende des Beobachtungszeitraums. Die postoperative Beweglichkeit stieg im Verlauf von im Mittel 66,8° Flexion eine Woche postoperativ auf im Mittel 88,1° am Ende an bzw. das Streckdefizit sank von 11,1° auf 0°. Auch diese Änderung ist signifikant ($p < 0,01$).

Ob diese Befunde lediglich den natürlichen Heilungsverlauf wiederspiegeln oder auch den Kompressionsstrümpfen zu verdanken sind, kann nicht abschließend geklärt werden. Da die dargestellten Studien aus der Vergangenheit überwiegend die Kompressionstherapie als wirksam einordneten, ist davon auszugehen, dass auch hier die Kompressionsstrümpfe einen positiven Effekt beitrugen.

Um die Effektivität besser einzuordnen, sollte ursprünglich die Interventionsgruppe mit der Post-OP-Bandage als Vergleich dienen. Aufgrund der geringen Fallzahl in dieser Gruppe kann dieses nicht durchgeführt werden, und somit fehlt die Möglichkeit die eingangs formulierte Hypothese 1 zu belegen oder abzulehnen.

Dennoch stellt sich die Frage, ob die anderen eingangs formulierten Hypothesen 2, 3 und 4 zutreffend sind, nämlich ob eine Zunahme des Beinvolumens gleichzeitig auch mit einer Zunahme der Schmerzen einhergeht und umgekehrt, ob eine Zunahme des Beinvolumens auch mit einer Abnahme der Beweglichkeit einhergeht und umgekehrt oder ob eine Zunahme der Schmerzen mit einer Abnahme der Beweglichkeit einhergeht und umgekehrt. Indirekt könnte somit die Effektivität der Kompressionsstrümpfe dennoch beurteilt werden.

Die Entwicklungen von Ödem, Schwellung und Erguss werden als natürliche Reaktionen des Körpers auf eine Verletzung der Weichteile angesehen[142]. Darüber hinaus führen Verletzungen zu einer Reizung von freien Nervenenden, und eine Schmerzwahrnehmung entsteht. Die ödematöse Flüssigkeit hält durch den erhöhten interstitiellen Druck den Schmerzimpuls aufrecht[130]. Wird durch Therapiemaßnahmen die interstitielle Flüssigkeit reduziert, sinkt der interstitielle Druck, die Reizung der freien Nervenendigungen nimmt ab und der Schmerzimpuls sinkt[101].

In zahlreichen Studien wurde dieser Zusammenhang zwischen Ödembildung und Schmerz als Grundlage angenommen[20,26,32,49,52,67,69,70,83,86,87,104,139].

Lehman et al.[74] und Kowel et al.[71] beschrieben in ihren Untersuchungen der Physiologie der Kälte- und Wärmetherapie die Ödemreduktion durch Kälte als Hauptursache der Schmerzreduktion.

Houtermans-Auckel et al.[60] kamen in ihrer Studie aus dem Jahr 2009 zu anderen Ergebnissen. Sie untersuchten die Wirksamkeit von Kompressionsstrümpfen nach Varizenoperationen und konnten keinen Einfluss von Schwellneigung auf Schmerzen oder verbesserter Funktion in ihrem Patientenkollektiv feststellen.

In dieser Studie sollte diese bei vielen verschiedenen Krankheitsbildern verbreitete Auffassung bei Patienten nach vKB-Rekonstruktion überprüft werden. Hierzu wurde zunächst das Beinvolumen mit dem Parameter Schmerz in Korrelation gesetzt. Dabei ergaben sich widersprüchliche Korrelationen bzw. Korrelationskoeffizienten nahe 0. Nach der ersten Woche postoperativ zeigte sich ein Korrelationskoeffizient von -0,36 und damit ein negativer statistischer Zusammenhang der Parameter Beinvolumen und Schmerz. Patienten mit größerer Umfangszunahme hatten tendenziell geringere Schmerzen als Patienten mit geringeren Beinvolumina. In Woche 2 kehrte sich dieses Bild um (0,23) um in den Folgewochen sich der 0 gänzlich anzunähern.

Es sei hier nochmals angemerkt, dass die Ergebnisse keinesfalls signifikant waren. Dennoch scheinen diese beiden Parameter in der untersuchten Patientengruppe keinen Zusammenhang zu besitzen.

Das Gesamtbeinvolumen beim Image-3D-Messverfahren setzt sich zusammen aus den Volumenwerten von Ober- und Unterschenkel sowie Knie unter Aussparung des Fußes[68]. Es konnte beobachtet werden, dass die Volumina der Ober- und Unterschenkel nach der präoperativen Messung durch Hypotrophie der Muskulatur kontinuierlich sanken. Da hierdurch kein Einfluss auf die Schmerzwerte zu erwarten ist, wurde der Knieumfang noch einmal separat mit der Schmerzentwicklung in Korrelation gesetzt. Während wir erwartet hatten, dass bei Betrachtung des Gesamtbeinvolumens durch Hypotrophie der Muskulatur die Schwellung des Kniegelenks kaschiert und somit Zusammenhänge zwischen Schwellung und Schmerz eventuell nicht deutlich werden würden, überraschte das Ergebnis der Korrelationsanalysen aus Knieumfang und Schmerz umso mehr.

Auch hier ergaben sich zu keinem Messzeitpunkt Hinweise auf einen statistischen Zusammenhang zwischen den beiden Parametern. Die Ergebnisse zeigten sich spiegelbildlich zu denen der Beinvolumenmessung. In der ersten postoperativen Woche ergab sich eine tendenziell negative Korrelation und in der zweiten Woche eine tendenziell positive Korrelation. Im Anschluss lagen die Korrelationskoeffizienten um 0. Eine Signifikanz war auch hier zu keinem Zeitpunkt gegeben.

Bei Betrachtung der Wolkendiagramme sowohl bei der Korrelation von Schmerz mit Beinvolumen als auch von Schmerz und Knieumfang fallen in den ersten beiden Wochen zwei Patienten als „Ausreißer“ mit hohen Schmerzwerten auf. Werden diese in der statistischen Berechnung nicht berücksichtigt, nähern sich auch diese Werte stärker der 0 an; sie können als Grund für die „Tendenzen“ zu diesen Messzeitpunkten gesehen werden. Ohne sie wird der Eindruck gefestigt, dass kein Zusammenhang zwischen den Parametern besteht.

Damit widersprechen unsere Ergebnisse den mehrheitlichen Beobachtungen auf den ersten Blick. Andererseits zeigten unsere Probanden beim Tragen von Kompressionsstrümpfen nur geringgradige Volumenschwankungen von im Mittel ca. 2% Zuwachs. Houtermans-Auckel et al.[60] beobachteten bei ihren Patienten nach Varizenoperationen, dass Beinvolumenveränderungen im Bereich von 3-4% keinerlei klinische Relevanz besaßen. Auch unsere Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass die Volumen- bzw. Knieumfangsschwankungen zu keinem direkten Zusammenhang mit erhöhten Schmerzwerten führten. Für unser Patientenkollektiv kann daher Hypothese 2 - die Frage nach einem Zusammenhang zwischen Beinvolumen und Schmerz besteht - abgelehnt werden. Aufgrund der geringen, vermutlich klinisch irrelevanten Volumenschwankungen ist allerdings eine Verallgemeinerung auf andere Krankheitsbilder nicht zulässig. Auch schließt sich die Frage an, ob die Verwendung der Post-OP-Bandage in diesem Zusammenhang einen Vorteil hätte bringen können. Die Kompressionsstrümpfe scheinen nach vKB-Rekonstruktion die Schwellung in dem Maße zu kontrollieren, dass ein Einfluss der Schwellung auf die Schmerzwerte nicht mehr gegeben ist und somit der Schmerz vermutlich eine andere Ursache haben muss.

Ähnlich wie beim Schmerz wird auch ein direkter Zusammenhang zwischen Beinvolumen bzw. Schwellung und Beweglichkeit angenommen[3,17,20,32,75,113].

Brodell et al.[20] berichteten, dass bereits in den 1920er Jahren Jones und Joynt und in den 1940er Jahren Truetta beobachtet hatten, dass Schwellung und Hämarthros zu einer Gelenksteifigkeit führten.

Auch Schröder et al.[113] stellten sich in ihrer Studie aus dem Jahr 1994 die Frage, ob ein Zusammenhang zwischen reduzierter Schwellung und verbesserter Beweglichkeit besteht. Basierend auf den Ergebnissen ihrer Studie, kamen sie zu dem Schluss, dass dieses der Fall sein muss, da ihre Patienten nach Reduktion der Schwellung auch eine verbesserte Beweglichkeit aufwiesen. Zuvor hatten Spencer et al.[127] bereits gezeigt, dass ein Erguss im Kniegelenk von 50-60 ml eine Quadriceps-Inhibition von bis zu 69.1 +/- 6.1% hervorrufen kann und somit die aktive Beweglichkeit eingeschränkt wird. Ähnliche Befunde erhoben Palmieri-Smith et al. in aktuelleren Studien[95,96].

Harner et al.[51] beobachteten, dass 47% der Patienten mit reduzierter Beweglichkeit nach vKB-Rekonstruktion unter einem persistierenden Kniegelenkserguss litten im Vergleich zu lediglich 12,5% in der Kontrollgruppe ohne reduzierte Beweglichkeit.

Levent et al.[32] konnten durch Elektrostimulation ab dem vierten postoperativen Tag nach vKB-Rekonstruktion u.a. Schwellung, Erguss und Muskelatrophie minimieren sowie die Streckfähigkeit im Kniegelenk signifikant verbessern.

Unsere Ergebnisse bestätigen diese Beobachtungen nicht. Zunächst wurde hierfür -analog zu Beinvolumen und Schmerz – das Volumen des gesamten Beines in Korrelation zu den Beweglichkeitswerten sowohl für Extension als auch für Flexion gesetzt. Für die Extension ergab sich nach der ersten postoperativen Woche ein Korrelationskoeffizient von -0,74, für die Flexion von -0,453. Diese Ergebnisse würden bedeuten, dass die höheren Volumenwerte mit einer tendenziell geringeren Beugefähigkeit einhergingen, und dass das Beinvolumen nahezu keinen Einfluss auf die Streckfähigkeit besäße. In Woche 2 drehte sich das Bild um. Gegen Ende des Beobachtungszeitraumes näherten sich die Korrelationskoeffizienten der 0 an. Zwar stellten sich die Korrelationskoeffizienten zu keinem Zeitpunkt als signifikant heraus, dennoch scheint zumindest in der ersten Woche tendenziell ein Zusammenhang zwischen Beinvolumen und Beugefähigkeit in unserem Patientenkollektiv zu bestehen. Die Aussagekraft dieser Ergebnisse sollte jedoch in Frage gestellt werden.

Auch eine separate Betrachtung der Korrelation des Kniegelenkumfangs mit den Extensions- und Flexionswerten ergab kein schärferes Bild. Die Korrelationskoeffizienten blieben zu jedem Zeitpunkt nicht signifikant und schwankten nur geringfügig um den Nullwert. Somit scheint der Erguss des Kniegelenks in unserer Patientengruppe keinen Einfluss auf die Beweglichkeit genommen zu haben.

