

Aus dem Bereich Klinische Medizin  
der Medizinischen Fakultät  
der Universität des Saarlandes, Homburg/Saar

**Röntgenologische Analyse und präliminäre Entwicklung eines  
Röntgen-Scores zur Bestimmung der Arthrose im lateralen  
Kniegelenkskompartiment vor und nach lateraler Menishektomie**

*Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin*

**der medizinischen Fakultät**

der UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

2014

Vorgelegt von:

Esther Josée Marie Anne Weber

Geb. am 13. November 1986 in Luxemburg

Aus der Klinik für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie,

Universitätskliniken des Saarlandes, Homburg/Saar

Direktor: Professor Dr. med. D. Kohn

*'Ars longa,  
vita brevis,  
occasio praeceps,  
experimentum periculosum,  
iudicium difficile.'*

***Hippocrates***

For Cyrille, my soulmate,  
whose long-bearing patience has consistently sustained me in my uphill effort.

**Abkürzungen**

a.p.	antero-posterior
K	Kontrollgruppe
K&L	Kellgren und Lawrence-Score
ME	Menishektomie-Gruppe
dpi	Pixel pro Zoll

<p><b>Röntgenologische Analyse und präliminäre Entwicklung eines Röntgen-Scores zur Bestimmung der Arthrose im lateralen Kniegelenkskompartiment vor und nach lateraler Meniskektomie</b></p>
---

<b>1. <u>Zusammenfassung</u></b>	4
1.1. Abstract	4
1.2. Zusammenfassung	6
<b>2. <u>Einleitung</u></b>	8
2.1. Zielsetzung der Studie	13
<b>3. <u>Material und Methoden</u></b>	14
3.1. Beschreibung der Gruppen	14
3.2. Material	15
3.2.1. Röntgenaufnahmen	15
3.3. Methoden	17
3.3.1. Vermessung der Röntgenaufnahmen	17
3.3.2. Statistische Auswertung	21
3.3.3. Definierung eines Messbereichs	21
3.3.4. Intra- und interindividuelle Reliabilität	22
3.3.5. Vergleich zwischen Kontroll- und Meniskektomiegruppe	23
3.3.6. Vergleich mit etablierten Röntgen-Scores	24
<b>4. <u>Ergebnisse</u></b>	26
4.1. Normalverteilung und Grenzwerte	26
4.2. Korrelation zwischen Gelenkspaltquotient und Alter in der Kontrollgruppe	27
4.3. Präzision der Reproduzierbarkeit der verschiedenen Messmethoden	31
4.3.1. Intraindividuelle Reliabilität	31
4.3.2. Interindividuelle Reliabilität	32
4.4. Vergleich des Alters bei Röntgenaufnahme beider Gruppen	33
4.5. Signifikanz des Geschlechts in beiden Gruppen	33
4.6. Vergleich der Messergebnisse beider Gruppen	34
4.7. Bestimmung des Messbereichs	35
4.8. Vergleich des Alters und des Gelenkspaltquotienten D in beiden Gruppen	36
4.9. Anteil an gesundem und pathologischem Gelenkspaltquotienten D in beiden Gruppen	37
4.10. Korrelation des Gelenkspaltquotienten D mit anderen Scores	38

<b>5. <u>Diskussion</u></b>	41
<b>5.1. Material und Methoden</b>	41
<b>5.2. Ergebnisse</b>	43
<b>5.3. Anwendbarkeit</b>	50
<b>6. <u>Schlussfolgerung</u></b>	51
<b>7. <u>Anhang</u></b>	52
<b>7.1. Radiologische Klassifikation nach Fairbank</b>	52
<b>7.2. Radiologische Klassifikation nach Kellgren &amp; Lawrence</b>	52
<b>7.3. Einteilung nach Fairbank und K&amp;L der Gruppe ME</b>	53
<b>7.4. Einteilung nach Faibank und K&amp;L der Gruppe K</b>	54
<b>7.5. Messergebnisse des ersten Untersuchers</b>	56
<b>7.5.1. Ergebnisse der ersten Vermessung der Gruppe ME</b>	56
<b>7.5.2. Ergebnisse der zweiten Vermessung der Gruppe ME</b>	58
<b>7.5.3. Ergebnisse der dritten Vermessung der Gruppe ME</b>	60
<b>7.5.4. Mittelwerte der drei Vermessungen der Gruppe ME</b>	62
<b>7.5.5. Ergebnisse der ersten Vermessung der Gruppe K</b>	63
<b>7.5.6. Ergebnisse der zweiten Vermessung der Gruppe K</b>	68
<b>7.5.7. Ergebnisse der dritten Vermessung der Gruppe K</b>	73
<b>7.5.8. Mittelwerte der drei Vermessungen der Gruppe K</b>	78
<b>7.6. Ergebnisse des zweiten Untersuchers</b>	80
<b>7.6.1. Ergebnisse der Vermessung der Gruppe ME</b>	80
<b>7.6.2. Ergebnisse der Vermessung der Gruppe K</b>	82
<b>8. <u>Literaturverzeichnis</u></b>	87
<b>9. <u>Danksagung</u></b>	100
<b>10. <u>Lebenslauf</u></b>	101

# 1. Zusammenfassung

## 1.1. Abstract

The development of an early knee-osteoarthritis after the loss of the lateral meniscus is a challenge for the orthopedic surgeon, above all when younger patients are concerned. Whereas degenerative changes in the medial compartment can be treated by a valgus osteotomy of the proximal tibia, the treatment options for an isolated lateral knee-osteoarthritis are more limited. One therapeutic option is the meniscal transplant, which is only performed, with good results, in the early stages of arthritis. Therefore, the follow-up after lateral meniscectomy is focused on the early detection of degenerative changes.

Common radiologic scores, such as the Fairbank- or Kellgren & Lawrence-Score, are descriptive and the items they contain are difficult to define. This affects their objectivity. The aim of this study was to develop, within the context of a retrospective, multicentric long-time follow-up study of a patient collective after lateral meniscectomy, an objective, reproducible and quantitative radiologic score for the lateral knee-compartment. As measuring parameter, we used the height of the lateral joint space.

During the first phase, we had to define a normal distribution of the lateral joint space height, with the aid of a control group of 99 radiographs of non-operated, clinically and radiologically normal knees. The views used were a.p. (0° of knee flexion) and Schuss (45° of knee flexion). The measurement results of the control group enabled us to determine a cut-off, below which a joint space height has a high probability to be pathologic. We fixed the cut-off at one standard deviation below the sample mean. We defined bony landmarks of the lateral knee-compartment, as well as a strategy to define an objective and quantitative measure of the joint space height. We measured the height of the lateral compartment, on a.p. - and Schuss-views, on the external border (Y1) and in the centre (Y2), as well as the width (X) of the lateral compartment. The height parameters Y1 and Y2 were normalized with respect to the width parameter X of the lateral knee-compartment. Thus, the measurement of each knee resulted in four different ratios.

In order to test the applicability of the four ratios, they were applied to a group of knees after lateral meniscectomy, which showed changes when evaluated by the established radiographic scores.

In order to measure the joint space height of the lateral compartment, 36 radiographs of knees after partial or total meniscectomy, from four international centres, were digitalized with the help of a high resolution scanner. The mean duration between meniscectomy and radiograph was 20 years, with a range of 15 to 25 years. We performed a statistical evaluation of the measured values and both groups (control and meniscectomy) were compared.

The determination of the relative joint space height in the centre of the compartment on Schuss-views ( $Y45^{\circ}2/X45^{\circ}$ ) showed the highest intra- and inter-observer reliability in both groups (0,980 respective 0,982). In the analysis of covariance, considering the age of the patient, we found a significant difference between the control- and the meniscectomy-group concerning the ratios  $Y0^{\circ}2/X0^{\circ}$  (B),  $Y45^{\circ}1/X45^{\circ}$  (C) and  $Y45^{\circ}2/X45^{\circ}$  (D) ( $p < 0,001$ ). The coefficient of determination  $R^2$  of the ratio  $Y45^{\circ}2/X45^{\circ}$  (D) was the highest at 0,466.

When comparing age and joint space height D in the meniscectomy group with the help of a linear regression, the regression line showed a decline of the joint space height of 11% in 10 years; whereas the regression line of the control group showed no decline.

Seeing that ratio D was the most promising for getting the best results, it was compared to two well established Scores (Fairbank, Kellgren & Lawrence) using a Spearman rho rank order correlation. The test showed a negative correlation between the joint space height, the degree of osteoarthritis and the two radiologic scores, Fairbank (Spearman rho at -0,759;  $p < 0,001$ ) and Kellgren & Lawrence (Spearman rho at -0,712;  $p < 0,001$ ).

In conclusion, we developed a radiologic score, based on the joint space height, for the lateral knee-compartment, with a high reproducibility and a good correlation to long-established descriptive radiologic scores. By using the cut-off value of 0,14 (one standard deviation below the sample mean of the control group), below which the joint space height does not belong to the normal distribution and is thus pathologic, the D-Score can be used for early diagnosis of osteoarthritis of the lateral knee-compartment after meniscectomy.

## 1.2. Zusammenfassung

Die Entwicklung einer Früharthrose nach lateralem Meniskusverlust stellt den orthopädischen Chirurgen vor allem bei jungen Patienten vor besondere therapeutische Herausforderungen. Während degenerative Gelenkschäden im medialen Kompartiment mit valgusierenden Umstellungsosteotomien der proximalen Tibia behandelt werden können, sind die konservativen Therapieansätze bei lateralen Gonarthrosen eingeschränkt. Eine Behandlungsoption ist die Meniskustransplantation, welche allerdings nur in Frühstadien der Arthrose mit guten Ergebnissen durchgeführt werden kann. Ein besonderes Augenmerk in der Verlaufskontrolle nach lateraler Meniskektomie gilt deshalb der Früherkennung degenerativer Veränderungen.

Die gebräuchlichen Röntgen-Scores, wie der Fairbank-Score oder Kellgren & Lawrence-Score, sind deskriptiver Natur und beinhalten schwer zu definierende Faktoren, was ihre Objektivität einschränkt. Ziel dieser Untersuchung war es, im Rahmen einer retrospektiven, multizentrischen Langzeituntersuchung eines Patientenkollektivs mit Zustand nach lateraler Meniskektomie, einen objektiven, reproduzierbaren und quantitativen Röntgen-Score für das laterale Kniegelenkskompartiment zu entwickeln. Die Gelenkspalthöhe wurde diesem Score als Messparameter zugrunde gelegt.

Primär musste eine Normalverteilung mithilfe einer Kontrollgruppe, bestehend aus Röntgenaufnahmen von 99 nicht operierten, klinisch und radiologisch unauffälligen Kniegelenken ermittelt werden. Die zwei untersuchten Röntgenaufnahmen waren a.p. ( $0^\circ$  Knieflexion) und Schuss ( $45^\circ$  Knieflexion). Die Messergebnisse der Kontrollgruppe ermöglichten es uns anschließend, einen Grenzwert, unterhalb dessen eine Gelenkspalthöhe pathologisch ist, zu definieren. Als Grenzwert definierten wir eine Standardabweichung unterhalb des Stichprobenmittelwertes. Es wurden knöcherne Landmarken des lateralen Kompartiments definiert und eine Messstrategie zur objektiven und quantitativen Bestimmung der Gelenkspalthöhe entwickelt. Auf a.p. - und Schussaufnahmen wurden die Höhe des lateralen Kompartiments am Außenrand (Y1) und in der Mitte (Y2), sowie die Breite (X) des Kompartiments gemessen. Die Höhenparameter Y1 und Y2 wurden dann ins Verhältnis zum Breitenparameter X des lateralen Kniegelenkskompartiments gesetzt. Für jedes Kniegelenk ergaben sich somit vier verschiedene Quotienten.

Um die Anwendbarkeit der vier Quotienten zu testen wurden sie auf eine Gruppe von Kniegelenken nach lateraler Menishektomie angewendet, welche nach Auswertung anhand der etablierten Scores Veränderungen zeigten. 36 Kniegelenksaufnahmen mit Zustand nach partieller oder totaler Menishektomie, zusammengetragen aus 4 internationalen Zentren, wurden mithilfe eines hochauflösenden Röntgenscanners digitalisiert, um anschließend die Gelenkspalthöhe des lateralen Kompartiments ausmessen zu können. Der Mittelwert des Zeitintervalls zwischen Menishektomie und Röntgenaufnahme betrug 20 Jahre, mit einem Wertebereich von 15 bis 25 Jahren. Eine statistische Auswertung der Messwerte wurde vorgenommen und beide Gruppen (Kontroll- und Menishektomiegruppe) miteinander verglichen.

Die Bestimmung der relativen Gelenkspalthöhe in der Mitte des Gelenkspaltes auf Schuss-Aufnahmen ( $Y_{45^\circ 2}/X_{45^\circ}$ ) ergab die höchste intra- und interindividuelle Reliabilität in beiden Gruppen (0,98 respektive 0,982). In der Kovarianzanalyse fand sich, unter Berücksichtigung des Alters, ein signifikanter Unterschied zwischen Kontroll- und Menishektomiegruppe für die Quotienten  $Y_{0^\circ 2}/X_{0^\circ}$  (B),  $Y_{45^\circ 1}/X_{45^\circ}$  (C) und  $Y_{45^\circ 2}/X_{45^\circ}$  (D) ( $p < 0,001$ ). Das Bestimmtheitsmaß  $R^2$  dieser war mit 0,466 für den Quotienten  $Y_{45^\circ 2}/X_{45^\circ}$  (D) am höchsten. Bei dem Vergleich des Alters und der Gelenkspalthöhe D in der Menishektomiegruppe, mittels einer linearen Regression, zeigte die Regressionsgerade eine Abnahme der Gelenkspalthöhe von 11% in 10 Jahren; wohingegen bei der Kontrollgruppe keine Veränderung der Gelenkspalthöhe.

Da man sich von dem Gelenkspaltquotienten D die besten Werte erwartete, wurde er mit zwei etablierten Scores (Fairbank, Kellgren & Lawrence, siehe Anhang) mithilfe einer Spearman rho Rangkorrelation verglichen. Diese ergab eine negative Korrelation zwischen der Gelenkspalthöhe, dem Arthrosegrad und den beiden Röntgenscores, Fairbank (Spearman rho von -0,759;  $p < 0,001$ ) und Kellgren & Lawrence (Spearman rho von -0,712;  $p < 0,001$ ).

Es konnte somit ein auf der Gelenkspalthöhe basierender Röntgenscore für das laterale Kniegelenkskompartiment entwickelt werden, welcher eine hohe Reproduzierbarkeit und eine gute Korrelation zu lange etablierten deskriptiven Röntgenscores zeigte. Indem man den Grenzwert 0,14 (eine Standardabweichung unterhalb des Stichprobenmittelwertes) als Cut-off benutzt, unterhalb dessen eine Gelenkspalthöhe nicht mehr zur Normalverteilung gehört, und somit pathologisch ist, kann der D-Score zur Früherkennung der Arthrose im lateralen Kniegelenkskompartiment nach Menishektomie genutzt werden.