Wie bereits erwähnt, lag die Volumenzunahme des Beines bei unseren Patienten im Mittel bei nur ca. 2%. Nach den Erkenntnissen von Houtermans-Auckel et al.[60] sollte es also nicht verwundern, dass die nur geringe Volumenzunahme keine signifikante Reduktion der Beweglichkeit bewirkt hat.

Andererseits zeigen die Ergebnisse der Korrelation von Beinvolumen mit der Flexion aus Woche 1 – dem Zeitpunkt der größten Volumenzunahme bei einem Beobachtungszeitpunkt – eine tendenzielle Beeinträchtigung der Flexion bei gleichzeitig hohen Volumenwerten. Demnach könnten die Hypothesen erhärtet werden, dass die bei diesem Patientenkollektiv gemessenen Volumenzunahmen zu gering ausfielen, um klinische Relevanz zu erlangen und gleichzeitig auch die häufig beschriebene Bewegungseinschränkung durch Volumenzunahme ab einem gewissen Maß an Schwellung zutreffend zu sein scheint.

Dennoch muss die Hypothese 3 – also die Frage, ob ein Zusammenhang zwischen Beinvolumen und Beweglichkeit besteht – für unser Patientenkollektiv abgelehnt werden.

Zuletzt interessierte die Fragestellung, ob nicht das Beinvolumen bzw. die Schwellung und der Gelenkerguss die Ursache für Bewegungseinschränkung darstellen, sondern ob der Schmerz die Grundlage für eine reduzierte Beweglichkeit bietet. In diesem Zusammenhang wollten Palmieri-Smith et al.[96] herausfinden, ob ein Funktionsverlust der Quadricepsmuskulatur eher der Schwellung oder dem Schmerz nach Operationen zuzuordnen sei. Hierfür verglichen sie Patienten ohne Schwellung und Schmerz mit Patienten mit künstlich geschwollenem Knie durch Injektion von 60 ml NaCl 0,9%, mit Patienten mit künstlich verursachtem anterioren Knieschmerz durch Injektion von 0,3 ml hypertoner 5%iger NaCl-Lösung in das mediale infrapatellare Fettpolster und mit Patienten, bei denen sowohl Schwellung als auch anteriorer Knieschmerz herbeigeführt worden waren. Dabei zeigte sich, dass sowohl

Schwellung als auch Schmerz die Muskelfunktion und –Aktivität in ähnlichem Maße negativ beeinflussten. Ein additiver Effekt bestand jedoch nicht.

Unsere Ergebnisse zeichnen ein gemischtes Bild. Nach der ersten postoperativen Woche zeigen sich nicht signifikante Korrelationenskoeffizienten nahe 0. Ein Patient wies hier mit 67% einen auffällig hohen Schmerzwert auf, der sich jedoch nicht negativ auf seine passive Beweglichkeit auswirkte.

Nach Woche 2 zeigten sich erneut nicht signifikante Korrelationskoeffizienten, jedoch mit einem tendenziellen Zusammenhang zwischen hohem Schmerz und geringer Flexion. Dieser Befund ist jedoch in erster Linie dem auffällig hohen Schmerzwert eines Patienten (110) zuzuordnen. Wird dieser aus der Beobachtung ausgeschlossen, nähert sich die Korrelation wieder der 0 an. Nach den Wochen 3 und 4 postoperativ erfolgt eine weitere Annäherung zum Nullwert. Eine Signifikanz wird nicht erreicht.

Der Schmerzwert von Patient 110 aus Woche 2 und die gleichzeitig auftretende geringe Beugefähigkeit könnten jedoch Hinweis dafür sein, dass erst ab einem gewissen Punkt die Schmerzen stark genug sind, um die Beweglichkeit einzuschränken. Hiervon gingen auch Palmieri-Smith et al. aus. Erst wenn die Patienten nach künstlich erzeugtem anteriorem Knieschmerz auf der VAS einen Schmerzwert über 50% angaben, maßen sie die Quadricepsfunktion- und Aktivität. Um einen solchen Schmerzwert zu erreichen wurde die Injektion von 0,3 ml hypertoner 5%iger NaCl-Lösung wiederholt[95].

In unserem Patientenkollektiv erreichten lediglich Patient 116 in Woche 1 und Patient 110 in Woche 2 einen Schmerzwert über 50%. Während bei Patient 116 keine gleichzeitige Beweglichkeitseinschränkung auftrat, zeigte sich Patient 110 deutlich eingeschränkt.

Dennoch gilt für unsere Patienten vermutlich, dass kein Zusammenhang zwischen Schmerz und Beweglichkeit bestand. Als Grund hierfür können die insgesamt niedrigen Schmerzwerte herangezogen werden. Patient 110 als „Ausreißer“ mit einem höheren Schmerzwert könnte ein Hinweis darauf sein, dass Schmerzen erst ab einem gewissen Schwellenwert eine klinisch relevante Einschränkung der Beweglichkeit erreichen. Die Hypothese 4 – die Frage nach einem Zusammenhang zwischen Schmerz und Beweglichkeit – sollte für unser Patientenkollektiv trotzdem verneint werden.

4.2.2 Post-OP Bandage

Die Ergebnisse der Interventionsgruppe sollen nicht unerwähnt bleiben. Die beiden Patienten, die die Bandage über den gesamten Untersuchungszeitraum trugen, berichteten subjektiv über gegensätzliche Erfahrungen beim Tragen der Bandage. Während Patient 1 die Bandage als sehr positiv beschrieb, empfand Patient 2 die Bandage als eher störend. Die Berichte von Patient 2ähnelten denen von Patient 3, weshalb die Verordnung der Post-OP-Bandage schließlich auch gestoppt wurde.

Die objektiven Werte der Patienten verhielten sich analog zu den subjektiven Empfindungen. Patient 1 wies eine relativ geringe Volumenzunahme von 0.96% auf und im Verlauf eine geringe Volumenabnahme auf 96,15% des Ausgangsvolumens am Ende der Beobachtungszeit. In der Kontrollgruppe lagen diese Werte bei im Mittel ca. 2% bzw. 93,46%. Hierin könnte ein positiver Effekt der Post-OP-Bandage gesehen werden. Denn auch die Schmerzwerte fielen sehr gering aus. In der Kontrollgruppe lag lediglich ein Patient unter den Werten von Patient 1. Auch die Beweglichkeit war stets überdurchschnittlich gut. Die effektive Reduktion der Schwellung könnte somit zum einen zu geringeren Schmerzen und zum anderen zu einer verbesserten Beweglichkeit geführt haben. In der Folge könnte der Patient von einem gesteigerten Aktivitätsniveau profitiert haben, was zu einer geringeren Atrophie der Muskulatur geführt haben könnte und somit zu einem geringen Abfall des Gesamtbeinvolumens. Dabei muss angemerkt werden, dass mit unserem Studienmodell eine Differenzierung der Beinvolumenveränderung durch muskuläre Volumenschwankungen oder Ödembildung nicht erfolgen kann. Indirekt könnte aber der analoge Verlauf des Kniegelenkergusses bei Patient 1 zu den Werten der Kontrollgruppe bei gleichzeitig geringerer Abnahme des Gesamtbeinvolumens bei Patient 1 auf diese Hypothese hindeuten.

Bei Patient 2 verliefen auch die objektiven Parameter gegensätzlich. Die Volumenwerte lagen mit ca. 108,8%, 103,6%, 101,1% und 101,7% deutlich über dem Durchschnitt der Kontrollgruppe. Auch die Schmerz- und Beweglichkeitswerte entwickelten sich nicht so positiv wie bei Patient 1. Wie bei Patient 3 zeigten sich bei Patient 2 jedoch Druckschmerzen und -Stellen durch die Bandage. Gemeinsam hatten Patient 1 und 2 jedoch, dass bei beiden im

Verlauf der Studie der Sitz der Bandage als „zu locker“ empfunden wurde. Diese Beobachtung wird durch die Fotos der Bandage nach der 4. postoperativen Woche bei Patient 2 gestärkt. Der gewünschte komprimierende Effekt wird so im Verlauf wohl nicht mehr gegeben gewesen sein.

Als Ursache für die Druckstellen bzw. Blasenbildung bei den Patienten 2 und 3 könnte die Kombination der Bandage mit der Knieorthese angesehen werden. Genau unterhalb des Orthesengestänges hatten sich bei Patient 3 die Blasen gebildet. An dieser Stelle gab auch Patient 2 die größten Schmerzen und die deutlichsten Druckstellen an.

Angesichts der Tatsache, dass die Verwendung von Knieorthesen nach vKB-Rekonstruktion mittlerweile als unnötig angesehen wird[84,143], könnte in der Zukunft die Post-OP-Bandage durchaus auch ohne Nebenwirkungen getragen werden. Andererseits stellt sich die Frage, ob hierin überhaupt eine klinisch relevante Verbesserung gegenüber den VenoTrain Kompressionsstrümpfen erzielt werden könnte. Pinsornsak et al.[100] konnten bei Patienten nach Knietotalendoprothesen-Operation keine signifikant besseren Werte für u.a. Schwellung, Schmerz und Hämorrhagie beim Tragen einer modifizierten Robert Jones Bandage feststellen im Vergleich zu einem konventionellen Wundverband. Sie folgerten, dass seine solche Bandage für den klinischen Alltag keine Relevanz besäße.

Auch unsere Ergebnisse legen nahe, dass die VenoTrain Kompressionsstrümpfe Schwellung, Erguss, Schmerz und Beweglichkeitseinschränkung bereits so effektiv reduzieren, dass hier kaum noch ein klinisch relevanter Spielraum für andere Kompressionsmaterialien übrig bleibt oder, dass nach vKB-Rekonstruktion Schwellung, Erguss, Schmerz und Beweglichkeitseinschränkung so gering ausfallen, dass eine gezielte Kompressionstherapie ohnehin nicht von Nöten ist.

4.3 Fazit

Die neuartige Post-OP-Bandage stellte sich als nebenwirkungsbelastet heraus. Zwei von drei Patienten klagten über Schmerzen bzw. Blasenbildung im

Bereich des Gestänges der darüber getragenen Knieorthese. Die Studie wurde aus diesen Gründen vorzeitig beendet, was zur Folge hatte, dass die Wirksamkeit dieses Produkts nicht hinreichend überprüft werden konnte. In Kombination mit einer Knieorthese scheint die Post-OP-Bandage nicht praxistauglich zu sein, da die Nebenwirkungen das Tragen und somit das Feststellen möglicher positiver Effekte verhindern.

Ohnehin stellt sich die Frage, ob nach vKB-Rekonstruktion eine Kompressionstherapie mit einer speziellen Kompressionsbandage benötig wird. Die Schwellung eine Woche postoperativ erreichte einen Zuwachs von lediglich 2% beim Tragen der herkömmlichen Kompressionsstrümpfe. Dieser Volumenzuwachs besitzt vermutlich keine klinische Relevanz.

Die Ergebnisse konnten zumindest kein gemeinsames Auftreten von erhöhten Volumenwerten bzw. Knieumfangswerten mit erhöhten Schmerzwerten zeigen. Hieraus kann geschlossen werden, dass der geringe Volumenzuwachs keinen Einfluss auf das Schmerzempfinden ausgeübt hat.

Auch bei Betrachtung der Volumenwerte bzw. des Knieumfangs und der Kniegelenkbeweglichkeit konnten keine Gemeinsamkeiten dargestellt werden. Vermutlich kann hierin ebenfalls das Vorliegen von nur geringen Volumenzunahmen als klinisch irrelevant für die passive Beweglichkeit als Erklärung dienen.

Die beobachteten Schmerzwerte lagen für alle Patienten in der Kontrollgruppe bereits ab dem zweiten postoperativen Tag unter 50%, im Mittel bei nur 24,24%. Die Untersuchung auf Zusammenhänge der Schmerzwerte mit der Kniegelenksbeweglichkeit ergab keine Gemeinsamkeiten. Es kann davon ausgegangen werden, dass auch die Schmerzwerte so gering ausfielen, dass hierdurch keine Beeinflussung der Beweglichkeit erfolgte.

Für die Praxis ergibt sich hieraus, dass in der Verwendung herkömmlicher Kompressionsstrümpfe nach vKB-Rekonstruktion eine ausreichende und nebenwirkungsarme Form der Kompressionstherapie zur Verfügung steht. Mit den herkömmlichen Kompressionsstrümpfen konnten Schwellung, Erguss und Ödem auf einem klinisch irrelevanten Niveau kontrolliert werden. Die Verwendung aufwändiger maßangepasster Kompressionsmittel wie der neuartigen Post-OP-Bandage erscheint somit überflüssig.

Allerdings konnte diese Studie Methodik bedingt nicht zeigen, ob die geringen Volumenzunahmen tatsächlich der Kompression durch die Kompressionsstrümpfe zu verdanken ist. Nach K-TEP-OP erwiesen sich Kompressionsstrümpfe als nicht überlegen im Vergleich zum Verzicht auf Kompressionsmaßnahmen in Bezug auf Reduktion von Schwellung, Schmerz und Beweglichkeit[91]. Dabei darf nicht vergessen werden, dass außerhalb klinischer Studien die Compliance beim Tragen von Kompressionsstrümpfen ohnehin eher gering ausfallen sollte.

Zukünftige Studien sollten daher die Wirksamkeit der herkömmlichen Kompressionsstrümpfe im Vergleich zum Verzicht auf Kompressionsmaßnahmen nach vKB-Rekonstruktion ermitteln.

Auch sollte der Frage nachgegangen werden, inwiefern herkömmliche Kompressionsstrümpfe nach vKB-Rekonstruktion vergleichbare Erfolge zu Kältekompressionstherapieformen, wie sie Schröder et al. und Mayr et al. erfolgreich verwendet haben[83,113], erzielen können. Aus einer wirtschaftlichen Sichtweise könnten Kompressionsstrümpfe hier eine wesentlich kosteneffektivere Methode darstellen.

5 Zusammenfassung

Einleitung: Die Rehabilitation nach Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes stellt einen zentralen Pfeiler in der Therapie der Ruptur des vorderen Kreuzbandes dar. Hierbei ist ein Erreichen des präoperativen Bewegungsumfangs essentiell, um Spätkomplikationen wie Osteoarthrose zu vermeiden. Schwellung, Erguss und Ödembildung sind eine physiologische Reaktion auf Verletzung oder Operation, behindern jedoch das Voranschreiten im Rehabilitationsprotokoll, da sie Schmerzen verursachen und Bewegung hemmen können. Zur Therapie werden häufig Kompression und Kälte angewandt. Im Rahmen dieser Studie sollten die Wirksamkeit einer neuartigen postoperativen Bandage und herkömmlicher Kompressionsstrümpfe in Bezug auf Schwellung, Knieumfang, Schmerz und Beweglichkeit untersucht und verglichen werden.

Patienten und Methoden: 32 Patienten mit Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes sollten in die Studie eingeschlossen werden und zufällig der Interventionsgruppe oder der Kontrollgruppe zugelost werden. Die eine Hälfte sollte dabei die neuartige Post-OP-Bandage für 4 Wochen postoperativ tragen, während die andere Hälfte herkömmliche Kompressionsstrümpfe der Klasse II. Präoperativ erfolgte eine Messung des Beinvolumens und Knieumfangs mittels Bauerfeind Image-3D sowie die Messung der Kniegelenksbeweglichkeit. Postoperativ wurde an den Tagen 1-3 der Schmerz mittels visueller Analog-Skala ermittelt. Nach den Wochen 1-4 erfolgten jeweils eine Beinvolumenmessung, Schmerzmessung und Beweglichkeitsmessung. Die Parameter sollten untereinander in Korrelation gesetzt werden, und die Werte der Gruppen miteinander verglichen werden.

Ergebnisse: 14 Patienten wurden in der Kontrollgruppe untersucht, 3 Patienten in der Interventionsgruppe, 14 Patienten schieden nach Randomisierung wieder aus der Studie aus, da sie keine vKB-Plastik erhielten. Ein Patient beendete ohne Angabe von Gründen die Teilnahme. Die Anwendung der Post-OP-

Bandage wurde nach drei Patienten vorzeitig beendet, da zwei der drei Patienten über Schmerzen und Druckstellen durch die Post-OP-Bandage klagten. Einer der Patienten entwickelte zudem mehrere Hautblasen.
In der Kontrollgruppe kam es zu keinen unerwünschten Nebenwirkungen. Die Parameter Beinvolumen, Knieumfang und Schmerz sanken im Verlauf signifikant ($p < 0,01$). Die Beweglichkeit stieg signifikant an ($p < 0,01$). Bei den Korrelationsanalysen ergaben sich zu keinem Zeitpunkt signifikante Zusammenhänge ($p > 0,05$).

Schlussfolgerung: Wegen der Nebenwirkungen Schmerzen und Blasenbildung konnte ein etwaiger Nutzen der Post-OP-Bandage nicht dargestellt werden, da die Verwendung vorzeitig beendet werden musste. Ohnehin stellt sich die Frage, ob eine spezielle Kompressionsbehandlung nach vKB-rekonstruktion benötigt wird, da bereits bei Verwendung der Kompressionsstrümpfe nur eine geringe, klinisch irrelevante Volumenzunahme zu beobachten war. Weitere Studien werden benötigt, um herauszufinden, ob dieses den Kompressionsstrümpfen zugeschrieben werden kann.

6 Summary

Background: An integral part in the therapy of rupture of the anterior cruciate ligament (ACL) lies in rehabilitation. It is important to regain full range of motion (ROM) after ACL reconstruction as loss of ROM is associated with early onset of osteoarthritis. Effusion, Swelling and edema are a natural reaction to trauma or surgery but seem to cause pain and limit ROM thus hindering progression in rehabilitation protocols. Cold and compression are generally used to counter this condition.
The present study was performed to evaluate the effectiveness of a newly developed postoperative compression bandage and regular compression stockings class II concerning swelling, effusion, pain and ROM following ACL reconstruction.

Methods: 32 patients were supposed to be enrolled to the study and randomly assigned to either the intervention group or control group. Patients in the intervention group wore the newly developed postoperative bandage for 4 weeks postoperatively while patients in the control group wore regular compression stockings. Before surgery both groups had measurements of total leg volume and knee circumference with Bauerfeind Image-3D and measurement of ROM. On days 1-3 pain was assessed with the help of a visual analog scale. After weeks 1-4 measurements of total leg volume, knee circumference, pain and ROM were repeated. The parameters were correlated with each other and compared between groups.

Results: 14 patients were followed in the control group, 3 patients in the intervention group. 14 patients were excluded after randomization as they did not receive ACL reconstructive surgery. One patient left the study without naming a reason. The use of the postoperative bandage was stopped after the 3rd patient, as 2 of 3 patients reported pain and discomfort while wearing the bandage. One of these patients even developed a number of blisters.

There were no adverse effects in the control group. The parameters total leg volume, knee circumference an pain were reduced significantly ($p < 0,01$). ROM rose significantly ($p < 0,01$). Correlation analysis showed no significant connection between any parameters ($p > 0,05$).

Conclusions: As a result of adverse effects in the intervention group the study had to be stopped early and no conclusion regarding the effectiveness of the bandage could be made. Nevertheless it is questionable whether a special compression bandage is needed as the use of regular compression stockings already showed only slight, but probably clinical irrelevant gain of total leg volume and effusion. Further clinical studies are necessary to evaluate whether these findings can be attributed to compression stockings after ACL reconstruction.

7 Literaturverzeichnis

1. Adie S, Naylor JM, Harris I a. Cryotherapy after total knee arthroplasty a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *J Arthroplasty*. 2010;25(5):709–15.

2. Agel J, Arendt EA, Bershadsky B. Anterior cruciate ligament injury in national collegiate athletic association basketball and soccer: a 13-year review. *Am J Sports Med*. 2005;33(4):524–30.

3. Airaksinen O, Kolari PJ, Miettinen H. Elastic bandages and intermittent pneumatic compression for treatment of acute ankle sprains. *Arch Phys Med Rehabil*. 1990;71(6):380–3.

4. Albrecht S. *Sportverletzungen: Diagnose, Management und Begleitmassnahmen ; [offizielles Manual der GOTS]*. 2., überar. (Engelhardt M, ed.). München: Elsevier, Urban & Fischer; 2009.

5. Alentorn-Geli E, Myer GD, Silvers HJ, et al. Prevention of non-contact anterior cruciate ligament injuries in soccer players. Part 1: Mechanisms of injury and underlying risk factors. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2009;17(7):705–29.

6. Ardern CL, Webster KE, Taylor NF, Feller J a. Return to sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery: a systematic review and meta-analysis of the state of play. *Br J Sports Med*. 2011;45(7):596–606.

7. Arendt E, Dick R. Knee injury patterns among men and women in collegiate basketball and soccer. NCAA data and review of literature. *Am J Sports Med*. 1995;23(6):694–701.

8. Arendt EA, Agel J, Dick R. Anterior cruciate ligament injury patterns among collegiate men and women. *J Athl Train*. 1999;34(2):86–92.

9. Badger CM, Peacock JL, Mortimer PS. A randomized, controlled, parallel-group clinical trial comparing multilayer bandaging followed by hosiery versus hosiery alone in the treatment of patients with lymphedema of the limb. *Cancer*. 2000;88(12):2832–7.

10. Bere T, Mok K-M, Koga H, Krosshaug T, Nordsletten L, Bahr R. Kinematics of anterior cruciate ligament ruptures in World Cup alpine skiing: 2 case reports of the slip-catch mechanism. *Am J Sports Med*. 2013;41(5):1067–73.

11. Bertelli G, Venturini M, Forno G, Macchiavello F, Dini D. An analysis of prognostic factors in response to conservative treatment of postmastectomy lymphedema. *Surg Gynecol Obstet*. 1992;175(5):455–60.