## 2. Einleitung

Neueste epidemiologische Untersuchungen von Sportverletzungen bestätigen, dass das Kniegelenk das am häufigsten in Mitleidenschaft gezogene Gelenk im Rahmen von Sportunfällen ist (JACOBSSON, 2011; RECHEL, 2011). Neben Verletzungen des Bandapparates finden sich oft Meniskusläsionen, nicht zuletzt, weil hauptsächlich Patienten in der 3. Lebensdekade, einer Phase hoher körperlicher und sportlicher Aktivität, betroffen sind (JACKSON, 1968; RUPP, 2002; WIRTH, 2005). Rotationstraumata bei fixiertem Unterschenkel und flektiertem Knie als indirekte Verletzungsmechanismen, bei Sportarten wie z.B. Fußballspielen oder Skifahren, sind die häufigste Ursache einer Meniskusverletzung (WIRTH, 1997; RUPP, 2002; WIRTH 2005). Wiederholte Mikrotraumatisierung bei kniebelastenden Tätigkeiten, wie z.B. Fliesenlegen oder häufige Hockstellung, führen auf lange Dauer zu degenerativen Rissbildungen der Menisken und betreffen meist das Innenmeniskushinterhorn (RUPP, 2002; WIRTH, 2005). Am häufigsten ist die Verletzung des medialen Meniskus (WIRTH, 1997; WIRTH, 2005).

Die Menisken passen sich der Femurgelenkfläche an und verbessern die tibiofemorale Stabilität, indem sie die Inkongruenz zwischen Femurkondyle und Tibiaplateau ausgleichen (WIRTH, 1997; RUPP, 2002; RIJK 2004). Die axiale Kompression führt zu einer zirkulären Spannung, die sich in den Meniskushalbringen verteilt (KLIMKIEWICZ, 2002; KUMMER 1994), wodurch die Lastübertragungszone verdreifacht wird (WAKLER, 1975; KUROSAWA, 1980). Wird das Kniegelenk gebeugt, gleiten die Menisken, durch ihre konkave Oberfläche, bei der Rollgleitbewegung des Femurkondylus nach dorsal (WIRTH, 1997; RUPP, 2002). Die Hinterhörner der Menisken bremsen die Femurkondylen bei der Kniegelenksbeugung ab und verhindern somit ein Überrollen der Kondylen. Die Vorderhörner haben dieselbe Funktion beim Strecken des Kniegelenks (WALKER, 1975; KLIEMKIEWICZ, 2002). Je mehr das Kniegelenk gebeugt wird, umso mehr Last wird auf die Menisken übertragen. 70% der Tragkraft des lateralen Kompartiments entfallen auf den Außenmeniskus, während 50% der Tragkraft des medialen Kompartiments vom Innenmeniskus übernommen werden (SEEDHOLM, 1979). Bei Rotationsbewegungen des Knies interagiert die flache Unterfläche der Menisken mit der Tibia. So können sich die beiden Menisken unabhängig voneinander in der Horizontalebene verschieben (WIRTH, 1997; RUPP, 2002).

Die Menisken tragen außerdem zur Stabilisierung des Kniegelenks bei und verbessern die Ernährung und Lubrifikation des Gelenkknorpels (KLIMKIEWICZ, 2002; RIJK 2004; ANDREWS, 2011). Auch bei der Propriozeption im Kniegelenk spielen sie eine wichtige Rolle (AL-DADAH, 2011; ANDREWS, 2011).

Der mediale Meniskus ist weitaus verletzungsanfälliger als der laterale. In der Tat ist der Innenmeniskus weniger beweglich als der Außenmeniskus, da er mit dem Ligamentum kollaterale tibiale und, über seine ganze Länge, mit der Gelenkkapsel fest verbunden ist. Zudem liegen seine tibialen Verankerungen im Knochen weiter auseinander. Der weniger straff fixierte Außenmeniskus ist flexibler und kann dem Femurkondylus besser folgen, was zu einer geringeren Verletzungsgefahr führt (RUPP, 2002; WIRTH, 2005). Nach Verlust der Meniskussubstanz wird die lastübertragende Oberfläche zwischen Femur und Tibia kleiner. Die Druckspannung auf den hyalinen Gelenkknorpel nimmt somit zu, was einen vermehrten Verschleiß des Gelenkknorpels mit sich führt (AHMED, 1983; BARATZ, 1986).

Ziel der Therapie nach Meniskusläsion ist es eine komplette Wiederherstellung der Beweglichkeit und Schmerzfreiheit zu erlangen; des weiteren soll die Entwicklung einer Früharthrose verhindert oder verzögert werden. Die konservative Therapie eines Meniskusrisses ist meist wenig erfolgreich (WIRTH, 1997; WIRTH, 2005). Nur traumatisch bedingte basisnahe, stabile Läsionen haben eine Chance zu heilen (FITZGIBBONS, 1995). Es handelt sich um eine symptomatische Therapie mithilfe von Medikamenten, wie der oralen oder perkutanen Anwendung von nichtsteroidalen Antiphlogistika, Infiltrationsanästhesie oder intraartikulären Injektionen. Andere Methoden sind die Kryo- oder Elektrotherapie und die Krankengymnastik (WEISS, 1989; WIRTH, 1997; WIRTH, 2005, SHIRAEV, 2012).

Seit 1866 galt die radikale offene totale Meniskektomie als Standardoperation bei Meniskusrissen (COVALL, 1992). Als totale Meniskektomie bezeichnet man die Entfernung des gesamten Meniskus mitsamt der vaskulären Randleiste bis zur synovialen Grenze oder aber die Unterbrechung des zirkulären Faserrings (WIRTH, 1997; RUPP, 2002; WIRTH, 2005). Mit Einführung der arthroskopischen Chirurgie des Kniegelenks in den 1960er Jahren, kam die Tendenz zur sparsameren partiellen oder subtotalen arthroskopischen Meniskektomie auf (GILLQUIST, 1982). Bei der subtotalen Meniskektomie wird mehr als 50 % des Meniskus entfernt, der zirkuläre Faserring bleibt jedoch intakt (WIRTH, 1997; WIRTH, 2005).

Als Indikation für eine Meniskektomie werden die symptomatische, nicht rekonstruierbare, Meniskusläsion und der symptomatische Scheibenmeniskus angesehen (WIRTH, 1997; WIRTH, 2005). Eine weitere Therapiemöglichkeit ist die Meniskusrekonstruktion mittels Naht. Die offene Meniskusrefixation wurde bereits 1885 von Annandale versuchsweise durchgeführt. Zur Routineoperation wurde die offene Meniskusnaht aber erst in den 80er Jahren (WIRTH, 1981; HAMBERG, 1983). Später folgte dann die arthroskopische Meniskusrefixation, 1976 erstmals durchgeführt von Ikeuchi (SEIL, 2009). Indikationen für eine Meniskusnaht sind komplette Longitudinalrisse, Instabilität des Risses, Lokalisation des Risses in der „Rot-roten-Zone“ (beide Rissflächen vaskularisiert) und das Fehlen einer sekundären Degeneration des Meniskus (WIRTH, 2005). Jüngeren Patienten wird in der Regel eher eine Meniskusrefixation angeboten. Peripher gelegene Risse haben eine bessere Heilungschance, da diese Region des Meniskus besser durchblutet ist (KING, 1936; COOPER, 1990; CANNON, 1992; RUBMAN, 1998; KLIMKIEWICZ, 2002; WIRTH, 2005; MAKRIS, 2011). Bei weiter zentral gelegenen Rissen, in der „Rot-weißen-Zone“ (nur eine Rissfläche vaskularisiert) und der „Weiß-weißen-Zone“ (keine der beiden Rissflächen vaskularisiert), kann die Vaskularisierung verbessert werden. Hierfür werden z.B. Fibringerinnsel (Fibrin clot) gebildet oder synoviale Gewebebrücken in die Risspalte eingenäht (WIRTH, 1997; KLIMKIEWICZ, 2002; RUPP, 2002).

Die totale und subtotale Meniskektomie führen in der Regel zur frühzeitigen Gonarthrose im betroffenen Kompartiment (FAIRBANK, 1948; KELLGREN, 1957; JACKSON, 1968; TAPPER, 1969; JOHNSON, 1974; KRAUSE, 1976; NOBLE, 1980; COVALL, 1992; ENGLUND, 2001; SCHELLER, 2001). Um die Arthroseentstehung zu verzögern gibt es verschiedene Therapieansätze (LÜTZNER, 2009; FEELEY, 2010; MICHEAL, 2010; CHOONG, 2011). Zu den konservativen Therapiemöglichkeiten gehören die Bewegungs- und Physiotherapie, die Schienung, die medikamentöse Therapie mit nicht-steroidalen Antirheumatika, sowie intraartikuläre Injektionen von Steroiden oder Hyaluronsäure. Arthroskopisch kann eine Gelenktoilette mit Entfernung von freien Gelenkkörpern und Osteophyten die Mechanik verbessern und die Entzündungsreaktion zeitweilig mindern. Bei fortgeschrittener unikompartimenteller Arthrose stehen die Umstellungsosteotomie sowie der teilweise Gelenkersatz zur Auswahl. Bei der valgusierenden oder varisierenden Umstellungsosteotomie wird die Beinachse vom arthrotischen auf das gesunde Kniegelenkskompartiment verlagert. Somit wird das erkrankte Kompartiment entlastet.

Die jüngsten operativen Therapieverfahren, seit den 1980er Jahren, sind der Meniskusersatz (MILACHOWSKI, 1989) und der Knorpelersatz (GOMOLL, 2011). Beide Verfahren werden in erster Linie bei jungen Patienten mit unikompartimentellen symptomatischen Früharthrosen durchgeführt. Das laterale Kniegelenkkompartiment ist hier besonders gefährdet (WIRTH, 1997; RUPP, 2002). Weitere Indikationen sind Verlust des vorderen Kreuzbandes mit zerstörtem Meniskus, um eine valgusierende Tibiakopfumstellung oder einen künstlichen Kniegelenkersatz hinauszuzögern (WIRTH, 1997). Allogene Meniskustransplantate werden hierfür am häufigsten genutzt (WIRTH, 1997; WIRTH, 2005). Im Endstadium der Gonarthrose hilft nur noch der Gelenkersatz mittels totaler Endoprothese. Bei frischen Meniskuläsionen ist die Röntgenuntersuchung unauffällig, wohingegen sich bei der degenerativen Meniskopathie, in Form einer Chondrokalzinose oder bei Langzeitkontrollen nach Meniskektomie reaktive knöcherne Veränderungen zu finden sind (WIRTH, 2005). Die Menisken selbst sind mit dem Magnetresonanztomographen (MRT) als bildgebendes Verfahren am besten zu beurteilen (SHIRAEV, 2012).

Bereits in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts wurde von KING (1936) und FAIRBANK (1948) erkannt, dass nach totaler oder subtotaler Meniskektomie röntgenologische Veränderungen des Kniegelenks im Sinne einer Arthrose auftreten. Daraufhin stellte sich die Frage nach einer Methode zur Früherkennung der Gonarthrose. Seit FAIRBANK 1948 einen röntgenologischen Arthrose-Score entwickelt hat (siehe Anhang S. 53), wird vor allem die anterior-posteriore (a.p.) Aufnahme des Kniegelenks zu Verlaufsbeobachtung nach Meniskektomie benutzt. Weitere sinnvolle Aufnahmen sind die laterale Kniegelenksaufnahme, die Patellatangentialaufnahme, die 45° p.-a.-Belastungsaufnahme, sowie die Schussaufnahme, auch Tunnelaufnahme genannt. 1957 entwickelten KELLGREN und LAWRENCE einen weiteren, noch heute oft genutzten, Arthrose-Score (siehe Anhang S. 53). Neuerdings verbreitet sich die Meinung, dass die lange genutzten, rein deskriptiven Arthrose-Scores schwer zu definierende Faktoren beinhalten und deswegen wenig objektiv sind (ROCKBORN 1995; HART 2002; SCHIPHOF 2008).

Die Früherkennung der Arthrose ist insbesondere im lateralen Kompartiment von entscheidender therapeutischer Bedeutung. Während die mediale Arthrose auch in fortgeschrittenen Stadien oft effizient mit einer valgusierenden Umstellungsosteotomie der proximalen Tibia behandelt werden kann, ist diese Option im lateralen Kompartiment beim jungen, sportlich aktiven Patienten mit normaler Beinachse deutlich eingeschränkter.

Die varisierende Umstellung, welche in den meisten Fällen am distalen Femur erfolgen muss, ist weniger erfolgreich als die valgisierende Tibiakopfumstellungsosteotomie, die bei der medialen Arthrose verwendet wird. Der Grund hierfür liegt in der biomechanischen Funktion der Osteotomie. Wird die Beinachse am Tibiakopf verändert, so verändern sich die intraartikulären Druckkräfte sowohl am gestreckten als auch am gebeugten Kniegelenk. Korrigiert man aber die Beinachse am distalen Femur, so werden die intraartikulären Druckkräfte nur am gestreckten Kniegelenk beeinflusst. In Kniebeugestellung werden sie nicht verändert, da man das distale Femur nicht gleichzeitig in der frontalen und der koronaren Ebene verändern kann.

Was den allogenen Meniskusersatz betrifft, so ist die Wirksamkeit dieses Verfahrens entscheidend vom Zeitpunkt der Ausführung abhängig – je früher sie erfolgt, umso besser sind die Ergebnisse hinsichtlich Schmerzreduktion und Funktionsverbesserung. Zudem sollte eine Meniskustransplantation nur in stabilen Kniegelenken, ohne Achsabweichung erfolgen. (PAPE, 2006). Der Verlaufsbeobachtung von jungen Patienten nach einem kompartimentschwächenden Ereignis wie z.B. einer partiellen, subtotalen oder totalen Meniskektomie kommt somit eine wichtige Rolle bei.

Röntgenscores wie jene nach Fairbank und Kellgren & Lawrence erlauben eine Bewertung des Arthrosegrades anhand verschiedener deskriptiver Parameter; während die Zuordnung in fortgeschrittenen Stadien wegen des Vorhandenseins manifester Arthrosezeichen (Osteophyten, Geröllzysten, subchondrale Sklerosierung) relativ zuverlässig erfolgen kann, ist dies in frühen Stadien schwierig. Insbesondere die Einflussgrösse „Gelenkspalthöhe“, die in beiden Scores vorkommt, ist unzureichend definiert.

## 2.1. Zielsetzung der Studie

Ziel dieser Untersuchung war es, einen reproduzierbaren, objektiven Röntgenscore zu entwickeln, der eine zuverlässigere Früherkennung der Arthrose im lateralen Gelenkspalt erlaubt und komplementär zu den etablierten Scores eingesetzt werden kann. Dies erforderte eine ausreichende intra- und interindividuelle Reliabilität der Messmethode. Mithilfe einer Kontrollgruppe sollte eine Normalverteilung ermittelt werden, zur Bestimmung eines Grenzwertes, um pathologische von normalen Gelenkspalthöhen unterscheiden zu können. Eine gute Korrelation zwischen dem neu entwickelten Score und schon etablierten Klassifikationen sollte zudem dessen Anwendbarkeit unterstützen.