12. Beynnon BD, Fleming BC. Anterior cruciate ligament strain in-vivo: a review of previous work. *J Biomech*. 1998;31(6):519–25.

13. Beynnon BD, Good L, Risberg MA. The effect of bracing on proprioception of knees with anterior cruciate ligament injury. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2002;32(1):11–5.

14. Beynnon BD, Johnson RJ, Abate JA, Fleming BC, Nichols CE. Treatment of anterior cruciate ligament injuries, part 2. *Am J Sports Med*. 2005;33(11):1751–67.

15. Beynnon BD, Uh BS, Johnson RJ, et al. Rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective, randomized, double-blind comparison of programs administered over 2 different time intervals. *Am J Sports Med*. 2005;33(3):347–359.

16. Bjordal JM, Arnły F, Hannestad B, Strand T. Epidemiology of anterior cruciate ligament injuries in soccer. *Am J Sports Med*. 1997;25(3):341–5.

17. Boiselle Howard S, Krishnagiri S. The use of manual edema mobilization for the reduction of persistent edema in the upper limb. *J Hand Ther*. 2001;14(4):291–301.

18. Bradley JP, Klimkiewicz JJ, Rytel MJ, Powell JW. Anterior cruciate ligament injuries in the National Football League: epidemiology and current treatment trends among team physicians. *Arthroscopy*. 2002;18(5):502–9.

19. Brand J, Weiler A, Caborn DN, Brown CH, Johnson DL. Graft fixation in cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med*. 28(5):761–74.

20. Brodell JD, Axon DL, Evarts CM. The Robert Jones bandage. *J Bone Joint Surg Br*. 1986;68(5):776–9.

21. Brophy RH, Wright RW, Matava MJ. Cost Analysis of Converting From Single-Bundle to Double-Bundle Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Am J Sports Med*. 2009;37(4):683–687.

22. C. G, M. S, D. R, M. P. Cryotherapy compared with Robert Jones bandage after total knee replacement: A prospective randomized trial. *Int Orthop*. 2001;25(4):250–252.

23. Carey JL, Huffman GR, Parekh SG, Sennett BJ. Outcomes of anterior cruciate ligament injuries to running backs and wide receivers in the National Football League. *Am J Sports Med*. 2006;34(12):1911–7.

24. Christensen JC, Goldfine LR, West HS. The effects of early aggressive rehabilitation on outcomes after anterior cruciate ligament reconstruction using autologous hamstring tendon: a randomized clinical trial. *J Sport Rehabil*. 2013;22(3):191–201.

25. Cimino F, Volk BS, Setter D. Anterior cruciate ligament injury: diagnosis, management, and prevention. *Am Fam Physician*. 2010;82(8):917–22.

26. Coté DJ, Prentice WE, Hooker DN, Shields EW. Comparison of three treatment procedures for minimizing ankle sprain swelling. *Phys Ther*. 1988;68(7):1072–6.

27. Daniel DM, Stone ML, Dobson BE, Fithian DC, Rossman DJ, Kaufman KR. Fate of the ACL-injured Patient: A Prospective Outcome Study. *Am J Sports Med*. 1994;22(5):632–644.

28. Delincé P, Ghafil D. Anterior cruciate ligament tears: conservative or surgical treatment? A critical review of the literature. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2012;20(1):48–61.

29. Dervin GF, Taylor DE, Keene GC. Effects of cold and compression dressings on early postoperative outcomes for the arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction patient. *J Orthop Sports Phys Ther*. 1998;27(6):403–6.

30. Devoogdt N, Van Kampen M, Geraerts I, Coremans T, Christiaens M-R. Different physical treatment modalities for lymphoedema developing after axillary lymph node dissection for breast cancer: a review. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol*. 2010;149(1):3–9.

31. Dragoo JL, Braun HJ, Harris AHS. The effect of playing surface on the incidence of ACL injuries in National Collegiate Athletic Association American Football. *Knee*. 2013;20(3):191–5.

32. Ediz L, Ceylan MF, Turktas U, Yanmis I, Hiz O. A randomized controlled trial of electrostimulation effects on effussion, swelling and pain recovery after anterior cruciate ligament reconstruction: a pilot study. *Clin Rehabil*. 2012;26(5):413–22.

33. Von Essen H, Südkamp NP. Complex trauma of the knee joint. The diagnosis and therapy of ligament studies. *Unfallchirurg*. 2003;106(5):398–409; quiz 410–1.

34. Feagin JA, Curl WW. Isolated tear of the anterior cruciate ligament: 5-year follow-up study. *Am J Sports Med*. 1976;4(3):95–100.

35. Feller JA, Webster KE, Gavin B. Early post-operative morbidity following anterior cruciate ligament reconstruction: patellar tendon versus hamstring graft. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2001;9(5):260–6.

36. Földi M, Asmussen PD. *Lehrbuch der Lymphologie für Mediziner und Physiotherapeuten*. 4., völlig. Stuttgart: G. Fischer; 1999.

37. Frank CB, Jackson DW. The science of reconstruction of the anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg Am*. 1997;79(10):1556–76.

38. Freedman KB, D'Amato MJ, Nedeff DD, Kaz A, Bach BR. Arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction: a metaanalysis comparing patellar tendon and hamstring tendon autografts. *Am J Sports Med*. 31(1):2–11.

39. Friedman M. The use of ranks to avoid the assumption of normality implicit in the analysis of variance. *J Am Stat Assoc*. 1937;32(200):675–701.

40. Frobell RB, Roos EM, Roos HP, Ranstam J, Lohmander LS. A randomized trial of treatment for acute anterior cruciate ligament tears. *N Engl J Med*. 2010;363(4):331–42.

41. Frobell RB, Roos HP, Roos EM, Roemer FW, Ranstam J, Lohmander LS. Treatment for acute anterior cruciate ligament tear: five year outcome of randomised trial. *BMJ*. 2013;346(jan24_1):f232.

42. Fujimoto E, Sumen Y, Urabe Y, et al. An early return to vigorous activity may destabilize anterior cruciate ligaments reconstructed with hamstring grafts. *Arch Phys Med Rehabil*. 2004;85(2):298–302.

43. Gesundheitsdirektion des Kantons Zürich. *Ruptur des vorderen Kreuzbandes : operative oder konservative Behandlung ?* 2009:14–16.

44. Gianotti SM, Marshall SW, Hume PA, Bunt L. Incidence of anterior cruciate ligament injury and other knee ligament injuries: a national population-based study. *J Sci Med Sport*. 2009;12(6):622–7.

45. Gillquist J. Cruciate ligament prostheses. Techniques, results and perspectives. *Orthopade*. 1993;22(6):381–5.

46. Griffin LY, Agel J, Albohm MJ, et al. Noncontact anterior cruciate ligament injuries: risk factors and prevention strategies. *J Am Acad Orthop Surg*. 2000;8(3):141–50.

47. Grindstaff TL, Hammill RR, Tuzson AE, Hertel J. Neuromuscular control training programs and noncontact anterior cruciate ligament injury rates in female athletes: a numbers-needed-to-treat analysis. *J Athl Train*. 2006;41(4):450–6.

48. Van Grinsven S, van Cingel REH, Holla CJM, van Loon CJM. Evidence-based rehabilitation following anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2010;18(8):1128–44.

49. Guskiewicz KM, Riemann BL, Onate J a. Comparison of 3 methods of external support for management of acute lateral ankle sprains. *J Athl Train*. 1999;34(1):5–10.

50. Gwinn DE, Wilckens JH, McDevitt ER, Ross G, Kao TC. The relative incidence of anterior cruciate ligament injury in men and women at the United States Naval Academy. *Am J Sports Med*. 2000;28(1):98–102.

51. Harner CD, Irrgang JJ, Paul J, Dearwater S, Fu FH. Loss of motion after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med*. 1992;20(5):499–506.

52. Healy WL, Seidman J, Pfeifer BA, Brown DG. Cold compressive dressing after total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res*. 1994;(299):143–6.

53. Hernández LM, Micheo WF, Amy E. Rehabilitation update for the anterior cruciate ligament injured patient: current concepts. *Bol Asoc Med P R*. 2006;98(1):62–72.

54. Hewett TE, Myer GD, Ford KR. Anterior cruciate ligament injuries in female athletes: Part 1, mechanisms and risk factors. *Am J Sports Med*. 2006;34(2):299–311.

55. Höher J, Tingart M, Tiling T. Prophylaxe der Arthrofibrose in der Kreuzbandchirurgie. *Arthroskopie*. 1999;12(5):246–251.

56. Höher J. Rehabilitation nach operativem Ersatz des vorderen Kreuzbandes. *Arthroskopie*. 2005;18(1):41–47.

57. Holdgate A, Asha S, Craig J, Thompson J. Comparison of a verbal numeric rating scale with the visual analogue scale for the measurement of acute pain. *Emerg Med (Fremantle)*. 2003;15(5-6):441–6.

58. Hootman JM, Dick R, Agel J. Epidemiology of collegiate injuries for 15 sports: summary and recommendations for injury prevention initiatives. *J Athl Train*. 2007;42(2):311–9.

59. Hornsby R. The use of compression to treat lymphoedema. *Prof Nurse*. 1995;11(2):127–8.

60. Houtermans-Auckel JP, van Rossum E, Teijink J a W, et al. To wear or not to wear compression stockings after varicose vein stripping: a randomised controlled trial. *Eur J Vasc Endovasc Surg*. 2009;38(3):387–91.

61. Hulstyn MJ, Klinge SA, Sawyer GA. Essentials of anterior cruciate ligament rupture management. *R I Med J (2013)*. 2013;96(5):28–32.

62. Huskisson EC. Measurement of pain. *Lancet*. 1974;2(7889):1127–31.

63. Isberg J, Faxén E, Brandsson S, Eriksson BI, Kärrholm J, Karlsson J. Early active extension after anterior cruciate ligament reconstruction does not result in increased laxity of the knee. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2006;14(11):1108–15.

64. Janssen RP a, du Mée AWF, van Valkenburg J, Sala H a GM, Tseng CM. Anterior cruciate ligament reconstruction with 4-strand hamstring autograft and accelerated rehabilitation: a 10-year prospective study on

clinical results, knee osteoarthritis and its predictors. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2012:40–50.

65. Kannus P, Järvinen M. Incidence of knee injuries and the need for further care. A one-year prospective follow-up study. *J Sports Med Phys Fitness*. 1989;29(4):321–5.

66. Kaplan N, Wickiewicz TL, Warren RF. Primary surgical treatment of anterior cruciate ligament ruptures. A long-term follow-up study. *Am J Sports Med*. 1990;18(4):354–358.

67. Kärki A, Anttila H, Tasmuth T, Rautakorpi U-M. Lymphoedema therapy in breast cancer patients: a systematic review on effectiveness and a survey of current practices and costs in Finland. *Acta Oncol*. 2009;48(6):850–9.