Es wurde im Rahmen einer retrospektiven, multizentrischen Langzeituntersuchung (HULET et al, 2014) von Patienten mit Zustand nach lateraler Menishektomie die Gelegenheit ergriffen, von einer einmaligen Röntgenverlaufsserie von Kniegelenken zu profitieren, um diesen Score zu validieren.

### 3. Material und Methoden

#### 3.1. Beschreibung der Gruppen

	<b>Kontrollgruppe (K)</b>	<b>Menishektomie-Gruppe (ME)</b>
<b>Einschlusskriterien</b>	Keine Voroperation	Komplette/Partielle laterale Menishektomie
	Arthrosezeichen im lateralen Kompartiment bis Fairbank und Kellgren & Lawrence (s. Anhang S. 52) Grad 1	Langzeitstudie (Rx 15 - 25 Jahre nach M)
	Bagatellverletzung/Überanstrengung beim Sport	a.p.- und Schuss-Aufnahmen
	a.p.- und Schuss-Aufnahmen	
<b>Ausschlusskriterien</b>	Voroperiertes Knie	Rx < 15 Jahre nach lateraler Menishektomie
	Arthrosezeichen ab Fairbank und Kellgren & Lawrence Grad 2	

**Tab. 1:** Ein- und Ausschlusskriterien der Kontrollgruppe und der Menishektomie-Gruppe

## 3.2. Material

### 3.2.1. Röntgenaufnahmen

Als Kontrollgruppe standen Röntgenbilder von 120 klinisch unauffälligen Kniegelenken ohne Voroperation aus einem Zentrum (CHL – Clinique d’Eich, Luxembourg) zur Verfügung. Nach Auswertung anhand der Ein- und Ausschlusskriterien wurden 99 Kniegelenke zur Studie zurückbehalten, von 50 Männern und 38 Frauen. 52 rechte und 47 linke Kniegelenke standen zur Verfügung.



**Abb. 2:** a.p.- (links) und Schuss-Aufnahme (rechts) aus der Kontrollgruppe

Zur Bildung der Menishektomiegruppe lagen Röntgenaufnahmen (a.p. und Schuss) von 39 Kniegelenken nach partieller oder totaler lateraler Menishektomie aus 4 Zentren (Lyon, Caen, Versailles (Frankreich) und Genf (Schweiz)) vor. Nach Auswertung anhand der Ein- und Ausschlusskriterien wurden 36 Kniegelenke zur Studie zurückbehalten. Sie setzt sich aus 20 Männern und 16 Frauen zusammen; 20 rechte und 16 linke Kniegelenke standen zur Verfügung; 9 nach Totalresektion und 27 nach Teilresektion.



**Abb. 1:** a.p.- (links) und Schuss-Aufnahme (rechts) aus der Menishektomie-Gruppe

### 3.3. Methoden

#### 3.3.1. Vermessung der Röntgenbilder

Es gibt unterschiedliche röntgenologische Kriterien zur Beurteilung der Arthrose im Kniegelenk. Hierzu zählen Neubildungen am Knochen wie Osteophyten, Geröllzysten und die subchondrale Sklerosierung, die allesamt schwer zu objektivieren sind. Die Entrundung der Femurkondyle und die Minderung der Gelenkspalthöhe sind weitere morphologische Veränderungen des arthrotischen Kniegelenks, wobei erstere ebenfalls schwer zu objektivieren ist. Auf seitlichen Röntgenbildern ist kaum eine Differenzierung zwischen lateralem und medialem Femurkondylus möglich, während auf den a.p.-Bildern inzidenzbedingte Beurteilungsschwierigkeiten bestehen. Die Entwicklung einer *einfachen* Methode zur Beurteilung der Sphärizität der lateralen Femurkondyle scheint aus diesen Gründen nicht möglich. Die Höhe des Gelenkspalts bleibt demnach die am einfachsten objektivierbare Größe.

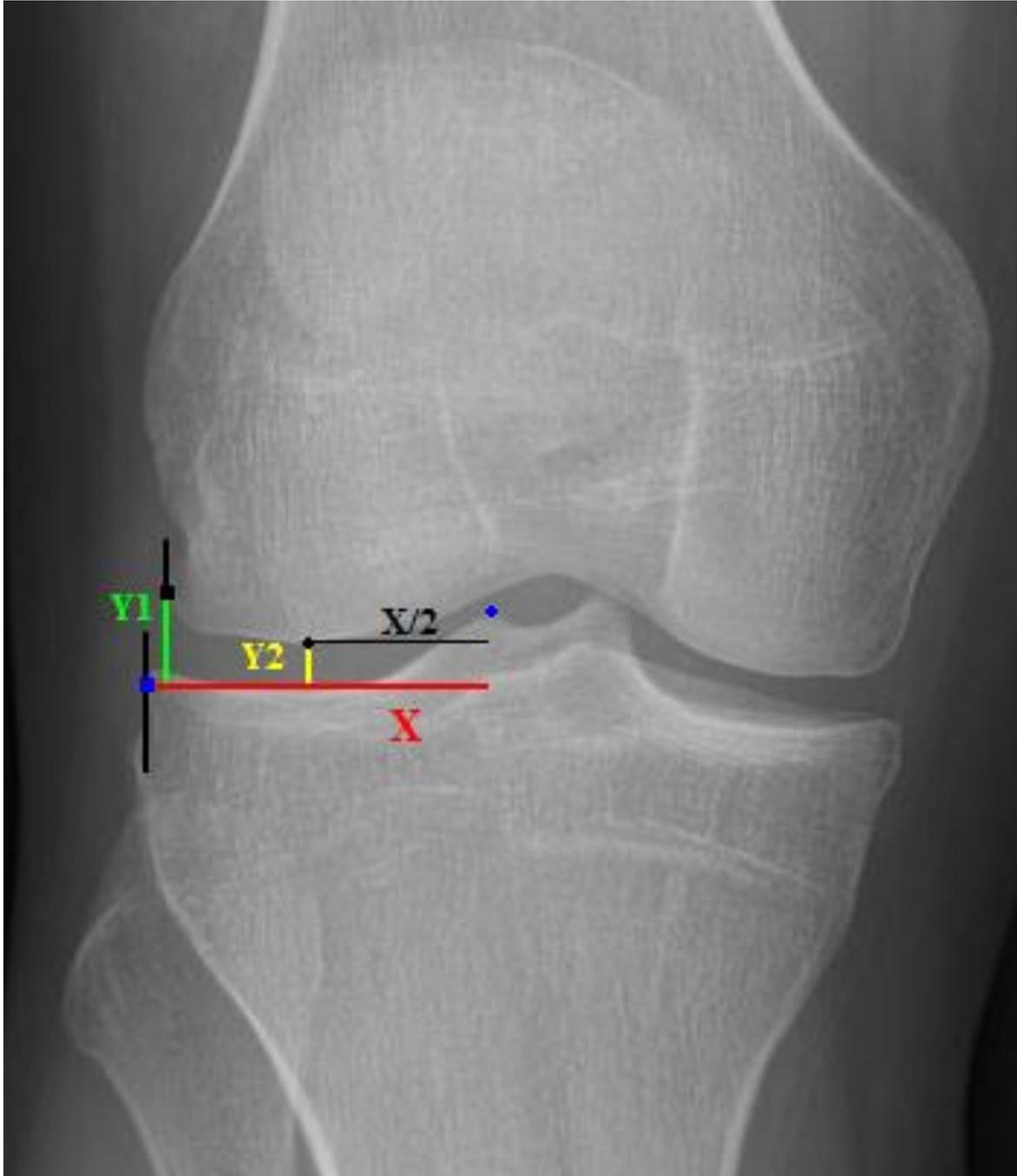
Um eine objektive und repräsentative Messmethode entwickeln zu können, mussten zunächst per Konvention Grenzen und Ausdehnung des lateralen Kniegelenkskompartiments mithilfe von knöchernen Landmarken (Tab. 2) und Messparametern (Tab. 3) definiert werden (Abb. 3). Die Digitalisierung der im Ausdruck vorgelegenen Röntgenbilder erfolgte mit einem speziellen hochauflösenden Röntgen-Scanner (Agfa Drystar 5300, Agfa Graphics Germany GmbH & Co. KG, Düsseldorf, Deutschland). Die Messungen wurden mithilfe der DatInf Measure<sup>®</sup> 1.0. -Software durchgeführt. (DatInf GmbH, Tübingen, Deutschland). Die kleinste Auflösung der Röntgenaufnahmen betrug 96 Pixel pro Zoll (dpi).

Landmarken	Definition
<i>Tibial</i>	
Lateraler Rand des Tibiaplateaus	Schnittstelle zwischen der senkrechten Tangente zum äußeren Rand des Tibiaplateaus und dessen Krümmung, blaues Quadrat
Spitze de Tuberculum intercondylare laterale	blauer Punkt
<i>Femoral</i>	
Lateraler Rand des Femurkondylus	Schnittstelle zwischen der senkrechten Tangente zum äußeren Rand der Femurkondyle und deren Krümmung, schwarzes Quadrat
Mitte des Femurkondylus	senkrechte Schnittstelle zwischen der hälftigen Breite des lateralen Kompartiments und der Femurkondyle, schwarzer Punkt

**Tab. 2:** Tibiale und femorale Landmarken

Messparameter	Definition
X	Breite des lateralen Kompartiments (rote Linie), gemessen vom lateralen Rand des Tibiaplateaus (blaues Quadrat) bis senkrecht unter die Spitze des Tuberculum intercondylare laterale, tangential zur tibialen Gelenkfläche. Bei vorhandenen Osteophyten wurden diese nicht mit einbezogen. X wurde von ihrem Ansatz aus gemessen.
X/2	hälftige Breite des lateralen Kompartiments
Y1	Höhe des lateralen Kompartiments, gemessen vom lateralen Rand der Femurkondyle (schwarzes Quadrat) senkrecht zu X
Y2	Höhe des lateralen Kompartiments, gemessen in der Mitte von X bis zur Femurkondyle (schwarzer Punkt)

**Tab. 3:** Messparameter



**Abb. 3:** Schematische Darstellung der Vermessung einer a.p.-Aufnahme mit Einzeichnung der knöchernen Landmarken und Messparameter wie in den Tabellen 2 und 3 beschrieben.

Für die a.p.- und Schuss-Aufnahmen wurden jeweils die Parameter Y1, Y2 und X bestimmt. Um eine Auswertung unabhängig von der Größe des Kniegelenkes und des Vergrößerungsfaktors des Röntgenbildes zu ermöglichen, wurden die Höhenparameter Y1 und Y2 ins Verhältnis zum Breitenparameter X des lateralen Kniegelenkskompartiments gesetzt.

Somit ergaben sich für jedes Knie 4 verschiedene Gelenkspaltquotienten, welche zur Vereinfachung mit den Buchstaben A bis D bezeichnet wurden:

Gelenkspaltquotient	a.p. (in Extension)	Schuss (in 45° Flexion)
A	$Y0^{\circ}1/X0^{\circ}$	
B	$Y0^{\circ}2/X0^{\circ}$	
C		$Y45^{\circ}1/X45^{\circ}$
D		$Y45^{\circ}2/X45^{\circ}$

**Tab 4:** Gelenkspaltquotienten

Die Messungen wurden dreimal von demselben Untersucher durchgeführt. Dies war ein wichtiger Vorgang, um die intraindividuelle Reliabilität berechnen zu können. Die Zeitspanne zwischen jeder der drei Messungen betrug einen Monat. Ein zweiter Untersucher führte dieselben Messungen einmal durch (siehe Tabellen im Anhang ab S. 54). Dies ermöglichte die Berechnung der interindividuellen Reliabilität.

### **3.3.2. Statistische Auswertung**

Die statistische Auswertung erfolgte mithilfe der SPSS Statistics-Software V.13 (IBM Corporation 2010, Somers, New-York).

### **3.3.3. Definierung eines Grenzwertes**

Damit der neu entwickelte Arthrose-Score auch Anwendung in der Früherkennung der Arthrose und somit in der Klinik findet, musste ein Grenzwert, ab dem man von Früharthrose sprechen kann, definiert werden. Die Hauptanforderung an diesen Grenzwert ist es, die arthrotischen Gelenkspalthöhen von den gesunden unterscheiden zu können.

In der Kontrollgruppe musste erst bestimmt werden, ob man bei gesunden Kniegelenken das Alter mit berücksichtigen muss. Hierfür wurde getestet, ob das Alter einen signifikanten Faktor in der Kontrollgruppe bei der Vermessung der Gelenkspalthöhe darstellt. Dies wurde mithilfe einer linearen Regression zwischen den Gelenkspaltquotienten A-D und dem Alter bei Röntgenaufnahme geprüft.

Zur Bestimmung des Grenzwertes wurden das 95%-Konfidenzintervall, der Mittelwert, sowie die Standardabweichung der Kontrollgruppe genutzt. Als Grenzwert ("cut-off") sollte eine Standardabweichung unterhalb des Mittelwertes der Kontrollgruppe dienen, unterhalb dieses Wertes wurde die Gelenkspalthöhe als arthrotisch und demnach pathologisch definiert.

### **3.3.4. Intra- und interindividuelle Reliabilität**

Zur Bestimmung der Messmethode mit der höchsten Reproduzierbarkeit wurden die intra- und interindividuelle Reliabilität für jeden der vier Gelenkspaltquotienten in beiden Gruppen getestet. Es wurde eine Intraklassenkorrelation der Messergebnisse beider Untersucher durchgeführt.

Für die intraindividuelle Reliabilität wurden die 3 Vermessungen des ersten Untersuchers miteinander korreliert. Für die interindividuelle Reliabilität wurde eine Korrelation zwischen den Mittelwerten der Messergebnisse des ersten Untersuchers mit den Messergebnissen des zweiten Untersuchers durchgeführt. Man erhielt somit den Intraklassenkoeffizienten (ICC 3,1) für jeden der vier Gelenkspalt-Quotienten, sowohl für die intra- als auch für die interindividuelle Reliabilität.

### **3.3.5. Vergleich zwischen Kontroll- und Menishektomiegruppe**

Anschließend musste getestet werden, welche Faktoren Einfluss auf den Gelenkspaltquotienten haben. Da in beiden Gruppen (K und ME) sowohl das Alter als auch das Geschlecht bekannt waren, wurden diese Faktoren in beiden Gruppen miteinander verglichen.