68. Kauder S, Strölin A, Adamczyk A, Krug M, Häfner H-M. „Image 3D“ zur Unterschenkel-volumenbestimmung im Vergleich mit der Wasserplethysmographie. Image 3D versus Wasserplethysmographie in der Unterschenkelvolumenbestimmung. *Phlebologie*. 2011;40(6):337–342.

69. Khoshgoftar Z, Zohreh K, Ayat Esfahani F, et al. Comparison of compression stocking with elastic bandage in reducing postoperative edema in coronary artery bypass graft patient. *J Vasc Nurs*. 2009;27(4):103–6.

70. King M, Deveaux A, White H, Rayson D. Compression garments versus compression bandaging in decongestive lymphatic therapy for breast cancer-related lymphedema: a randomized controlled trial. *Support Care Cancer*. 2012;20(5):1031–6.

71. Kowal MA. Review of physiological effects of cryotherapy. *J Orthop Sports Phys Ther*. 1983;5(2):66–73.

72. Kruse LM, Gray B, Wright RW. Rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review. *J Bone Joint Surg Am*. 2012;94(19):1737–48.

73. Laupattarakasem W, Sirichativapee W, Kowsuwon W, Sribunditkul S, Suibnugarn C. Axial rotation gravity goniometer. A simple design of instrument and a controlled reliability study. *Clin Orthop Relat Res*. 1990;(251):271–4.

74. Lehmann JF, Warren CG, Scham SM. Therapeutic heat and cold. *Clin Orthop Relat Res*. (99):207–45.

75. Levy AS, Marmar E. The role of cold compression dressings in the postoperative treatment of total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res*. 1993;(297):174–8.

76. Levy BA. Is early reconstruction necessary for all anterior cruciate ligament tears? *N Engl J Med*. 2010;363(4):386–8.

77. Lewis PB, Parameswaran AD, Rue J-PH, Bach BR. Systematic review of single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction outcomes: a baseline assessment for consideration of double-bundle techniques. *Am J Sports Med*. 2008;36(10):2028–36.

78. Linko E, Harilainen A, Malmivaara A, Seitsalo S. Surgical versus conservative interventions for anterior cruciate ligament ruptures in adults. *Cochrane database Syst Rev*. 2005;(2):CD001356.

79. Lippert H. *Lehrbuch Anatomie*. Urban & Fischer Verlag/Elsevier GmbH; Auflage: 8; 2011:880.

80. Liu SH, Mirzayan R. Current review. Functional knee bracing. *Clin Orthop Relat Res*. 1995;(317):273–81.

81. Lohmander LS, Englund PM, Dahl LL, Roos EM. The long-term consequence of anterior cruciate ligament and meniscus injuries: osteoarthritis. *Am J Sports Med*. 2007;35(10):1756–69.

82. Maffulli N, Loppini M, King JB. Anterior cruciate ligament tears: what we already know. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2013;21(7):1704–5.

83. Mayr HO, Hochrein A, Hein W, Hube R, Bernstein A. Rehabilitation results following anterior cruciate ligament reconstruction using a hard brace compared to a fluid-filled soft brace. *Knee*. 2010;17(2):119–26.

84. Mayr HO, Stüeken P, Münch E-O, et al. Brace or no-brace after ACL graft? Four-year results of a prospective clinical trial. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2013.

85. McCarthy MM, Voos JE, Nguyen JT, Callahan L, Hannafin JA. Injury profile in elite female basketball athletes at the Women's National Basketball Association combine. *Am J Sports Med*. 2013;41(3):645–51.

86. McCluskey GM, Blackburn TA, Lewis T. A treatment for ankle sprains. *Am J Sports Med*. 1976;4(4):158–61.

87. McWayne J, Heiney SP. Psychologic and social sequelae of secondary lymphedema: a review. *Cancer*. 2005;104(3):457–66.

88. Meuffels DE, Poldervaart MT, Diercks RL, et al. Guideline on anterior cruciate ligament injury. *Acta Orthop*. 2012;83(4):379–86.

89. Micheo W, Hernández L, Seda C. Evaluation, management, rehabilitation, and prevention of anterior cruciate ligament injury: current concepts. *PM R*. 2010;2(10):935–44.

90. Müller M. *Chirurgie für Studium und Praxis: Unter Berücksichtigung des Gegenstandskataloges und der mündlichen Examina in den ärztlichen Prüfungen*. 11. Aufl.,. Breisach am Rhein: Medizinische Verl.- und Inform.-Dienste; 2012.

91. Munk S, Jensen NJF, Andersen I, Kehlet H, Hansen TB. Effect of compression therapy on knee swelling and pain after total knee arthroplasty. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2013;21(2):388–92.

92. Neumann K, Ekkernkamp A. Sense and nonsense of cruciate ligament prostheses. *Chirurg*. 1995;66(11):1079–84.

93. Noble B, Clark D, Meldrum M, et al. The measurement of pain, 1945-2000. *J Pain Symptom Manage*. 2005;29(1):14–21.

94. Norris R, Thompson P, Getgood A. The effect of anterior cruciate ligament reconstruction on the progression of osteoarthritis. *Open Orthop J*. 2012;6:506–10.

95. Palmieri-Smith RM, Kreinbrink J, Ashton-Miller J a, Wojtys EM. Quadriceps inhibition induced by an experimental knee joint effusion affects knee joint mechanics during a single-legged drop landing. *Am J Sports Med*. 2007;35(8):1269–75.

96. Palmieri-Smith RM, Villwock M, Downie B, Hecht G, Zernicke R. Pain and effusion and quadriceps activation and strength. *J Athl Train*. 2013;48(2):186–91.

97. Partsch H. Understanding the pathophysiological effects of compression. *Eur Wound Manag Assoc Underst compression Ther position Doc*. 2003:2–4.

98. Paulos L, Noyes FR, Grood E, Butler DL. Knee rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction and repair. *Am J Sports Med*. 1981;9(3):140–9.

99. Petersen W, Rosenbaum D, Raschke M. Anterior Cruciate Ligament Ruptures in Female Athletes. Part 1: Epidemiology, Injury Mechanisms, and Causes. *Dtsch Z Sportmed*. 2005;56(6):150–156.

100. Pinsornsak P, Chumchuen S. Can a modified Robert Jones bandage after knee arthroplasty reduce blood loss? A prospective randomized controlled trial. *Clin Orthop Relat Res*. 2013;471(5):1677–81.

101. Priganc VW, Ito MA. Changes in edema, pain, or range of motion following manual edema mobilization: a single-case design study. *J Hand Ther*. 2008;21(4):326–35.

102. Quillen WS, Rouillier LH. Initial management of acute ankle sprains with rapid pulsed pneumatic compression and cold. *J Orthop Sports Phys Ther*. 1982;4(1):39–43.

103. Ramelet A-A. Compression Therapy. *Dermatologic Surg*. 2002;28(1):6–10.

104. Reed B V. Effect of high voltage pulsed electrical stimulation on microvascular permeability to plasma proteins. A possible mechanism in minimizing edema. *Phys Ther*. 1988;68(4):491–5.

105. Richmond JC, Lubowitz JH, Poehling GG. Prompt operative intervention reduces long-term osteoarthritis after knee anterior cruciate ligament tear. *Arthroscopy*. 2011;27(2):149–52.

106. Roe J, Pinczewski L a, Russell VJ, Salmon LJ, Kawamata T, Chew M. A 7-year follow-up of patellar tendon and hamstring tendon grafts for arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction: differences and similarities. *Am J Sports Med*. 2005;33(9):1337–45.

107. Rougraff B, Shelbourne KD, Gerth PK, Warner J. Arthroscopic and histologic analysis of human patellar tendon autografts used for anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med*. 1991;21(2):277–84.

108. Ryder SH, Johnson RJ, Beynnon BD, Ettlinger CF. Prevention of ACL Injuries. *J Sport Rehabil*. 1997;(JSR Volume 6, Issue 2, May):80–96.

109. Salmon LJ, Russell VJ, Refshauge K, et al. Long-term outcome of endoscopic anterior cruciate ligament reconstruction with patellar tendon autograft: minimum 13-year review. *Am J Sports Med*. 2006;34(5):721–32.

110. Samuelsson K, Andersson D, Karlsson J. Treatment of anterior cruciate ligament injuries with special reference to graft type and surgical technique: an assessment of randomized controlled trials. *Arthroscopy*. 2009;25(10):1139–74.

111. Schmid-Schönbein GW. Microlymphatics and lymph flow. *Physiol Rev*. 1990;70(4):987–1028.

112. Schmidt-Wiethoff R, Dargel J. Current concepts in the diagnosis and treatment of anterior cruciate ligament tears. *Dtsch Zeitschrift für …*. 2007;58(11):384–391.

113. Schröder D, Pässler HH. Combination of cold and compression after knee surgery. A prospective randomized study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 1994;2(3):158–65.

114. Schünke M, Schulte E, Schumacher U. *Prometheus Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem: LernAtlas der Anatomie*. 3., überar. Stuttgart: Thieme; 2011.

115. Shelbourne KD, Freeman H, Gray T. Osteoarthritis after anterior cruciate ligament reconstruction: the importance of regaining and maintaining full range of motion. *Sports Health*. 2012;4(1):79–85.

116. Shelbourne KD, Gray T. Anterior cruciate ligament reconstruction with autogenous patellar tendon graft followed by accelerated rehabilitation. A two- to nine-year followup. *Am J Sports Med*. 1997;25(6):786–95.

117. Shelbourne KD, Gray T. Minimum 10-year results after anterior cruciate ligament reconstruction: how the loss of normal knee motion compounds other factors related to the development of osteoarthritis after surgery. *Am J Sports Med*. 2009;37(3):471–80.

118. Shelbourne KD, Klotz C. What I have learned about the ACL: utilizing a progressive rehabilitation scheme to achieve total knee symmetry after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Sci*. 2006;11(3):318–25.

119. Shelbourne KD, Nitz P. Accelerated rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med*. 1990;18(3):292–9.

120. Shelbourne KD, Patel D V. Treatment of limited motion after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 1999;7(2):85–92.

121. Shelbourne KD, Urch SE, Gray T, Freeman H. Loss of Normal Knee Motion After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Is Associated With Radiographic Arthritic Changes After Surgery. *Am J Sports Med*. 2012;40(1):108–113.

122. Shelbourne KD. Range of motion loss will cause osteoarthritis. *Arthroscopy*. 2011;27(4):451–2.

123. Sherman MF, Lieber L, Bonamo JR, Podesta L, Reiter I. The long-term followup of primary anterior cruciate ligament repair. Defining a rationale for augmentation. *Am J Sports Med*. 1991;19(3):243–55.

124. Shimokochi Y, Shultz SJ. Mechanisms of noncontact anterior cruciate ligament injury. *J Athl Train*. 2008;43(4):396–408.

125. Sloan JP, Hain R, Pownall R. Clinical benefits of early cold therapy in accident and emergency following ankle sprain. *Emerg Med J*. 1989;6(1):1–6.

126. Smith J, Stevens J, Taylor M, Tibbey J. A randomized, controlled trial comparing compression bandaging and cold therapy in postoperative total knee replacement surgery. *Orthop Nurs*. 2002;21(2):61–6.