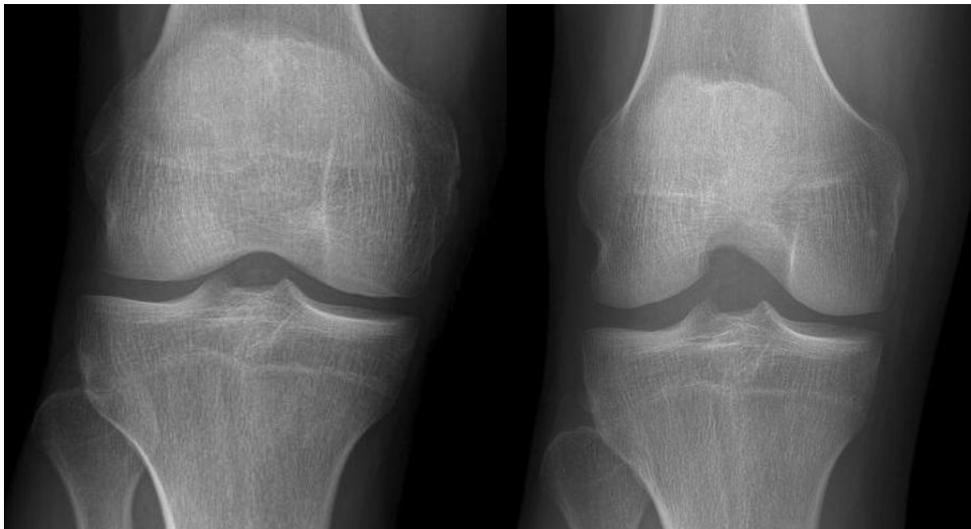
Um das Alter in beiden Gruppen zu vergleichen, wurde der T-Test für zwei unverbundene Stichproben angewandt. Dieser Test vergleicht die Mittelwerte des Alters zum Zeitpunkt der Röntgenaufnahme beider Gruppen (K und ME) miteinander.

Die Signifikanz des Geschlechts beider Gruppen wurde mit einem  $\chi^2$ -Homogenitätstest bestimmt, der hauptsächlich bei qualitativen Merkmalen eingesetzt wird.

Um die vier Gelenkspalt-Quotienten beider Gruppen untereinander zu vergleichen, wurde jeweils eine Kovarianzanalyse mit Berücksichtigung des Alters (One-Way – Analysis of covariance, ANCOVA controlled for age) in beiden Gruppen (K und ME) durchgeführt und somit auch das Bestimmtheitsmaß  $R^2$  für jeden Quotienten errechnet. Durch das Bestimmtheitsmaß (zwischen 0 = 0% und 1 = 100%) kann die Güte des Modells quantifiziert werden. Es entspricht dem Prozentanteil der Variation der Gelenkspalthöhe, die sich durch das statistische Modell erklären lässt.

### **3.3.6. Vergleich mit etablierten Röntgen-Scores**

Der Wert mit der höchsten intra- und interindividuellen Reliabilität sowie dem höchsten Bestimmtheitsmaß wurde mit den etablierten Röntgen-Scores nach Fairbank (siehe Anhang S. 50) und Kellgren & Lawrence (siehe Anhang S. 50) verglichen. Unser Score besteht aus kontinuierlichen Werten im Sinne einer Verhältnisskala, während es sich bei Fairbank und Kellgren & Lawrence um eine Ordinalskala handelt. In diesem Fall ist statistisch keine Pearson-Korrelation möglich; stattdessen wurde eine Spearman-Rho-Rangkorrelation durchgeführt.



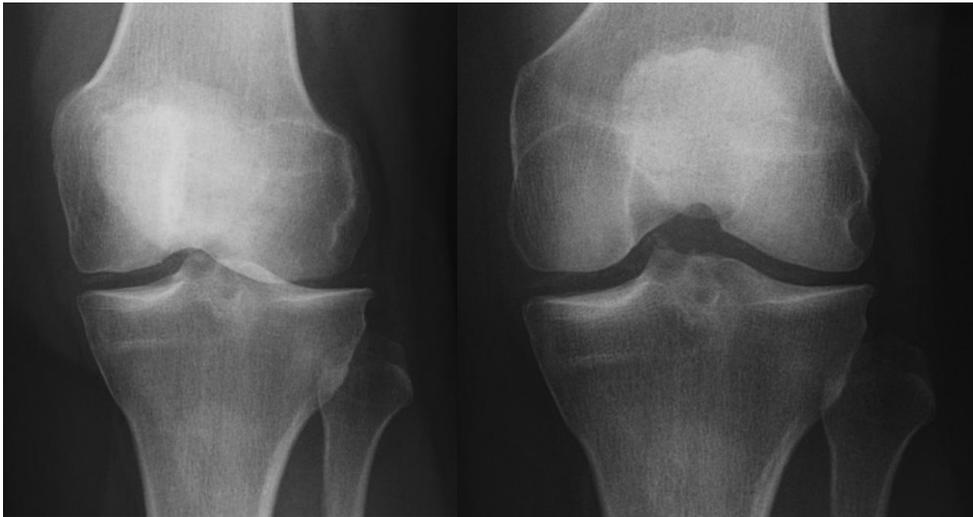
**Fairbank und  
K&L Grad 0**

(a.p. und  
Schuss)



**Fairbank und  
K&L Grad 1**

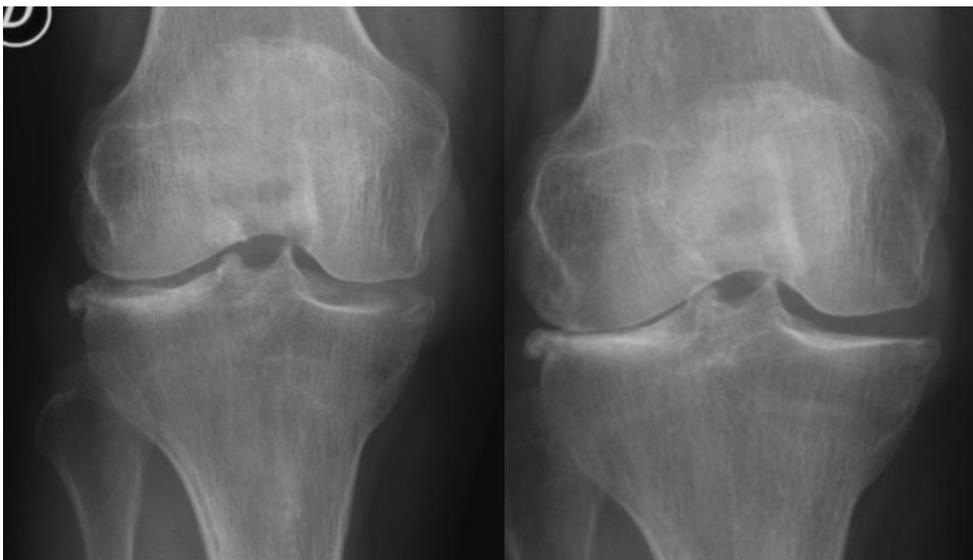
(a.p. und  
Schuss)



**Fairbank und  
K&L Grad 2**  
(a.p. und  
Schuss)



**Fairbank und  
K&L Grad 3**  
(a.p. und  
Schuss)



**Fairbank und  
K&L Grad 4**  
(a.p. und  
Schuss)

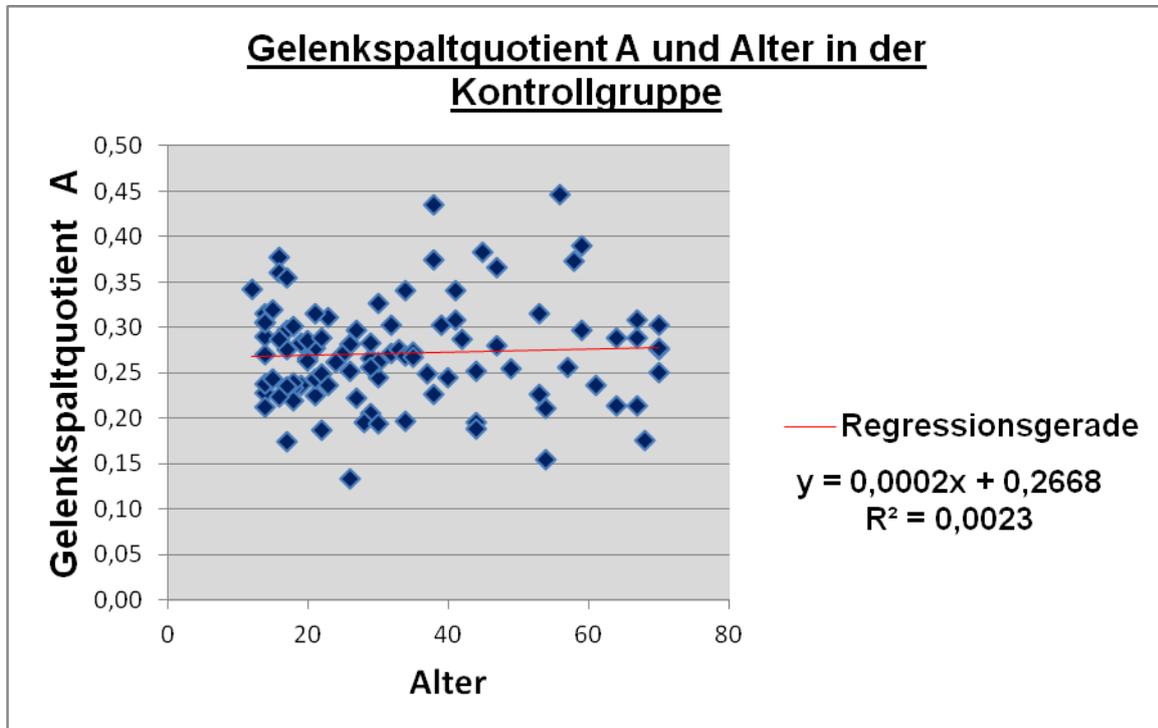
## 4. Ergebnisse

### 4.1. Normalverteilung und Grenzwerte

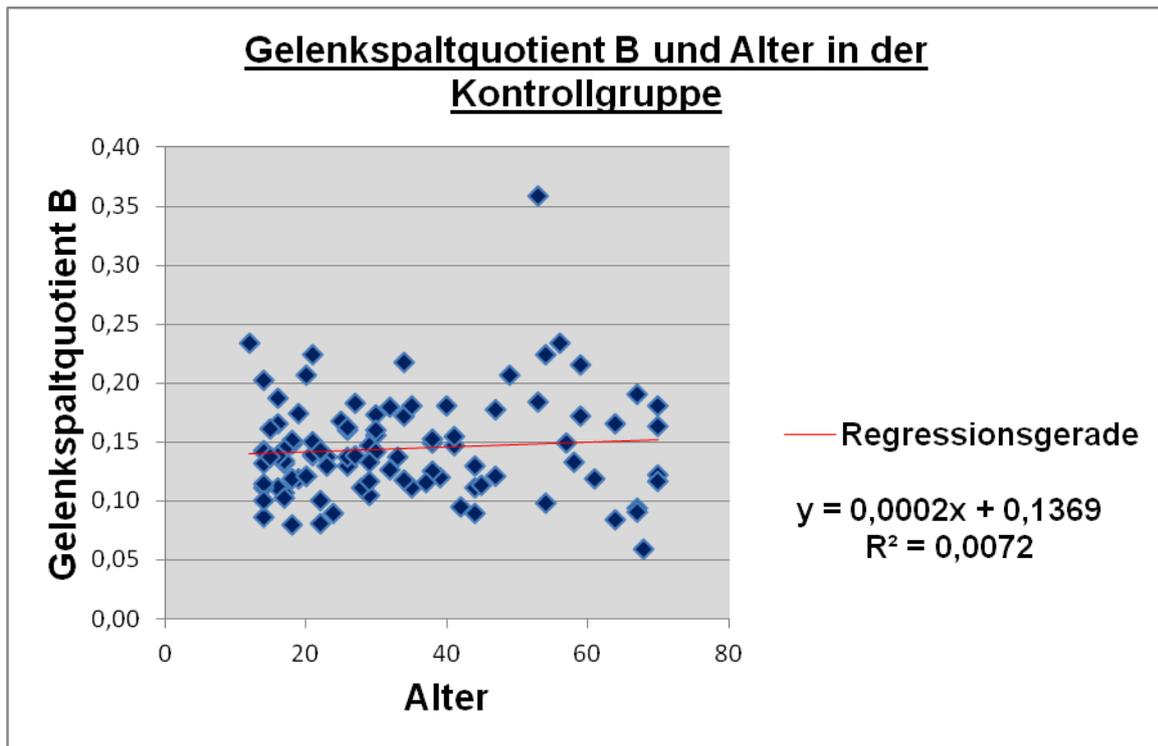
Quotient	Aufnahme	N	Mittelwert	Standardabweichung	95%-KI		Mittelwert – 1 Standardabweichung (Grenzwert)
					Untergrenze	Obergrenze	
<b>A</b>	a.p.	99	0,272	0,057	0,15	0,39	<b>0,22</b>
<b>B</b>	a.p.	99	0,144	0,043	0,06	0,22	<b>0,10</b>
<b>C</b>	Schuss	99	0,289	0,055	0,17	0,41	<b>0,23</b>
<b>D</b>	Schuss	99	0,190	0,046	0,10	0,29	<b>0,14</b>

**Tab. 4:** Mittelwert, Standardabweichung, 95%-Konfidenzintervall und Grenzwert der vier Gelenkspaltquotienten der Kontrollgruppe

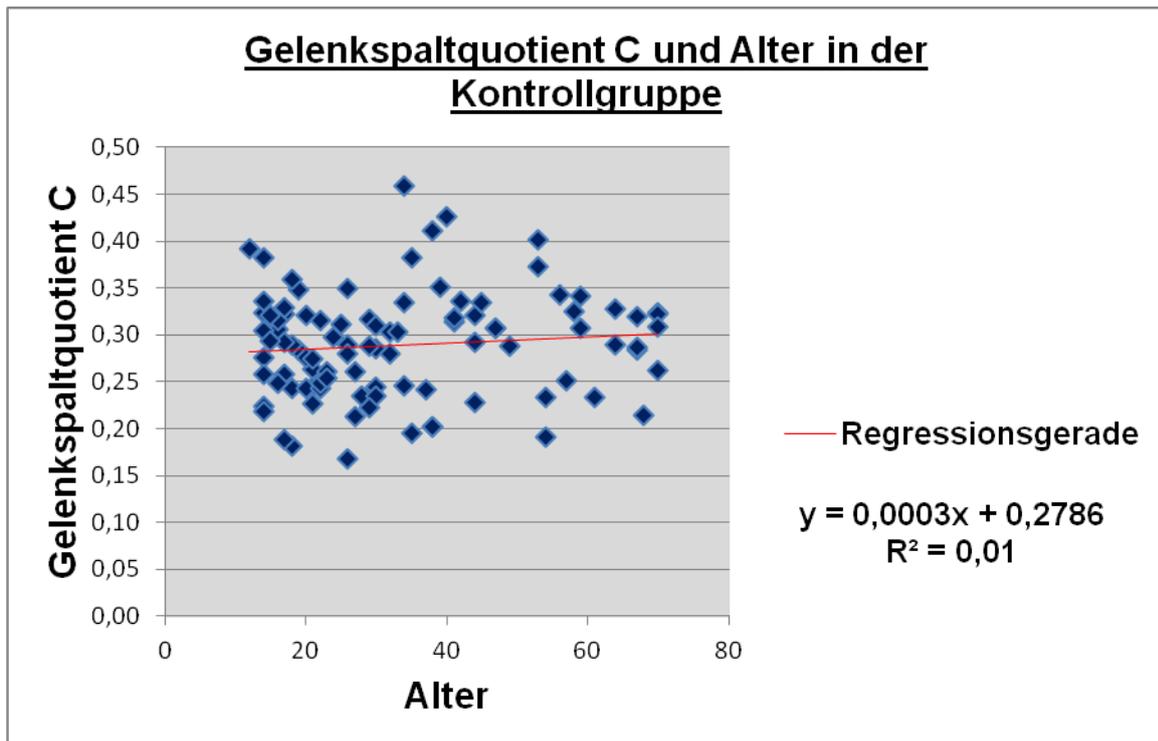
#### 4.2. Korrelation zwischen Gelenkspaltquotient und Alter in der Kontrollgruppe



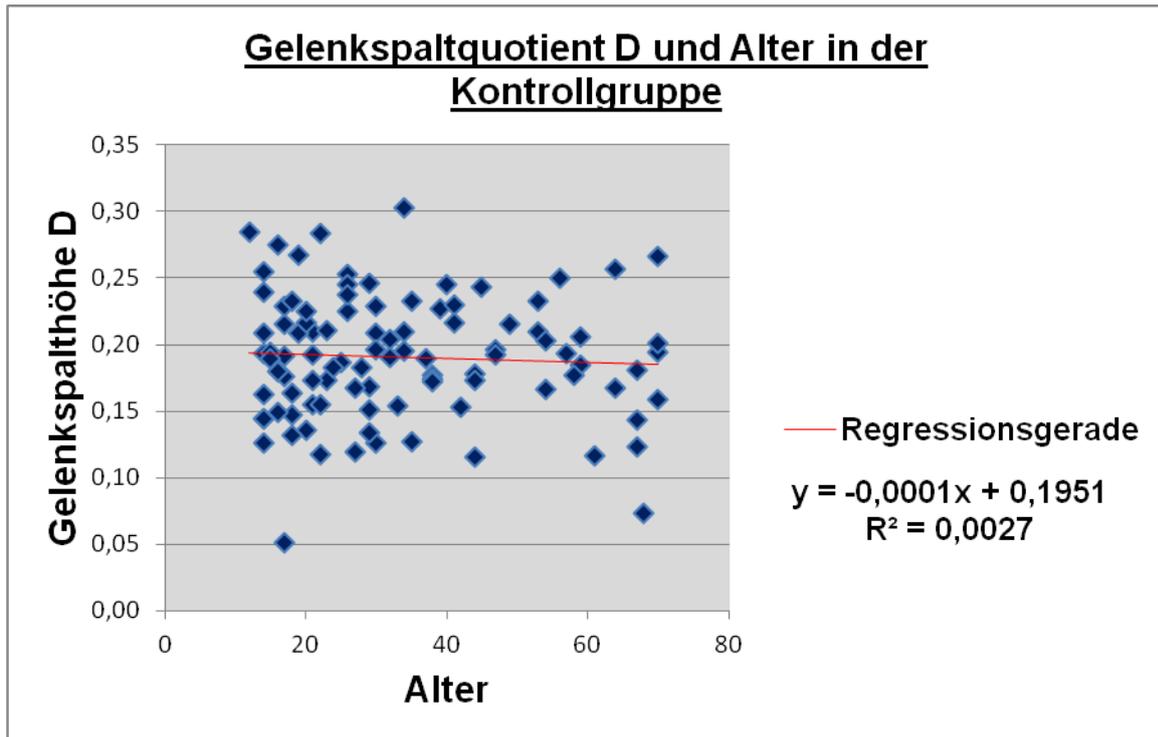
**Diagramm 1:** Lineare Regression zwischen Gelenkspaltquotient A und Alter in der Kontrollgruppe. Rote Linie = Regressionsgerade ( $y = 0,0002 x + 0,2668$ )



**Diagramm 2:** Lineare Regression zwischen Gelenkspaltquotient B und Alter in der Kontrollgruppe. Rote Line = Regressionsgerade ( $y = 0,0002 x + 0,1369$ )



**Diagramm 3:** Lineare Regression zwischen Gelenkspaltquotient C und Alter in der Kontrollgruppe. Rote Line = Regressionsgerade ( $y = 0,0003x + 0,2786$ )



**Diagramm 4:** Lineare Regression zwischen Gelenkspaltquotient D und Alter in der Kontrollgruppe. Rote Linie = Regressionsgerade ( $-0,0001x + 0,1951$ )

Die Diagramme 1 – 4 zeigen die Regression zwischen Gelenkspaltquotient A, B, C und D und dem Alter in der Kontrollgruppe. Allen vier Diagrammen ist zu entnehmen, dass die Regressiongeraden nicht signifikant unterschiedlich von null sind.

Der Mittelwert des Alters in K beträgt 33,576, die Standardabweichung 17,217. Das 95%-Konfidenzintervall des Alters in K liegt somit zwischen -0,169 und 100,896.

### 4.3. Präzision der Reproduzierbarkeit der verschiedenen Messmethoden

#### 4.3.1. Intraindividuelle Reliabilität

Tabellarische Zusammenfassung der Intraklassenkorrelation der drei Messungen eines Untersuchers, zur Bestimmung der intraindividuellen Reliabilität.

Zu entnehmen sind Mittelwert und Standardabweichung aus jeder der drei Messungen der beiden Gruppen (K und ME) sowie der Intraklassenkoeffizient ICC (3,1) und die Unter- und Obergrenze des Konfidenzintervalls.

Quotient	Aufnahme	N	Messungen			ICC (3,1)	95%-KI	
			1	2	3		Untergrenze	Obergrenze
A	a.p.	135	0.260 +/- 0.074	0.266 +/- 0.077	0.269 +/- 0.071	<b>0.796</b>	0.740	0.844
B	a.p.	135	0.130 +/- 0.052	0.133 +/- 0.052	0.130 +/- 0.052	<b>0.930</b>	0.907	0.947
C	Schuss	135	0.251 +/- 0.091	0.257 +/- 0.094	0.257 +/- 0.096	<b>0.951</b>	0.935	0.964
D	Schuss	135	0.159 +/- 0.069	0.163 +/- 0.072	0.164 +/- 0.073	<b>0.980</b>	0.973	0.986

**Tab. 5:** Messergebnisse der Intraklassenkorrelation beider Gruppen

Der Tabelle ist zu entnehmen, dass der Gelenkspaltquotient D den höchsten Intraklassenkoeffizienten ICC (3,1) hat (0.980), gefolgt von C (0.951) und B (0.930). Den niedrigsten ICC (3,1) hat der Gelenkspaltquotient A (0.796).

### 4.3.2. Interindividuelle Reliabilität

Tabellarische Zusammenfassung der Intraklassenkorrelation der Messwerte beider Untersucher zur Bestimmung der interindividuellen Reliabilität. Zu entnehmen sind Mittelwert und Standardabweichung aus den Messungen der beiden Gruppen (K und ME) von zwei Untersuchern sowie der Intraklassenkoeffizient ICC (3,1) und die Unter- und Obergrenze des Konfidenzintervalls.

Quotient	Aufnahme	N	Untersucher		ICC (3,1)	95%-KI	
			1	2		Untergrenze	Obergrenze
A	a.p.	135	0.266 +/- 0.069	0.273 +/- 0.075	<b>0.879</b>	0.832	0.913
B	a.p.	135	0.130 +/- 0.051	0.132 +/- 0.048	<b>0.922</b>	0.892	0.944
C	Schuss	135	0.256 +/- 0.092	0.269 +/- 0.094	<b>0.946</b>	0.902	0.968
D	Schuss	135	0.162 +/- 0.071	0.162 +/- 0.071	<b>0.982</b>	0.975	0.987

**Tab. 6:** Messergebnisse der Intraklassenkorrelation beider Untersucher.

Der Tabelle ist zu entnehmen, dass der Gelenkspaltquotient D den höchsten Intraklassenkoeffizienten ICC (3,1) hat (0.982), gefolgt von C (0.946) und B (0.922). Den niedrigsten ICC (3,1) hat A (0.879).

#### 4.4. Verleich des Alters bei Röntgenaufnahme beider Gruppen

Tabellarische Darstellung der Ergebnisse des T-Tests für zwei unverbundene Stichproben.

Gruppe	N	Mittelwert des Alters	T
K	99	33.58 +/- 17.217	-7.58; p < 0.001 *
ME	36	55.19 +/- 13.611	

**Tab. 7:** Mittelwert und Standardabweichung des Alters zum Zeitpunkt der Röntgenaufnahme, sowie der t-Wert (N = Anzahl der Patienten, \* = statistisch signifikanter Unterschied)

Der Tabelle ist zu entnehmen, dass es einen statistisch signifikanten Unterschied in beiden Gruppen bezüglich des Alters, auf einem Signifikanzniveau von 0.001, gibt (p < 0.001, t = -7.58).

#### 4.5. Signifikanz des Geschlechts in beiden Gruppen

Tabellarische Darstellung des  $\chi^2$ -Homogenitätstests, zur Bestimmung der Signifikanz des Geschlechts.

Geschlecht	Kontrolle	Meniskektomie	Total	Pearson Chi-Square
Männlich	55 (55.6 %)	20 (55.6 %)	75 (55.6 %)	$\chi^2 < 0.001$ ; p > 0.05 N.S.
Weiblich	44 (44.4 %)	16 (44.4 %)	60 (44.4 %)	
Total	99 (100 %)	36 (100 %)	135 (100 %)	

**Tab. 8:**  $\chi^2$ -Homogenitätstest, N.S. = kein statistisch signifikanter Unterschied

Hierbei ergab sich kein signifikanter Unterschied in beiden Gruppen (der Prozentanteil der männlichen und weiblichen Patienten ist in beiden Gruppen identisch; p = 1.000).

#### 4.6. Vergleich der Messergebnisse beider Gruppen

Da das Alter ein entscheidender Faktor ist (signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen), das Geschlecht aber nicht unterschiedlich ist, wurde eine Kovarianzanalyse unter Berücksichtigung des Alters beider Gruppen durchgeführt, in der das Alter als Co-Faktor kontrolliert wurde. Das Geschlecht musste nicht in die Berechnung mit einbezogen werden.

Quotient	Aufnahme	Kontrolle	Meniskektomie	Signifikanzniveau	F	Bestimmtheitsmaß (R <sup>2</sup> )
<b>A</b>	<b>a.p.</b>	0.272 +/- 0,057	0.248 +/- 0,093	0.207 <b>N.S.</b>	1.607	<b>0.011</b>
<b>B</b>	<b>a.p.</b>	0.144 +/- 0,043	0.094 +/- 0,054	p < 0.001 *	20.279	<b>0.180</b>
<b>C</b>	<b>Schuss</b>	0.290 +/- 0,056	0.162 +/- 0,107	p < 0.001 *	54.692	<b>0.375</b>
<b>D</b>	<b>Schuss</b>	0.190 +/- 0,046	0.080 +/- 0,067	p < 0.001 *	67.558	<b>0.466</b>

**Tab. 9:** Kovarianzanalyse mit Berücksichtigung des Alters (N.S. = kein statistisch signifikanter Unterschied, \* = statistisch signifikanter Unterschied)

Der Tabelle ist zu entnehmen, dass nur einer der vier untersuchten Gelenkspaltquotienten keinen statistisch signifikanten Unterschied aufweist (A), mit einem p-Wert von 0.207. Bei allen anderen ergab sich ein p-Wert unterhalb des Signifikanzniveaus von 0.001 und somit ein statistisch signifikanter Unterschied der Gelenkspaltquotienten zwischen K und ME.

#### 4.7. Bestimmung des Messbereichs

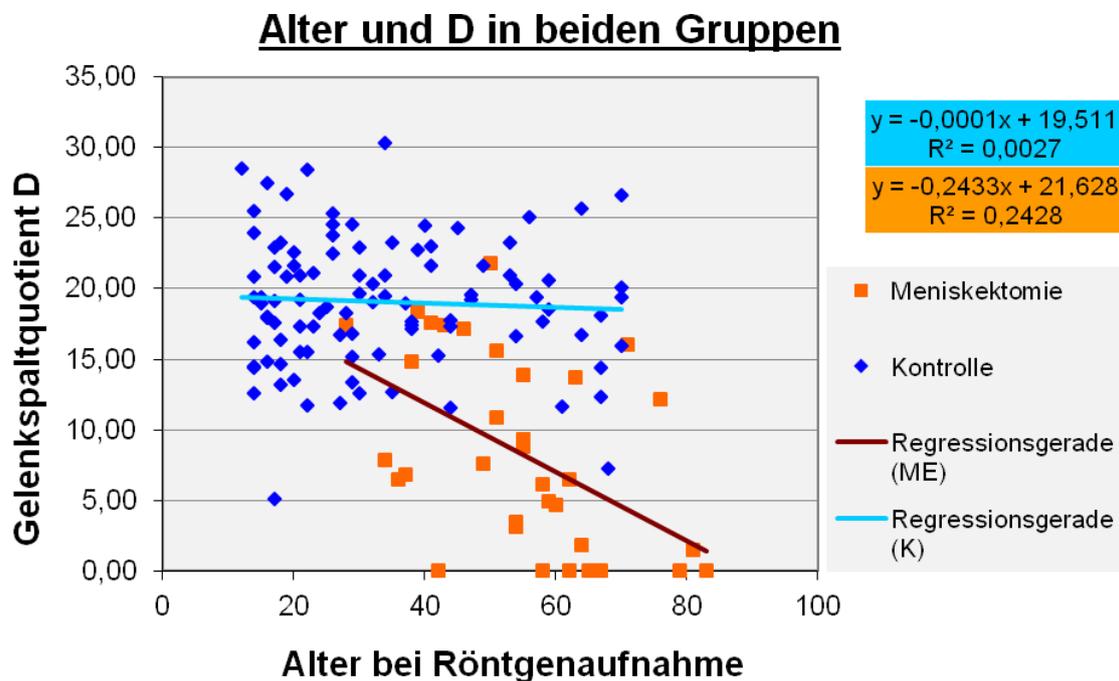
Tabellarische Darstellung des Mittelwertes, der Standardabweichung und des 95% Konfidenzintervalls (KI) des Gelenkspaltquotienten D der Kontrollgruppe:

	Mittelwert	Standardabweichung	95% -KI		Mittelwert – 1 Standardabweichung
			Untergrenze	Obergrenze	
<b>Kontrollgruppe Gelenkspaltquotient D</b>	0.19	0.05	0,10	0.29	<b>0,14</b>

**Tab. 10:** Mittelwert, Standardabweichung und der 95%-Konfidenzintervall der Kontrollgruppe für D.

Der Gelenkspaltquotient D hat die höchste intraindividuelle Reliabilität (0.980), die höchste interindividuelle Reliabilität (0.982) und das höchste Bestimmtheitsmaß (0.466). Als Grenzwert definierten wir daher, in der Kontrollgruppe, eine Standardabweichung unterhalb des Mittelwertes des Gelenkspaltquotienten D. Der Grenzwert des Scores wurde somit bei 0,14 festgelegt.