127. Spencer JD, Hayes KC, Alexander IJ. Knee joint effusion and quadriceps reflex inhibition in man. *Arch Phys Med Rehabil*. 1984;65(4):171–7.

128. Spindler KP, Wright RW. Clinical practice. Anterior cruciate ligament tear. *N Engl J Med*. 2008;359(20):2135–42.

129. Stahel WA. *Statistische Datenanalyse: Eine Einführung für Naturwissenschaftler*.; 2008.

130. Starkey JA. Treatment of ankle sprains by simultaneous use of intermittent compression and ice packs. *Am J Sports Med*. 1976;4(4):142–144.

131. Stevenson H, Webster J, Johnson R, Beynnon B. Gender differences in knee injury epidemiology among competitive alpine ski racers. *Iowa Orthop J*. 1998;18:64–6.

132. Strehl A, Eggli S. The value of conservative treatment in ruptures of the anterior cruciate ligament (ACL). *J Trauma*. 2007;62(5):1159–62.

133. Su EP, Perna M, Boettner F, et al. A prospective, multi-center, randomised trial to evaluate the efficacy of a cryopneumatic device on total knee arthroplasty recovery. *J Bone Joint Surg Br*. 2012;94(11 Suppl A):153–6.

134. Swedborg I. Effects of treatment with an elastic sleeve and intermittent pneumatic compression in post-mastectomy patients with lymphoedema of the arm. *Scand J Rehabil Med*. 1984;16(1):35–41.

135. Torg JS, Conrad W, Kalen V. Clinical diagnosis of anterior cruciate ligament instability in the athlete. *Am J Sports Med*. 1976;4(2):84–93.

136. Troyer H. The effect of short-term immobilization on the rabbit knee joint cartilage. A histochemical study. *Clin Orthop Relat Res*. 1975;(107):249–57.

137. Urban V, Kalberer F, Roos M, Dumont CE. [Reliability of active range-of-motion measurement of the rotation in the forearm: comparison of three measurement devices]. *Z Orthop Ihre Grenzgeb*. 2002;140(1):72–6.

138. Villeco JP. Edema: a silent but important factor. *J Hand Ther*. 2012;25(2):153–61; quiz 162.

139. Wallace L a, Knortz K, Esterson PS. Immediate care of ankle injuries. *J Orthop Sports Phys Ther*. 1979;1(1):46–50.

140. Webb JM, Williams D, Ivory JP, Day S, Williamson DM. The use of cold compression dressings after total knee replacement: a randomized controlled trial. *Orthopedics*. 1998;21(1):59–61.

141. Welsch U. *Lehrbuch Histologie*. 3. Aufl. München: Elsevier, Urban & Fischer; 2010.

142. Wilkerson GB, Horn-Kingery HM. Treatment of the inversion ankle sprain: comparison of different modes of compression and cryotherapy. *J Orthop Sports Phys Ther*. 1993;17(5):240–6.

143. Wright RW, Preston E, Fleming BC, et al. A systematic review of anterior cruciate ligament reconstruction rehabilitation: part II: open versus closed kinetic chain exercises, neuromuscular electrical stimulation, accelerated rehabilitation, and miscellaneous topics. *J Knee Surg*. 2008;21(3):225–34.

144. Yabroudi MA, Irrgang JJ. Rehabilitation and return to play after anatomic anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin Sports Med*. 2013;32(1):165–75.

8 Danksagung

Mein herzlicher Dank gilt Herrn Prof. Dr. med. Klaus-Michael Braumann, Leiter des Institutes für Sport- und Bewegungsmedizin der Universität Hamburg, dessen kontinuierliche Betreuung die Anfertigung dieser Dissertation ermöglicht hat.

Darüber hinaus danke ich Herrn Prof. Dr. med. Rüdiger Reer für die Unterstützung auch in schwierigen Situationen und die rasche Korrektur, Prof. Dr. med. Bernd M. Kabelka für die Kooperation und die Hilfe bei der Akquirierung der Studienteilnehmer, Dr. sportwiss. Tobias Schmidt für seinen großen Einsatz, seine Motivation und seine Hilfsbereitschaft.

Dem Team der Vitalwelten Stolle, insbesondere Frau Lisa Heidemann, danke ich für die freundliche Zusammenarbeit.

Allen Studienteilnehmern bin ich zu großem Dank verpflichtet, da ohne sie es nicht möglich gewesen wäre, diese Studie durchzuführen.

Meiner Freundin und meiner Familie danke ich für ihre Geduld und Unterstützung.

9 Datenaufbewahrung

Hiermit erkläre ich, dass die dieser Dissertation zu Grunde liegenden Originaldaten bei meinem Betreuer, Prof. Dr. med. Klaus-Michael Braumann, Leiter des Instituts für Sport- und Bewegungsmedizin der Universität Hamburg, hinterlegt sind

10 Anhang

10.1 Patientenstatistik

10.1.1 VenoTrain Soft

10.1.1.1 Statistik Beinvolumen

10.1.1.1.1 Volumendaten

Operiertes Bein:

ID	Prä-OP	1. Woche	2. Woche	3. Woche	4. Woche
108	6,19	x	5,99	5,92	5,82
109	8,31	8,78	8,31	7,69	6,94
110	6,56	6,9	6,61	6,36	6,29
111	6,64	6,83	6,75	6,57	6,6
112	6,56	6,28	6,13	5,95	5,9
113	6,54	6,6	6,3	6,33	6,08
114	8,25	8,96	7,97	7,61	7,37
115	5,85	5,91	5,7	5,74	5,92
116	7,9	7,88	7,6	7,46	7,34
117	6,42	6,49	6,68	6,22	6,1
118	6,63	6,3	6,48	5,97	6,42
119	7,2	7,47	6,92	6,73	6,85
120	8,02	8,35	7,82	7,61	7,39
121	6,96	x	6,64	6,33	6,27

Beinvolumen in l, x = kein Messwert vorhanden

Gesundes Bein:

ID	Prä-OP	1. Woche	2. Woche	3. Woche	4. Woche
108	5,93	x	5,82	5,97	5,92
109	8,12	7,94	7,81	7,88	6,92
110	6,49	6,31	6,22	6,25	6,39
111	6,55	7,54	6,51	6,59	6,59
112	6,56	6,28	6,19	6,22	6,37
113	6,59	6,45	6,27	6,41	6,49
114	8,26	8,06	7,83	7,92	7,84
115	5,93	5,57	5,63	5,6	5,76
116	7,84	7,6	7,65	7,74	7,72
117	6,87	6,71	6,94	6,75	6,58
118	6,78	6,34	6,61	6,39	6,81
119	7,53	7,42	7,17	7,31	7,42
120	8,31	7,9	8,25	8,28	7,83
121	7,17	x	7,04	7,07	6,96

Beinvolumen in l, x = kein Messwert vorhanden

10.1.1.1.2 Tests auf Normalverteilung

Operiertes Bein:

Tests auf Normalverteilung

	Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Prä-OP	,282	12	,009	,869	12	,063
1.Woche	,208	12	,161	,911	12	,217
2. Woche	,176	12	,200*	,946	12	,585
3. Woche	,191	12	,200*	,879	12	,086
4. Woche	,154	12	,200*	,898	12	,150

*. Dies ist eine untere Grenze der echten Signifikanz.

a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

10.1.1.1.3 Varianzanalyse für wiederholte Messungen

Operiertes Bein:

Mauchly-Test auf Sphärizität[a]

Innersubjekt-effekt	Mauchly-W	Approximiertes Chi-Quadrat	df	Sig.	Epsilon[b]		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Untergrenze
Beinvolumen	,093	22,364	9	,009	,430	,503	,250

Prüft die Nullhypothese, dass sich die Fehlerkovarianz-Matrix der orthonormalisierten transformierten abhängigen Variablen proportional zur Einheitsmatrix verhält.

a. Design: Konstanter Term

Innersubjektdesign: Beinvolumen

b. Kann zum Korrigieren der Freiheitsgrade für die gemittelten Signifikanztests verwendet werden. In der Tabelle mit den Tests der Effekte innerhalb der Subjekte werden korrigierte Tests angezeigt.

Tests der Innersubjekteffekte

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
Beinvolumen	Sphärizität angenommen	3,303	4	,826	13,814	,000
	Greenhouse-Geisser	3,303	1,722	1,918	13,814	,000
	Huynh-Feldt	3,303	2,011	1,642	13,814	,000
	Untergrenze	3,303	1,000	3,303	13,814	,003
Fehler (Beinvolumen)	Sphärizität angenommen	2,630	44	,060		
	Greenhouse-Geisser	2,630	18,940	,139		
	Huynh-Feldt	2,630	22,126	,119		
	Untergrenze	2,630	11,000	,239		

10.1.1.1.4 Post-Hoc Analyse

Test bei gepaarten Stichproben

Beinvolumen		Gepaarte Differenzen					T	df	Sig. (2-seitig)
		Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes	95% Konfidenzintervall der Differenz				
					Untere	Obere			
Paar 1	Prä-OP – 1. Woche	-,15583	,29648	,08559	-,34421	,03254	-1,821	11	,096
Paar 2	Prä-OP – 2. Woche	,15214	,19112	,05108	,04180	,26249	2,979	13	,011
Paar 3	Prä-OP – 3. Woche	,39571	,21536	,05756	,27137	,52006	6,875	13	,000
Paar 4	Prä-OP – 4. Woche	,48143	,36433	,09737	,27107	,69179	4,944	13	,000

Paar 5	1. Woche – 2. Woche	,29000	,32602	,09411	,08285	,49715	3,081	11	,010
Paar 6	1. Woche – 3. Woche	,54250	,36955	,10668	,30770	,77730	5,085	11	,000
Paar 7	1. Woche – 4. Woche	,62917	,58523	,16894	,25733	1,00101	3,724	11	,003
Paar 8	2. Woche – 3. Woche	,24357	,19330	,05166	,13197	,35518	4,715	13	,000
Paar 9	2. Woche – 4. Woche	,32929	,36760	,09825	,11704	,54153	3,352	13	,005
Paar 10	3. Woche – 4. Woche	,08571	,26720	,07141	-,06856	,23999	1,200	13	,251

10.1.1.2 Statistik Knieumfang

10.1.1.2.1 Knieumfangsdaten

Operiertes Kniegelenk

ID	Prä-OP	1. Woche	2. Woche	3. Woche	4. Woche
108	39,4	x	40	41,8	41,2
109	44,1	46,4	45,1	40,6	40,3
110	39,7	43,5	43	41,8	41,9
111	38,9	42,1	42,8	41,9	41,4
112	41,5	41,9	41	40,6	40,3
113	38,2	39,8	39,6	39,9	38,9
114	39,4	44,6	42,1	40,4	39,9
115	41,2	42,5	42,6	43,6	42,1
116	40,4	44,8	43,9	43,2	42,3
117	38,5	40,4	41,2	39,5	39,2
118	39	38	39,6	38,9	39,3
119	41,5	43,1	41,9	41,9	41,4
120	42,4	44,5	44,3	43,6	41,9
121	36,4	38,9	38,5	38,8	38,9