#### 4.8. Vergleich des Alters und des Gelenkspaltquotienten D in beiden Gruppen



**Diagramm 5:** Lineare Regression zwischen Alter und D, in Prozent ausgedrückt, der beiden Gruppen.

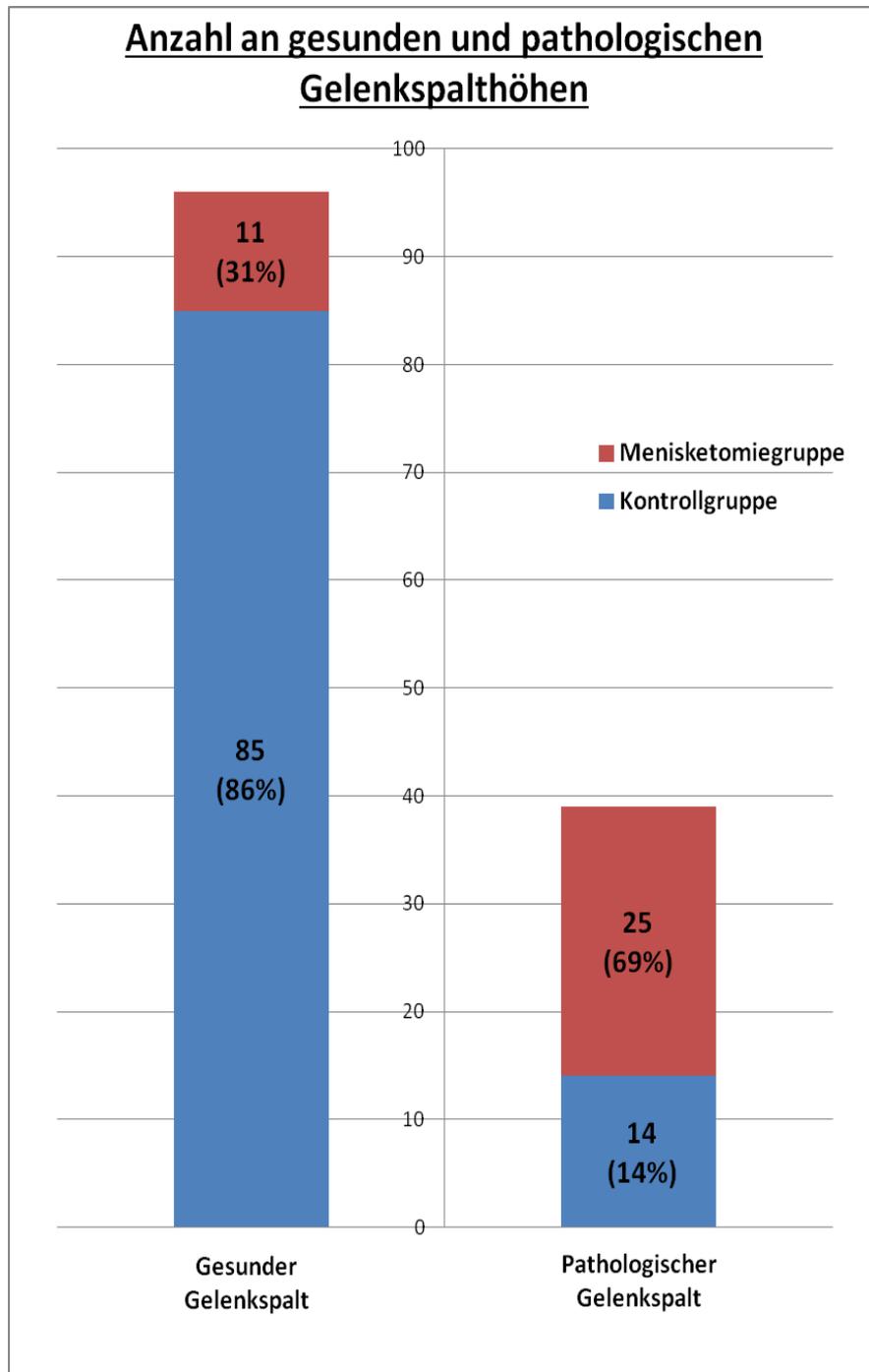
Blaue Linie = Regressionsgerade der Kontrollgruppe (Formel:  $y = -0,0001x + 19,511$ ) ; rote Linie = Regressionsgerade der Meniscektomiegruppe (Formel:  $y = -0,2433x + 21,628$ )

Das Diagramm 5 zeigt die Regression zwischen Alter und dem Gelenkspalt-Quotienten D in beiden Gruppen. Wie in Diagramm 4 schon gezeigt, ist die Steigung der Regressionsgerade der Kontrollgruppe nicht signifikant unterschiedlich von null (-0,0001). Der Mittelwert des Alters in K beträgt 33,58 Jahre (Minimum 12 Jahre, Maximum 70 Jahre), die Standardabweichung 17,22. Das 95% Konfidenzintervall liegt zwischen -0,17 und 100,09.

Die Steigung der Regressionsgeraden der Meniscektomiegruppe ist signifikant abweichend von null (-0,2433). Der Mittelwert des Alters in ME beträgt 55,20 Jahre (Minimum 28 Jahre, Maximum 83 Jahre) und die Standardabweichung 13,81. Das 95%-Konfidenzintervall des Alters in ME liegt zwischen 28,13 und 82,26 Jahren.

An der Gleichung der linearen Regression der Meniscektomiegruppe ( $y = -0,2433x + 21,682$ ) ist zudem abzulesen, dass die Gelenkspalthöhe nach Meniscektomie durchschnittlich pro Jahr um 1,11 % abnimmt; im Gegensatz zur Steigung der Regressionsgeraden der Kontrollgruppe (0,0001), laut der keine Änderung des Gelenkspalthöhe über die Zeitspanne von 58 Jahren zu beobachten ist.

#### 4.9. Anteil an gesundem und pathologischem Gelenkspaltquotienten D in beiden Gruppen



Dem Diagramm 6 ist zu entnehmen, dass in der Kontrollgruppe mehr gesunde als pathologische Gelenkspalthöhen zu finden sind (86% gesund, 14% pathologisch); wohingegen die Meniskektomiegruppe mehr pathologische Gelenkspalthöhen enthält (31% gesund, 69% pathologisch).

#### 4.10. Korrelation des Gelenkspaltquotienten D mit anderen etablierten Scores

Der Gelenkspaltquotient D hat die höchste intraindividuelle Reliabilität (0.980), die höchste interindividuelle Reliabilität (0.982) und das höchste Bestimmtheitsmaß (0.466). Da man sich von diesem Gelenkspalt-Quotienten die besten Werte erwartete, wurde er mit zwei etablierten Scores (Fairbank und Kellgren & Lawrence, siehe Anhang) mithilfe einer Spearman-Rho-Rangkorrelation verglichen.

Tabellarische Darstellung der Spearman-Rho-Rangkorrelationskoeffizienten der Messmethode D der Gruppe ME verglichen mit Fairbank und Kellgren & Lawrence:

Rangkorrelation	N	Spearman $\rho$ (Meniskektomie)	Signifikanzniveau
Fairbank und D	36	-0.759	$p < 0.001$ *
Kellgren & Lawrence und D	36	-0.712	$p < 0.001$ *

**Tab. 11:** Spearman-Rho-Rangkorrelation (N = Anzahl der Patienten, \* = statistisch signifikanter Unterschied; D =  $Y_{45^\circ}/X_{45^\circ}$ )

Der Tabelle 11 ist zu entnehmen, dass, in der Meniskektomiegruppe, eine negative Korrelation zwischen D und den beiden Scores Fairbank (-0,759) und Kellgren & Lawrence (-0,712) besteht und die Werte statistisch signifikant sind ( $p < 0,001$ ).

Patient (ME)	K & L	Fairbank	D				
1	3	3	0,05	19	3	3	0,02
2	2	2	0,17	20	2	3	0,14
3	3	3	0,15	21	0	0	0,18
4	0	0	0,18	22	2	2	0,14
5	1	1	0,17	23	3	3	0,09
6	0	0	0,22	24	1	1	0,16
7	4	4	0,00	25	3	3	0,05
8	3	3	0,16	26	4	4	0,00
9	3	3	0,03	27	3	3	0,07
10	4	4	0,00	28	2	3	0,03
11	3	3	0,09	29	3	3	0,06
12	3	3	0,06	30	3	3	0,08
13	2	2	0,09	31	3	3	0,08
14	0	0	0,17	32	4	4	0,00
15	3	3	0,02	33	4	4	0,12
16	4	4	0,00	34	3	3	0,00
17	2	3	0,07	35	3	3	0,00
18	3	3	0,11	36	3	3	0,00

**Tab. 12:** Einteilung der Meniskektomiegruppe in die 3 verschiedenen Scores (Kellgren & Lawrence- Fairbank- und D-Score)

	<b>K&amp;L Grad</b>	<b>Pathologischer D-Score (n=25)</b>	<b>Gesunder D-Score (n=11)</b>	<b>Total</b>
<i>gesunder K&amp;L</i>	0	0	4	4
	1	0	2	2
<i>pathologischer K&amp;L</i>	2	3	<b>3</b>	6
	3	16	<b>2</b>	18
	4	6	0	6
				36
	<b>Fairbank Grad</b>	<b>Pathologischer D-Score (n=25)</b>	<b>Gesunder D-Score (n=11)</b>	<b>Total</b>
<i>gesunder Fairbank</i>	0	0	4	4
	1	0	2	2
<i>pathologischer Fairbank</i>	2	1	<b>2</b>	3
	3	18	<b>3</b>	21
	4	6	0	6
				36

**Tabelle 13 und 14:** Vergleich der Anzahl an gesunden und pathologischen Werten bei Auswertung mit dem Kellgren & Lawrence-Score, dem Fairbank Score und dem D-Score. Kellgren & Lawrence und Fairbank sind per Definition pathologisch ab Werten größer oder gleich Grad 2. Der D-Score ist pathologisch ab Werten unter 0,14. (n= Anzahl an Patienten)

Die Tabellen 13 und 14 stellen den Anteil an gesunden und pathologischen Patienten in der Menispektomiegruppe dar, ausgewertet nach Kellgren & Lawrence, Fairbank und D (siehe Tab. 12, S. 38). Hierbei handelt es sich um dieselben Patienten, die nach den 3 verschiedenen Scores ausgewertet wurden (siehe Tab. 12). Die rot markierten Patienten wurden laut unserem D-Score als gesund gewertet, laut K&L und Fairbank sind sie hingegen pathologisch.

## 5. Diskussion

### 5.1. Material und Methoden

WILMES et al. (2007) bezeichneten den lateralen Rand des Tibiaplateaus, sowie die Spitze des Tuberculum intercondylare laterale als tibiale Landmarken, welche wir bei unseren Vermessungen anwendeten. Zusätzlich definierten wir femorale Landmarken, wie den lateralen Rand der Femurkondyle und die Mitte der Femurkondyle. Somit gelang es uns, die Gelenkspalthöhe an zwei unterschiedlichen Stellen des lateralen Kompartiments zu messen: die Höhe des lateralen Kompartiments gemessen vom lateralen Rand der Femurkondyle wird als Y1 bezeichnet, und gemessen in der hälftigen Breite des lateralen Kompartiments wird als Y2 bezeichnet. Die Messungen wurden mittels der DatInf Measure<sup>®</sup> 1.0 – Software (DatInf GmbH, Thübingen, Deutschland) durchgeführt. Hierbei fiel auf, dass die Gelenkspalthöhe bei Y1 schwieriger zu definieren war als bei Y2. Eine mögliche Erklärung hierfür könnten femorotibiale Rotationsunterschiede der Kniegelenke bei Röntgenaufnahme, sowie die Tatsache, dass in verschiedenen Zentren geröntgt wurde, sein. Eine kleine Differenz von Y1 in der Horizontalebene bewirkt einen großen Unterschied des Quotienten, dies macht Y1 weniger reproduzierbar. Die Längen Y1 und Y2 wurden jeweils in das Verhältnis zur Breite X des lateralen Kompartiments gesetzt. Für jedes Kniegelenk ergaben sich demnach vier einheitslose Gelenkspaltquotienten. Die anschließend durchgeführte statistische Auswertung sollte zeigen, welcher der vier Quotienten sich am besten als röntgenologischer Arthrose-Score für das laterale Kniegelenkskompartiment eignet.

Einige Autoren haben die Gelenkspalthöhe manuell am niedrigsten Punkt des Kompartiments gemessen (DERVIN, 2001; MAZZUCA, 2001; SZEBENYI, 2006). Die Gelenkspalthöhe wird auch häufig digital oder halbautomatisch bestimmt. (DACRE, 1991; BUCKLAND-WRIGHT, 1995; VIGNON, 2003; CONROZIER, 2004). Am häufigsten wurden a.p.- (DACRE, 1991; BUCKLAND-WRIGHT, 1995; MAZZUCA, 2001; SZEBENYI, 2006) oder Schuss-Aufnahmen verwendet (BUCKLAND-WRIGHT, 1995; CONROZIER, 2004). VIGNON et al. (2003) haben a.p.- und Schuss-Aufnahmen von 53 arthrotischen Kniegelenken, fluoroskopisch unterstützt, in Bezug auf den Gelenkspalt untersucht. Sie kamen zur Schlussfolgerung, dass die Schuss-Aufnahme die Reproduzierbarkeit der Ausmessung der Gelenkspalthöhe steigert.

Zu derselben Schlussfolgerung bezüglich des lateralen Kniegelenkskompartiments kamen DERVIN et al. (2001), allerdings ohne die Unterstützung der Fluoroskopie. Die fluoroskopisch unterstützte Schuss-Aufnahme ermöglicht es, die Ausrichtung des Tibiaplateaus zu optimieren und somit eine präzisere Auswertung zu erreichen.

Die Signifikanz des Alters in der Kontrollgruppe bestimmten wir mithilfe einer linearen Regression für die Gelenkspaltquotienten A, B, C und D. Als Grenzwert zwischen gesundem und arthrotischem Gelenkspalt wurde eine Standardabweichung unterhalb des Mittelwertes des Gelenkspaltquotienten ( $\mu - 1\sigma$ ) definiert.

Für jeden der vier Gelenkspaltquotienten der Gruppen K und ME wurden die intra- und interindividuelle Reliabilität getestet. Dies wurde mithilfe des Intraklassenkoeffizienten (ICC 3,1) für jeden der vier Quotienten errechnet. Um die Anwendbarkeit der vier Quotienten zu testen, wurden sie auf eine Gruppe von Kniegelenken nach lateraler Menishektomie angewendet, welche nach Auswertung anhand der etablierten Scores Fairbank und Kellgren & Lawrence (FAIRBANK, 1948; KELLGREN, 1957) Veränderungen zeigten. Das Alter bei der Röntgenaufnahme in beiden Gruppen wurde mithilfe eines T-Tests für zwei unverbundene Stichproben verglichen. Die Signifikanz des Geschlechts beider Gruppen wurde mit einem  $\chi^2$ -Homogenitätstest bestimmt. Anschließend wurde eine Kovarianzanalyse mit Berücksichtigung des Alters in den Gruppen K und ME durchgeführt und somit das Bestimmtheitsmaß  $R^2$  für jeden Quotienten errechnet. Der Gelenkspaltquotient mit der höchsten interindividuellen Reliabilität, sowie dem höchsten Bestimmtheitsmaß wurde mit etablierten Röntgen-Scores nach Fairbank und Kellgren & Lawrence verglichen. Hierfür wurde eine Spearman-Rho-Rangkorrelation durchgeführt.