Knieumfang in cm, x = kein Messwert vorhanden

Gesundes Kniegelenk

ID	Prä-OP	1. Woche	2. Woche	3. Woche	4. Woche
108	38,4	x	37,3	38,5	38,6
109	42,8	40,3	42,4	43,7	38,6
110	38,1	38,7	39,7	39,7	40,1
111	37,9	38,1	39,9	39,1	39,4
112	40,3	39,5	39,1	39,3	39,5
113	36,9	36,6	36,3	36,1	36,8
114	39,5	37,9	38,9	37,9	37,7
115	40,8	39,6	40,9	41	40,7
116	40,4	40,5	41,4	41	39,9
117	39,5	37,6	38,8	38,6	37,7
118	39,7	40,2	39	38,6	38
119	41,1	40,2	40,3	40,6	40,4
120	42,2	40,7	41,5	42,6	41,3
121	36,5	36,7	36,9	36,9	36,7

Knieumfang in cm, x = kein Messwert vorhanden

10.1.1.2.2 Tests auf Normalverteilung

Tests auf Normalverteilung

	Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
	Statistik	Df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Prä-OP	,115	13	,200*	,983	13	,990
1. Woche	,122	13	,200*	,970	13	,891
2. Woche	,118	13	,200*	,975	13	,945
3. Woche	,163	13	,200*	,928	13	,317
4. Woche	,194	13	,193	,889	13	,094

*. Dies ist eine untere Grenze der echten Signifikanz.

a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

10.1.1.2.3 Varianzanalyse für wiederholte Messungen

Mauchly-Test auf Sphärizität[a]

Innersubjekt-effekt	Mauchly-W	Approximiertes Chi-Quadrat	df	Sig.	Epsilon[b]		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Untergrenze
Knieumfang	,115	22,513	9	,008	,553	,683	,250

Prüft die Nullhypothese, dass sich die Fehlerkovarianz-Matrix der orthonormalisierten transformierten abhängigen Variablen proportional zur Einheitsmatrix verhält.

a. Design: Konstanter Term

Innersubjektdesign: Knieumfang

b. Kann zum Korrigieren der Freiheitsgrade für die gemittelten Signifikanztests verwendet werden. In der Tabelle mit den Tests der Effekte innerhalb der Subjekte werden korrigierte Tests angezeigt.

Tests der Innersubjekteffekte

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
Knieumfang	Sphärizität angenommen	45,413	4	11,353	9,811	,000
	Greenhouse-Geisser	45,413	2,210	20,547	9,811	,000
	Huynh-Feldt	45,413	2,731	16,630	9,811	,000
	Untergrenze	45,413	1,000	45,413	9,811	,009
Fehler (Knieumfang)	Sphärizität angenommen	55,547	48	1,157		
	Greenhouse-Geisser	55,547	26,523	2,094		
	Huynh-Feldt	55,547	32,769	1,695		
	Untergrenze	55,547	12,000	4,629		

10.1.1.2.4 Post-Hoc Analyse

Test bei gepaarten Stichproben

Knieumfang		Gepaarte Differenzen					T	df	Sig. (2-seitig)
		Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes	95% Konfidenzintervall der Differenz				
					Untere	Obere			
Paar 1	Prä-OP – 1. Woche	-2,25385	1,64753	,45694	-3,24944	-1,25825	-4,932	12	,000
Paar 2	Prä-OP – 2. Woche	-1,78571	1,31140	,35049	-2,54290	-1,02853	-5,095	13	,000
Paar 3	Prä-OP – 3. Woche	-1,13571	1,75482	,46900	-2,14892	-,12251	-2,422	13	,031
Paar 4	Prä-OP – 4. Woche	-,60000	1,69660	,45344	-1,57959	,37959	-1,323	13	,209

Paar 5	1. Woche - 2. Woche	,37692	1,05448	,29246	-,26029	1,01414	1,289	12	,222
Paar 6	1. Woche - 3. Woche	1,21538	1,92261	,53323	,05357	2,37720	2,279	12	,042
Paar 7	1. Woche - 4. Woche	1,74615	1,94234	,53871	,57241	2,91990	3,241	12	,007
Paar 8	2. Woche - 3. Woche	,65000	1,47843	,39513	-,20362	1,50362	1,645	13	,124
Paar 9	2. Woche - 4. Woche	1,18571	1,43734	,38414	,35582	2,01561	3,087	13	,009
Paar 10	3. Woche - 4. Woche	,53571	,58783	,15711	,19631	,87512	3,410	13	,005

10.1.1.3 Statistik Beweglichkeit

10.1.1.3.1 Beweglichkeitsdaten

Operiertes Kniegelenk

ID	Prä-OP		1. Woche		2. Woche		3. Woche		4. Woche	
	Flexion	Extension	Flexion	Extension	Flexion	Extension	Flexion	Extension	Flexion	Extension
108	138	-10	76	0	90	0	90	0	90	0
109	120	10	64	11	90	0	90	0	90	0
110	94	0	34	8	50	4	70	6	72	0
111	130	-6	86	0	90	0	90	0	90	0
112	120	-4	70	6	84	8	76	0	90	0
113	64	18	70	11	74	8	78	6	86	0
114	118	-6	72	22	84	20	83	2	90	0
115	134	-12	68	6	90	0	90	0	90	0

116	126	-20	72	18	90	0	90	0	90	0
117	x	x	58	12	76	0	88	0	86	0
118	144	-10	82	26	88	2	90	0	90	0
119	98	0	65	14	90	0	90	0	90	0
120	132	-16	56	6	84	2	90	0	90	0
121	142	-6	62	16	80	14	90	2	90	0

Beweglichkeit in °, x = kein Messwert vorhanden

Gesundes Knielegenk

ID	Prä-OP		1. Woche		2. Woche		3. Woche		4. Woche	
	Flexion	Extension	Flexion	Extension	Flexion	Extension	Flexion	Extension	Flexion	Extension
108	134	-16	132	-10	136	-14	136	-14	140	-8
109	138	0	134	0	140	-6	142	-4	142	-8
110	130	-4	128	-6	126	-8	132	-4	132	-8
111	134	-4	140	-6	146	-6	142	-6	136	-8
112	138	-6	132	-12	138	-12	136	-14	138	-15
113	142	-10	142	-12	138	-9	136	-9	136	-11
114	132	-2	130	-6	132	-6	130	-6	129	-6
115	140	-12	136	-10	132	-10	136	-14	144	-14
116	122	-14	130	-16	126	-14	124	-14	132	-8
117	x	x	130	-12	132	-12	x	x	132	-14
118	146	-14	150	-16	x	x	144	-8	146	-12
119	136	-10	134	-10	140	-10	144	-10	140	-10

120	124	-16	132	-20	128	-18	126	-21	132	-20
121	138	-10	144	-12	144	-12	138	-12	146	-12

Beweglichkeit in °, x = kein Messwert vorhanden

10.1.1.3.2 Tests auf Normalverteilung Flexion

Operiertes Kniegelenk

Tests auf Normalverteilung

Flexion	Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Prä-OP	,234	13	,050	,867	13	,047
1. Woche	,182	13	,200*	,896	13	,117
2. Woche	,291	13	,004	,648	13	,000
3. Woche	,415	13	,000	,661	13	,000
4. Woche	,478	13	,000	,398	13	,000

*. Dies ist eine untere Grenze der echten Signifikanz.

a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

10.1.1.3.3 Tests auf Normalverteilung Extension

Operiertes Kniegelenk

Tests auf Normalverteilung[c]

Extension	Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Prä-OP	,166	13	,200*	,938	13	,429
1. Woche	,124	13	,200*	,958	13	,721
2. Woche	,265	13	,013	,755	13	,002
3. Woche	,401	13	,000	,604	13	,000

*. Dies ist eine untere Grenze der echten Signifikanz.

a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

c. „Woche 4“ ist konstant und wurde weggelassen.

10.1.1.3.4 Friedman-Test Flexion

Ränge

Flexion	Mittlerer Rang
Prä-OP	4,69
1. Woche	1,08
2. Woche	2,69
3. Woche	3,04
4. Woche	3,50

Statistik für Test[a]

N	13
Chi-Quadrat	40,086
Df	4
Asymptotische Signifikanz	,000

10.1.1.3.5 Friedman-Test Extension

Ränge

Extension	Mittlerer Rang
Prä-OP	1,69
1. Woche	4,62
2. Woche	3,42
3. Woche	2,85
4. Woche	2,42

Statistik für Test[a]

N	13
Chi-Quadrat	30,673
Df	4
Asymptotische Signifikanz	,000

a. Friedman-Test

10.1.1.3.6 Post-Hoc Analyse Flexion

Statistik für Test[a]

Flexion	1. Woche – Prä-OP	2. Woche – Prä-OP	3. Woche - Prä-OP	3. Woche - Prä-OP	2. Woche – 1. Woche	3. Woche – 1. Woche	3. Woche – 1. Woche	3. Woche - 2. Woche	3. Woche - 2. Woche	3. Woche – 4. Woche
Z	-3,111[b]	-3,043[b]	-3,041[b]	-3,007[b]	-3,301[c]	-3,297[c]	-3,297[c]	-1,680[c]	-2,536[c]	-1,625[c]
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,002	,002	,002	,003	,001	,001	,001	,093	,011	,104

a. Wilcoxon-Test

b. Basiert auf positiven Rängen.

c. Basiert auf negativen Rängen.

10.1.1.3.7 Post-Hoc Analyse Extension

Statistik für Test[a]

Extension	1. Woche - Prä-OP	2. Woche - Prä-OP	3. Woche - Prä-OP	4. Woche - Prä-OP	2. Woche - 1. Woche	3. Woche - 1. Woche	4. Woche - 1. Woche	3. Woche - 2. Woche	4. Woche - 2. Woche	4. Woche - 3. Woche
Z	-2,972[b]	-2,440[b]	-1,770[b]	-1,517[b]	-2,908[c]	-3,065[c]	-3,065[c]	-1,980[c]	-2,375[c]	-1,857[c]
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,003	,015	,077	,129	,004	,002	,002	,048	,018	,063

a. Wilcoxon-Test

b. Basiert auf negativen Rängen.

c. Basiert auf positiven Rängen.