## 5.2. Ergebnisse

Zuerst wurde getestet, ob bei der Bestimmung des Grenzwertes das Alter einen signifikanten Faktor darstellt. Zu diesem Zweck führten wir eine lineare Regression zwischen den Gelenkspaltquotienten A, B, C und D und dem Alter in der Gruppe K durch. Die Steigung der linearen Regression ergab für A und B jeweils 0,0002, für C 0,0003 und für D -0,0001. Da diese Werte statistisch nicht unterschiedlich von null sind und das 95%-Konfidenzintervall null enthält, wurde das Alter in der Kontrollgruppe als nicht signifikant gewertet.

Der Intraklassenkoeffizient, sowohl für die intra- als auch für die interindividuelle Reliabilität, war für den Gelenkspaltquotienten D (Messung der Gelenkspalthöhe in der Mitte des lateralen Kompartiments bei Schuss-Aufnahme) am höchsten. Der ICC(3,1) für die intraindividuelle Reliabilität betrug 0,980, der für die interindividuelle Reliabilität 0,975. REICHMANN et al. (2011) haben in einer Meta-Analyse 24 Studien zu Kniegelenkspaltmessung verglichen und ebenfalls hohe ICCs gefunden (ICC 0,91 – 0,99). Der Gelenkspalt-Quotient D schien somit am reproduzierbarsten zu sein. In der Tat war die Gelenkspalthöhe in der Mitte des lateralen Kompartiments (Y2) leichter zu bestimmen als die Höhe am lateralen Rand (Y1). Die Schuss-Aufnahme schien auch besser hierfür geeignet zu sein als die a.p.-Aufnahme. Die Arthrose ist in der Schuss-Aufnahme früher sichtbar, da bei Flexion mehr Last auf den Gelenkspalt und die Menisken übertragen wird (WALKER, 1975; KLIEMKIEWICZ, 2002). Die Überlegenheit von Kniegelenksaufnahmen in Flexion, wie die Schuss-Aufnahme, gegenüber der a.p.-Aufnahme in Bezug auf die Feststellung einer Gonarthrose, haben auch andere Autoren belegt (ROSENBERG, 1988; PIPERNO, 1998; WOLFE, 2002; MAZZUCA, 2004; BUCKLAND-WRIGHT, 2006; HELLIO LE GRAVERAND, 2006; MERLE-VINCENT, 2007; HELLIO LE GRAVERAND, 2008).

Bevor wir die zwei Gruppen K und ME miteinander vergleichen konnten, mussten wir die Signifikanz der potenziellen Einflussfaktoren Alter und Geschlecht beider Gruppen bestimmen, um diese Faktoren bei unserer Kovarianzanalyse berücksichtigen zu können.

Der T-Test für zwei unverbundene Stichproben ergab, dass das Alter in beiden Gruppen signifikant unterschiedlich war. Dies war auch schon am Mittelwert des Alters der Gruppe K (33,58) und ME (55,19) zu erkennen.

Dieser Altersunterschied lässt sich dadurch erklären, dass als Kontrollgruppe Aufnahmen von gesunden, nicht-voroperierten Kniegelenken aus dem Zentrum für Sportmedizin der Clinique d'Eich (Luxemburg) dienten. Hier ist das Durchschnittsalter oft niedriger als bei Patienten, bei denen bereits ein Eingriff am Kniegelenk vorgenommen wurde. Das Alter haben wir getestet, da es einen Faktor für die Entstehung einer Gonarthrose darstellt (ARDEN, 2006; CHATAIN, 2003; MICHEAL, 2010). Allerdings hatte das Alter in unserer Kontrollgruppe keinen statistisch signifikanten Einfluss auf die Gelenkspalthöhe.

Der  $\chi^2$ -Homogenitätstest zeigt, dass das Geschlecht in beiden Gruppen nicht signifikant unterschiedlich ist. Dies erkennt man auch an der Geschlechterverteilung in Prozent (55,6 % männlich und 44,4 % weiblich jeweils in beiden Gruppen). Das weibliche Geschlecht stellt ebenfalls einen Risikofaktor für die Ausbildung einer Gonarthrose dar, besonders nach Meniskektomie (TAPPER, 1969; JOHNSON, 1974; ENGLUND, 2004; NIGEL, 2006; MICHEAL, 2010; PEREIRA, 2011).

Die Kovarianzanalyse unter Berücksichtigung des Alters ergab einen signifikanten Unterschied in beiden Gruppen bei den Messmethoden B, C und D, bei einem Signifikanzniveau von 0,001. Lediglich A (Messung der Gelenkspalthöhe am lateralen Rand der Femurkondyle bei a.p.-Aufnahme) ergab keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen ( $p = 0,207$ ). Diese Messmethode konnte also nicht dazu dienen einen Unterschied zwischen einem gesunden und einem arthrotischen lateralen Kniegelenkskompartiment zu ermitteln. Von den drei anderen Messmethoden hatte D das höchste Bestimmtheitsmaß  $R^2$  (0,466). A, B und C hatten jeweils ein  $R^2$  von 0,011; 0,180 und 0,375. Der Gelenkspaltquotient D ermöglichte es also 46,6 % der Gesamtvariation durch die Variablen Alter und Gruppe zu erklären. Dieser statistischen Auswertung nach hat der Gelenkspaltquotient D also die höchste Reproduzierbarkeit sowie den höchsten Vorhersagewert. Allerdings bleiben 53,4 % der Gesamtvariation unerklärt. Es gibt also noch andere Faktoren, die die Gelenkspalthöhe beeinflussen, wie z.B. der Verlust des Meniskus und des Knorpels (ADAMS 1999). Von der Kontrollgruppe lagen uns nur die Faktoren Alter und Geschlecht vor.

Zur Bestimmung des Arthrosegrades von Kniegelenken werden in der Regel Röntgen-Scores benutzt, die die klassischen Merkmale der Arthrose, wie Osteophyten, subchondrale Sklerosierung, Geröllzysten und Gelenkspaltverschmälerung enthalten. Die zwei hierfür am häufigsten angewendeten röntgenologischen Scores sind Fairbank (FAIRBANK, 1948) und Kellgren & Lawrence (KELLGREN, 1957).

Fairbank hat 107 a.p.-Aufnahmen von Kniegelenken vor und 5 Monate nach Menishektomie miteinander verglichen. Hierbei fand er postoperativ folgende Veränderungen: ein knöcherner Kamm vom Rand des Femurkondylus ausgehend und über die Stelle des fehlenden Meniskus reichend, Abflachung der femoralen Gelenkfläche im menishektomierten Kompartiment sowie eine Gelenkspaltverschmälerung der operierten Seite. Ein Fairbank Grad 2 beschreibt die für die Arthrose typische subchondrale Sklerosierung und definiert den Beginn der Gonarthrose (FAIRBANK, 1948).

Kellgren und Lawrence haben 510 a.p.-Aufnahmen von 85 Patienten nach ihrem Score eingeteilt. Dies wurde von einem Untersucher dreimal und von zwei verschiedenen Untersuchern viermal durchgeführt. Der Korrelationskoeffizient für die intra- und interindividuelle Reliabilität lag bei 0,83. Osteophyten sind im K&L Hauptkriterium für die Arthrose. Ab einem K&L Grad 2, d.h. die sichere Ausbildung von Osteophyten, spricht man von Arthrose (KELLGREN, 1957).

Der K&L-Score wird bis heute als Goldstandard für die röntgenologische Arthrose-Einteilung angesehen und am häufigsten genutzt (BRANDT 1991; HART, 2002; NIGEL, 2006; SCHIPHOF, 2008; FELSON, 2011). Die Klassifizierung nach K&L wird aber immer öfter als nicht präzise genug bewertet, und viele Studien widersprechen einander bei deren Anwendung (SPECTOR, 1993; HART, 2002; SCHIPHOF, 2008; FELSON, 2011). So soll bei diesem Score zu viel Wert auf die Ausbildung von Osteophyten und weniger auf die Gelenkspaltverschmälerung geachtet werden. Ein K&L Grad 2 charakterisiert den Beginn der Arthrose und ist definiert als sichere Osteophytenbildung, der Gelenkspalt kann zusätzlich auch verschmälert sein, dies ist aber nicht obligat. Da die Größe der Osteophyten mit der Rotation der Röntgenaufnahme variieren kann, ist dieser Marker als einziger Grenzparameter für die Arthrose schwierig anzuwenden (BUCKLAND-WRIGHT, 2006; FELSON, 2011). Zudem ist mit dem K&L die Progression der Arthrose schwierig zu verfolgen, da ein K&L Grad 3 nur die definitive Gelenkspaltverschmälerung beschreibt, nicht aber deren Ausmaß (SPECTOR, 1993; HART, 2002; SCHIPHOF, 2008; FELSON, 2011).

Die Tendenz zur präferenziellen Bestimmung der Gelenkspalthöhe als Arthroseparameter steigt (EMRANI, 2008).

Wir haben den Quotienten D mit schon lange etablierten Scores verglichen, um dessen Aussagekraft in Bezug auf den Arthrosegrad zu bestimmen. Hierfür wurde jeweils eine Spearman- $\rho$ -Rangkorrelation zwischen dem Gelenkspaltquotienten D und dem Fairbank-Score sowie dem K&L-Score für die Gruppe ME durchgeführt. Beide Korrelationen ergaben ein signifikantes Ergebnis mit  $p < 0,001$ . Der Rangkorrelationskoeffizient beträgt  $-0,759$  für D und Fairbank, sowie  $-0,712$  für D und K&L. Es besteht also eine negative Korrelation zwischen den etablierten Scores und der von uns gemessenen Gelenkspalthöhe. Ein hoher Fairbank- oder K&L-Wert ist gleich zu setzen mit einem fortgeschrittenerem Arthrosegrad (FAIBANK, 1948; KELLREN, 1957). Die Knorpelsubstanz nimmt laut der Definition der Arthrose mit dem steigenden Arthrosegrad ab und somit auch die Gelenkspalthöhe (ALTMAN, 2007; GOSSEC, 2008; ORNETTI, 2009, FELSON, 2011). Dies haben wir mithilfe unseres Gelenkspaltquotienten D ebenfalls nachweisen können.

Damit der neu entwickelte Arthrose-Score auch Anwendung in der Früherkennung der Arthrose und somit in der Klinik finden kann, musste ein Grenzwert, ab dem man von Früharthrose sprechen kann, definiert werden. Die Hauptanforderung an diesen Grenzwert ist es, die arthrotischen Gelenkspalthöhen von den gesunden unterscheiden zu können. Als Grenzwert eigneten sich am besten eine Standardabweichung unterhalb des Mittelwertes des Gelenkspaltquotienten der Kontrollgruppe A, B, C und D.

Die intra- und interindividuelle Reliabilität in beiden Gruppen des Gelenkspaltquotienten D (0,98 respektive 0,982) sowie dessen Bestimmtheitsmaß  $R^2$  (0,466) ergaben die höchsten Werte. Deshalb wählten wir als Grenzwert eine Standardabweichung unterhalb des Mittelwertes des Gelenkspaltquotienten D. Dieser Wert betrug 0,14. Als Grenzwert wird also ein Gelenkspaltquotient von 0,14 unabhängig vom Alter des Patienten vorgeschlagen. Er entspricht einer Gelenkspalthöhe, die nicht mehr zu der gesunden Population gehört. Der Wert 0,14 ist dimensionslos und beschreibt die Gelenkspalthöhe in der Mitte des lateralen Kniegelenkskompartiments in Relation zur Breite des lateralen Kompartiments. Er kann, unabhängig vom Alter des Patienten und, da dimensionslos, auch unabhängig von der Vergrößerung des Röntgenbildes, bei Schuss-Aufnahmen angewendet werden. Es sollte eine Mindestauflösung von 96 Pixel pro Zoll (dpi) vorliegen.

Die Regressionsanalyse ergab, dass das Alter, im Gegensatz zur Kontrollgruppe, in der Menishektomie-Gruppe einen statistisch signifikanten Faktor ( $p < 0,05$ ) darstellt.

Dem Diagramm 5, das die lineare Regression zwischen Alter und D darstellt sowie der dazugehörigen Gleichung ist zu entnehmen, dass X statistisch nicht von null unterscheidbar ( $-0,0001$ ) und das Bestimmtheitsmaß sehr klein ist ( $R^2 = 0,0027$ ). Das Alter in der Kontrollgruppe stellt daher keinen statistisch signifikanten Faktor dar. Somit muss bei der Bestimmung des Grenzwertes das Alter nicht berücksichtigt werden. Als Grenzwert für eine arthrotische Gelenkspalthöhe kann demnach eine Standardabweichung unterhalb des Mittelwertes vom Gelenkspaltquotienten D (0,14) definiert werden. Ab einem Wert von 0,14 ist die Gelenkspalthöhe als arthrotisch einzuteilen.

Das Alter in der Meniscektomie-Gruppe ist ein statistisch signifikanter Faktor ( $p < 0,05$ ) und  $R^2 = 0,24$ . In Diagramm 5 zeigt die Steigung der Regressionsgeraden der Meniscektomie-Gruppe, dass die Gelenkspalthöhe nach Meniscektomie pro Jahr um 1,11 % abnimmt. Nach zehn Jahren ist der Gelenkspalt des lateralen Kompartiments demnach um 11,11 % kleiner geworden. Die Tatsache, dass die Gelenkspalthöhe nach Meniscektomie mit Zunahme des Alters stetig abnimmt, illustriert ein weiteres Mal, dass das Alter ein relevanter Einflussfaktor auf die Gelenkspalthöhe nach Meniscektomie ist; im Gegensatz zur Kontrollgruppe bei der die Steigung der Regressionsgerade nicht abnimmt und somit auch nicht die Gelenkspalthöhe. CICUTTINI et al (2005) haben in bei 86 asymptomatischen Patienten das Knorpelvolumen im medialen und lateralen Kniegelenkspalt mittels MRT-Aufnahme gemessen. Sie fanden eine jährliche Abnahme des tibialen Knorpelvolumens von 2,5% bei Patienten mit Knorpelschaden und eine jährliche Abnahme von 1,3% bei Patienten ohne Knorpelschaden (CICUTTINI, 2005). Auf MRT-Aufnahmen scheint es demnach auch bei nicht vorgeschädigtem Kniegelenk zu einer Abnahme des Knorpelvolumens zu kommen, was in unseren Röntgenaufnahmen nicht zu erkennen war. Bei einer radiologischen Gelenkspalthöhe handelt es sich um eine indirekte Messung des Knorpelvolumens, wohingegen das MRT eine direkte und somit genauere Visualisierung des Knorpels ermöglicht. CICUTTINI et al (2003) haben außerdem eine statistisch signifikante negative Korrelation zwischen dem tibialen Knorpelvolumen in MRT-Aufnahmen und der röntgenologischen Gelenkspaltverschmälerung auf a.p.-Aufnahmen festgestellt und, in einer weiteren Studie, eine positive Assoziation zwischen dem tibialen Knorpelvolumen und der Knochendichte. (CICUTTINI, 2003; CICUTTINI, 2004). In einer anderen Arbeit haben CICUTTINI et al (2005) einen moderaten Korrelation (0,68) zwischen femoralem und tibialem Knorpelvolumen in MRT-Aufnahmen und der kleinsten Gelenkspalthöhe auf a.p.-Aufnahmen erkennen können.