10.1.1.4 Statistik Schmerz

10.1.1.4.1 Schmerzwerte

ID	1. Tag	2. Tag	3. Tag	1. Woche	2. Woche	3. Woche	4. Woche
108	19,101	21,910	10,674	30,898	6,741	0	0
109	28,651	26,966	27,528	18,539	12,921	10,112	7,865
110	0	11,235	7,865	7,865	51,123	6,741	6,179
111	10,674	10,674	8,988	6,7413	8,988	6,179	6,179
112	18,539	32,022	11,797	13,483	6,741	6,179	6,179
113	25,842	40,449	39,887	23,595	18,539	10,112	6,179
114	34,831	14,606	5,617	7,303	6,179	6,179	6,179
115	16,292	12,921	13,483	15,730	6,741	6,179	8,426
116	78,089	16,292	50	67,415	17,977	15,730	5,056
117	30,337	40,449	10,112	6,741	5,617	0	0
118	73,033	24,719	41,011	19,101	23,033	9,550	8,426
119	12,359	7,303	16,292	7,865	0	0	0
120	55,617	41,011	39,887	42,134	11,235	5,617	4,494
121	64,044	38,764	30,337	17,415	7,303	0	0

Schmerz in %, x = kein Messwert vorhanden

10.1.1.4.2 Tests auf Normalverteilung

Tests auf Normalverteilung

	Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
Schmerz	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Tag 1	,192	14	,171	,903	14	,126
Tag 2	,167	14	,200*	,893	14	,089
Tag 3	,227	14	,048	,864	14	,035
1. Woche	,243	14	,024	,780	14	,003
2. Woche	,219	14	,066	,736	14	,001
3. Woche	,190	14	,181	,891	14	,085
4. Woche	,252	14	,016	,812	14	,007

*. Dies ist eine untere Grenze der echten Signifikanz.

a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

10.1.1.4.3 Friedman-Test

Ränge

Schmerz	Mittlerer Rang
Tag 1	6,04
Tag 2	5,54
Tag 3	4,79
1. Woche	4,75
2. Woche	3,39
3. Woche	1,89
4. Woche	1,61

Statistik für Test[a]

N	14
Chi-Quadrat	55,789
Df	6
Asymptotische Signifikanz	,000

a. Friedman-Test

10.1.1.4.4 Post-Hoc Analyse

Statistik für Test[a]

Schmerz	Tag 2 – Tag 1	Tag 3 – Tag 1	1. Woche - Tag 1	2. Woche - Tag 1	3. Woche - Tag 1	4. Woche - Tag 1	Tag 3 – Tag 2	1. Woche - Tag 2	2. Woche - Tag 2	3. Woche - Tag 2	4. Woche - Tag 2
Z	-1,188[b]	-2,166[b]	-2,354[b]	-2,542[b]	-3,170[b]	-3,170[b]	-,848[b]	-1,475[b]	-2,229[b]	-3,296[b]	-3,296[b]
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,235	,030	,019	,011	,002	,002	,397	,140	,026	,001	,001
Schmerz	1. Woche - Tag 3	2. Woche - Tag 3	3. Woche - Tag 3	4. Woche - Tag 3	2. Woche – 1. Woche	3. Woche – 1. Woche	4. Woche – 1. Woche	3. Woche – 2. Woche	4. Woche – 2. Woche	4. Woche – 3. Woche	
Z	-,874[b]	-2,201[b]	-3,233[b]	-3,233[b]	-2,041[b]	-3,296[b]	-3,296[b]	-3,061[b]	-2,903[b]	-1,612[b]	
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,382	,028	,001	,001	,041	,001	,001	,002	,004	,107	

a. Wilcoxon-Test

b. Basiert auf positiven Rängen.

10.1.2 Post-OP Bandage

10.1.2.1 Statistik Beinvolumen

Operiertes Bein:

ID	Prä-OP	1. Woche	2. Woche	3. Woche	4. Woche
1	8,31	8,39	8,13	8,05	7,99
2	6,38	6,94	6,61	6,45	6,49
3	7,3				

Beinvolumen in l, x = kein Messwert vorhanden

Gesundes Bein:

ID	Prä-OP	1. Woche	2. Woche	3. Woche	4. Woche
1	8,1	7,9	7,74	7,7	7,69
2	7,16	7,23	7,2	7,13	7,12
3	7,49				

Beinvolumen in l, x = kein Messwert vorhanden

10.1.2.2 Statistik Knieumfang

Operiertes Bein

ID	Prä-OP	1. Woche	2. Woche	3. Woche	4. Woche
1	42,6	44,9	44,1	44,2	43,5
2	41	42,9	42,6	42,6	42,5
3	38,5	41	x	x	x

Knieumfang in cm, x = kein Messwert vorhanden

Gesundes Bein

ID	Prä-OP	1. Woche	2. Woche	3. Woche	4. Woche
1	41,5	40,9	40	40,1	39,4
2	41,3	40,7	42	41,5	41,1
3	37,9	38,2	x	x	x

Knieumfang in cm, x = kein Messwert vorhanden

10.1.2.3 Statistik Beweglichkeit

Operiertes Kniegelenk

ID	Prä-OP		1. Woche		2. Woche		3. Woche		4. Woche	
	Flexion	Extension	Flexion	Extension	Flexion	Extension	Flexion	Extension	Flexion	Extension
1	128	-6	76	0	90	0	90	0	90	0
2	122	-8	66	0	73	0	90	0	90	0
3	142	-8	68	4						

Beweglichkeit in °, x = kein Messwert vorhanden

Gesundes Kniegelenk

ID	Prä-OP		1. Woche		2. Woche		3. Woche		4. Woche	
	Flexion	Extension	Flexion	Extension	Flexion	Extension	Flexion	Extension	Flexion	Extension
1	132	-3	132	-8	132	-6	138	-8	132	-6
2	136	-6	134	-6	134	-7	134	-7	143	-6
3	140	-4	142	-8						

Beweglichkeit in °, x = kein Messwert vorhanden

10.1.2.4 Statistik Schmerz

ID	1. Tag	2. Tag	3. Tag	1. Woche	2. Woche	3. Woche	4. Woche
1	0,168	0,140	0,078	0,073	0,033	0,033	0
2	0,634	0,494	0,320	0,258	0,112	0,101	0,106
3	0,584			0,382			

Schmerz in %, x = kein Messwert vorhanden

10.2 EG-Konformitätserklärung Bauerfeind Image-3D

EG-Konformitätserklärung

EG – Konformitätserklärung des Herstellers gem. Anhang V, Medizinprodukterichtlinie 93/42/EWG

Hiermit erklären wir,

Bauerfeind AG, Geschäftsbereich Phlebologie

dass unser Mess- und Versorgungssystem, mit dem Handelsnamen

Image 3D

und alle dabei verwendeten

- Materialien
- Komponenten
- Herstellungsverfahren und
- Prüfmethoden

die Anforderungen der Medizinprodukterichtlinie 93/42/EWG erfüllen.

Zeulenroda, 02.09.2005
Ort, Datum

Thomas Bauerfeind
Vorstand

PHLEBOLOGIE | ORTHOPÄDIE | FUSSORTHOPÄDIE | PROTHETIK

MEDICAL LINE

BAUERFEIND
Bewegung erleben.

10.3 EG-Konformitätserklärung Bauerfeind-Produkte

BAUERFEIND®

Bauerfeind AG · Triebeser Straße 16 · 07937 Zeulenroda-Triebes

Zeulenroda-Triebes, 22.01.2010

Bauerfeind AG
Triebeser Straße 16
07937 Zeulenroda-Triebes
Tel. +49 (0) 36628-66-10 00
Fax +49 (0) 36628-66-19 99

Lieferanschrift:
Weißendorfer Straße 5
07937 Zeulenroda-Triebes

Bauerfeind AG
AG Jena HRB 206561

Vorsitzender des Vorstandes:
Prof. Hans B. Bauerfeind

Mitglieder des Vorstandes:
Beatrix Bauerfeind-Johnson
Tiago da Silva
Andreas Lauth

Vorsitzender des Aufsichtsrates:
Prof. Rainer Kirchdörfer

EG-Konformitätserklärung

(entsprechend Anhang VII der Richtlinie 93/42/EWG über Medizinprodukte)

Wir,
Bauerfeind AG
Triebeser Straße 16
D-07931 Zeulenroda-Triebes,

erklären in alleiniger Verantwortung, dass unsere Produkte

Product name	Art.-Number
AchilloTrain	110110130*0*0*
AchilloTrain Pro	110110510*000*
AirLoc	120130310*0*00
CaligaLoc	12013003080*0*
Compro DF	111419120*000*
Compro AB	2269002**0000*
Compro plus DF/A	227500200000*
Compro plus AB	2279002000000*
Compro plus DF/S	2275102000000*
DorsoTrain	1108455008*00*
EpiPoint	12063501080000
EpiTrain	110616030*000*
GenuLoc	12043200070000
GenuTrain	110412040**00*
GenuTrain A3	110412510*0*0*
GenuTrain S	110413040*0*0*
GenuTrain P3	110414020*0***
LordoLoc	1218500008000*
LumboLoc	1218400308000*
LumboLoc Forte	1218403008000*
LumboPlus	1218530008000*
LumboTrain	110841040*000*

80 JAHRE | YEARS
MILLIONENFACH BEWÄHRT
PROVEN A MILLION TIMES
MADE IN GERMANY
Seit 1929 | Since 1929

Co Partner Deutschland

Offizieller Ausstatter der deutschen Olympiamannschaften

Bewegung erleben: www.bauerfeind.com

BAUERFEIND®

LumboTrain Lady	110841140*000*
MalleoTrain	110111020*0*0*
MalleoTrain S	110111120*0*0*
MalleoLoc	120130120*0*0*
ManuLoc	1205340108000*
ManuTrain	110515030*0*0*
MOS Genu	1214660405**0*
MyoTrain	1103250008000*
SacroLoc	1208416008000*
SecuTec Dorso	1218470008000*
SecuTec Genu	12146101050*0*
SecuTec Lumbo	1218460108*00*
SofTec Coxa	122252*008000*
SofTec Dorso	1228490008*00*
SofTec Genu	122460010*0*0*
SofTec Lumbo	1228480008*00*
SofTec OA	122468000***0*
OmoTrain	1107170108000*
RhizoLoc	12053300080*0*
ValguLoc	12013101080*0*
ValguLoc II	130174*005000*
ViscoBalance	130174*005000*
ViscoHeel K	1301710100000
ViscoHeel N	1301700100000*
ViscoSpot	13017201000*0*
ViscoPed	1301730000000*
ViscoPed S	1381732000000*
CompriFix Evolution	1288420008000*

und deren Ersatzteile, falls vorhanden, den einschlägigen Bestimmungen der Richtlinie 93/42EWG über Medizinprodukte entsprechen.

Dr. Hans-Jürgen-Thomä
Sicherheitsbeauftragter
Bauerfeind AG

Petra Schroeder
Qualitäts- und Zulassungsmana--
gement
Technische Dokumentation

Bewegung erleben: www.bauerfeind.com

11 Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere ausdrücklich, dass ich die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen einzeln nach Ausgabe (Auflage und Jahr des Erscheinens), Band und Seite des benutzten Werkes kenntlich gemacht habe.
Ferner versichere ich, dass ich die Dissertation bisher nicht einem Fachvertreter an einer anderen Hochschule zur Überprüfung vorgelegt oder mich anderweitig um Zulassung zur Promotion beworben habe.
Ich erkläre mich einverstanden, dass meine Dissertation vom Dekanat der Medizinischen Fakultät mit einer gängigen Software zur Erkennung von Plagiaten überprüft werden kann.

Jan Hendrik Hellmann
Hamburg, 31.01.2014