Allerdings ergab sich hierbei keine Korrelation (0,08) beider Parameter über einen zeitlichen Verlauf von 2 Jahren betrachtet (CICUTTINI, 2005). WLUKA et al (2005) haben bei 147 Frauen MRT- und a.p.-Röntgenaufnahmen durchgeführt und einen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen der röntgenologischen Gelenkspalthöhe und der, mittels MRT gemessenen, Tibiaplateauoberfläche in beiden Kompartimenten des Kniegelenkes gefunden. Frauen mit bekannter Gonarthrose hatten ein breiteres Tibiaplateau als die gesunde Kontrollgruppe. Im lateralen Kompartiment fanden sie zudem eine gleichzeitige Zunahme der Tibiaplateauoberfläche und des Osteophytengrades (WLUKA, 2005). DING et al (2005) fanden bei 372 männlichen und weiblichen Patienten mittels MRT, dass die altersabhängigen Hauptveränderungen des Kniegelenkes eine Zunahme der Knochengröße, des Knorpelschadens und eine Abnahme der Knorpeldicke darstellen (DING, 2005). In unserem Score wurde, mittels des Messparameters X, die Breite des lateralen Kniegelenkskompartimentes mit einbezogen. Osteophyten wurden hierbei nicht berücksichtigt, da mithilfe von X auch die Hälfte des lateralen Kompartimentes errechnet wurde. Hätten wir die Osteophyten mit gemessen, wäre bei der Meniskektomiegruppe Y2 nicht immer in der Mitte des Kompartimentes gemessen worden. Da es unser Ziel war einen reproduzierbaren Score zu entwickeln, der nicht von individuellen Besonderheiten, wie z.B. Osteophyten, beeinträchtigt wird, wurde nur die ursprüngliche Breite des lateralen Kompartimentes gemessen. Bei Miteinbeziehen der Osteophyten wäre vermutlich die Abnahme des Gelenkspaltquotienten mit dem steigenden Arthrosegrad höher gewesen, da X dadurch breiter wäre. Folglich hätten sich womöglich mehr pathologische Gelenkspaltquotienten in der Meniskektomiegruppe ergeben, jedoch mit einem anderen Wert für Y2, da dieser nicht mehr an der gleichen Stelle gemessen worden wäre.

Dem Diagramm 6 kann man entnehmen, dass der Anteil an gesunden Gelenkspaltquotienten D in der Kontrollgruppe 86% (85 Patienten) und an pathologischen Werten 14% (14 Patienten) beträgt. In der Meniskektomiegruppe beträgt der prozentuale Anteil an gesunden Gelenkspaltquotienten D 31% (11 Patienten) und an pathologischen Werten 69% (25 Patienten). Laut K&L und Fairbank haben jeweils 17% (6 Patienten) einen pathologischen - und 83% (30 Patienten) einen gesunden lateralen Kniegelenksspalt. Der relativ hohe Anteil an gesunden Gelenkspalthöhen ist vermutlich dadurch bedingt, dass totale und partielle Meniskektomien in dieser Gruppe enthalten sind. Insgesamt waren 9 Totalresektionen (davon 2 gesund) und 27 Teilresektionen (davon 9 gesund) in der Meniskektomiegruppe enthalten.

Nach einer partiellen Meniskektomie ist meistens noch eine Dämpfungsfunktion des Restmeniskus zu erwarten, da die periphere Randleiste noch intakt ist (KOHN, 1993).

Eine totale Meniskektomie bringt hingegen die Unterbrechung des zirkulären Faserrings und einen Verlust der Dämpfungsfunktion mit sich. Nach totaler Meniskektomie ist mit einem höheren Arthroserisiko und somit auch einer kleineren Gelenkspalthöhe zu rechnen (PAPALIA, 2011).

Die Tabellen 12, 13 und 14 vergleichen den Anteil an als gesund und pathologisch eingeteilten Kniegelenken der 3 Scores. Unser Score hat 16,67 % Kniegelenke als gesund eingestuft, die laut K&L und Fairbank hingegen pathologisch sind. Die Kniegelenke, die laut K&L und Fairbank als gesund erfasst wurden, hat der D-Score ebenfalls als gesund gewertet. Insgesamt waren laut unseren Messungen 25 von den 36 meniskektomierten Kniegelenken pathologisch, also 69%. Laut K&L und Fairbank waren 30 von den 36 Kniegelenken pathologisch, also 83%. Unsere Ergebnisse stimmen demnach nicht genau mit denen von K&L und Fairbank überein. Dies könnte daran liegen, dass es sich um zwei unterschiedliche Skalen handelt. K&L und Fairbank sind Ordinalskalen, mit nur 4 Stufen, und unser Score stellt eine Verhältnisskala dar, die kontinuierliche Werte enthält. Bei kontinuierlichen messbaren Werten könnte man womöglich feinere Modifikationen feststellen, die mithilfe von deskriptiven Veränderungen, wie z.B. der Ausbildung von Osteophyten, schwieriger zu erfassen sind. Dies könnte eine Erklärung dafür bieten, weshalb wir mit unserem Score unterschiedliche Anteile an gesunden und pathologischen Kniegelenken in der Meniskektomiegruppe erfasst haben, als mit den beiden etablierten Scores.

Mit unserem D-Score wäre man in der Lage die Progression der Arthroseausbildung zu verfolgen, da es sich um eine kontinuierliche Skala handelt. Im Gegensatz zum K&L-Score, der nicht zur Beobachtung des Arthroseverlaufs benutzt werden sollte, da er keine lineare Progression aufweist (HUNTER, 2009), wäre der D-Score bestens hierzu geeignet, konnten wir doch nachweisen, dass es nach arthroskopischer (Teil-)Meniskektomie zu einer jährlichen Verminderung des Gelenkspaltes von 1,11 % kommt.

### 5.3. Anwendbarkeit

Es handelte sich um eine retrospektive Studie mit einem Patientenkollektiv nach lateraler Menishektomie von 36 Patienten. Die laterale Menishektomie wird deutlich seltener durchgeführt als die mediale. Dies macht es schwierig, eine große Anzahl an Patienten zusammenzutragen. Eine prospektive Studie mit einer größeren Patientenzahl würde voraussichtlich präzisere Ergebnisse liefern.

Die Röntgenaufnahmen wurden, da sie in unterschiedlichen Zentren durchgeführt wurden, von verschiedenen Radiologen durchgeführt. Zudem bestanden femorotibiale Rotationsunterschiede zwischen einigen Kniegelenken. Wenn die Röntgenaufnahmen standardisiert werden könnten, könnte es möglich sein, die Rotationsunterschiede besser zu kontrollieren. Möglicherweise würde dies die Messungen erleichtern und somit die Ergebnisse ebenfalls präziser machen.

Laut dem Bestimmtheitsmaß  $R^2$  (0,466) wurden durch die Gruppe (K oder ME) und das Alter 46,6% der Variation der Gelenkspalthöhe erklärt. In weiteren Studien könnte man andere Faktoren, wie z.B. die Beinachse oder das Gewicht mit einbeziehen. Beide Informationen standen von den Patientengruppen nicht zur Verfügung.

Der neu entwickelte Score könnte von großem Nutzen sein durch seine quantitative Bestimmung, seine hohe Reproduzierbarkeit und seine gute Korrelation mit den etablierten Scores.

## **6. Schlussfolgerung**

Unser Ziel war es, einen reproduzierbaren, objektiven Röntgenscore für das laterale Kniegelenkskompartiment zu entwickeln, der eine zuverlässige Früherkennung der Arthrose erlaubt. Er sollte komplementär zu den schon etablierten Röntgenscores eingesetzt werden. Es ist uns gelungen, einen Röntgenscore mit einer hohen inter- und intraindividuellen Reproduzierbarkeit, sowie einer guten Korrelation im Vergleich mit den etablierten Röntgenscores aufzustellen. Er sollte komplementär mit der Klinik und den gängigen Scores genutzt werden. Es handelt sich um einen einheitslosen Quotienten, der von der Vergrößerung der Röntgenaufnahme unabhängig ist. Er ist leicht und schnell zu definieren. Der Untersucher kann sich somit, in kurzer Zeit, eine Vorstellung über den aktuellen Zustand des lateralen Kniegelenkskompartiments machen.

Eine prospektive Studie mit einer höheren Anzahl an Patienten und zusätzlichen klinischen Faktoren wäre anzustreben, um die Ergebnisse zu optimieren.

## 7. Anhang

### 7.1. Radiologische Klassifikation nach Fairbank:

Grad	Radiologische Veränderung
0	Normal
1	Verkantung des Tibiarandes
2	Abflachung der Femurkondyle, Verkantung und subchondrale Sklerosierung des Tibiaplateaus
3	Gelenkspaltverschmälerung oder Osteophyten oder beides
4	All diese Veränderungen in einem schlimmeren Ausmaß

### 7.2. Radiologische Klassifikation nach Kellgren & Lawrence:

Grad	Radiologische Veränderung
0	Normal
1	Zweifelhafte Gelenkspaltverschmälerung und mögliche Bildung von Osteophyten
2	Eindeutige Bildung von Osteophyten, eindeutige Gelenkspaltverschmälerung
3	Mittelgradige, multiple Osteophyten, eindeutige Gelenkspaltverschmälerung, ein wenig subchondrale Sklerosierung und mögliche Konturveränderung des Knochens
4	Große Osteophyten, ausgeprägte Gelenkspaltverschmälerung, starke subchondrale Sklerosierung und eindeutige Konturveränderung des Knochens

### 7.3. Einteilung nach Fairbank und K/L der Gruppe ME

Patient (ME)	Fairbank	K/L
1	3	3
2	2	2
3	3	3
4	0	0
5	1	1
6	0	0
7	4	4
8	3	3
9	3	3
10	4	4
11	3	3
12	3	3
13	2	2
14	0	0
15	3	3
16	4	4
17	2	3
18	3	3
19	3	3
20	3	2
21	0	0
22	2	2

23	3	3
24	1	1
25	3	3
26	4	4
27	3	3
28	3	2
29	3	3
30	3	3
31	3	3
32	4	4
33	4	4
34	3	3
35	3	3
36	3	3

#### 7.4. Einteilung nach Fairbank K/L der Gruppe K

Patient	Fairbank	K/L
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	0	0
6	0	0
7	0	0
8	0	0
9	0	0
10	0	0
11	0	0
12	0	0
13	0	0
14	0	0
15	0	0
16	0	0
17	0	0
18	0	0
19	0	0
20	0	0
21	0	0
22	0	0
23	0	0
24	0	0
25	0	0
26	0	0
27	0	0
28	0	0
29	0	0
30	0	0
31	0	0
32	0	0
33	0	0
34	0	0
35	0	0
36	0	0
37	0	0
38	0	0
39	1	1
40	0	0
41	0	0
42	0	0
43	0	0
44	1	1
45	1	1
46	1	1
47	1	1
48	1	1
49	0	0
50	1	1
51	0	0
52	1	1

Patient	Fairbank	K & L
53	1	1
54	1	1
55	0	0
56	0	0
57	0	0
58	0	0
59	0	0
60	0	0
61	0	0
62	0	0
63	0	0
64	0	0
65	0	0
66	0	0
67	0	0
68	0	0
69	0	0
70	0	0
71	0	0
72	0	0
73	0	0
74	0	0
75	0	0
76	0	0
77	0	0
78	0	0

79	0	0
80	0	0
81	0	0
82	1	1
83	1	1
84	0	0
85	1	0
86	1	1
87	1	1
88	1	1
89	0	0
90	1	1
91	1	1
92	0	0
93	1	1
94	1	1
95	1	1
96	1	1
97	1	1
98	1	1
99	0	0

## 7.5. Messergebnisse des ersten Untersuchers

### 7.5.1 Ergebnisse der ersten Vermessung der Gruppe ME

Patient (ME)	X0°	Y0°1	Y0°2	X45°	Y45°1	Y45°2	A	B	C	D
1	286,8	65,93	0	271,7	33,37	10,36	0,23	0,00	0,12	0,04
2	276,43	59,31	17,67	275,1	51,11	46,06	0,21	0,06	0,19	0,17
3	269	74	48	247	49	37	0,28	0,18	0,20	0,15
4	254	85	32	257	84	45	0,33	0,13	0,33	0,18
5	241	60,2	40,4	227	56,95	38,92	0,25	0,17	0,25	0,17
6	213,26	62,75	43,54	167,61	62,46	36,6	0,29	0,20	0,37	0,22
7	229	32,57	19	180	11	0	0,14	0,08	0,06	0,00
8	193,02	38,13	14,3	157,28	40,96	24,62	0,20	0,07	0,26	0,16
9	169,8	12,2	8	160,89	11,36	6,31	0,07	0,05	0,07	0,04
10	147,49	41,31	18,12	218,9	0	0	0,28	0,12	0,00	0,00
11	174,66	56,11	25,62	173,88	51,18	16,03	0,32	0,15	0,29	0,09
12	233,56	68,31	17,87	227,44	29,6	13,57	0,29	0,08	0,13	0,06
13	222	77	30	237	29,86	21	0,35	0,14	0,13	0,09
14	246,24	88,96	42,89	252	67	47	0,36	0,17	0,27	0,19
15	216	20,19	7,15	181	9,06	4,2	0,09	0,03	0,05	0,02
16	258,34	25,42	28,6	159,63	0	0	0,10	0,11	0,00	0,00
17	174,78	34,07	12	166	24,62	13,88	0,19	0,07	0,15	0,08
18	217	80,26	26	179,02	55,7	20,03	0,37	0,12	0,31	0,11
19	313,96	79,29	22,5	295	31,55	5,56	0,25	0,07	0,11	0,02
20	233,46	54,26	17,04	212	52	30	0,23	0,07	0,25	0,14
21	216	58	33,1	224,79	72,28	39,72	0,27	0,15	0,32	0,18
22	195,05	40,51	10,93	196,23	47,95	27,13	0,21	0,06	0,24	0,14
23	174,66	56,11	25,62	173,88	51,18	16,03	0,32	0,15	0,29	0,09

Patient (ME)	X0°	Y0°1	Y0°2	X45°	Y45°1	Y45°2	A	B	C	D	
24	215,16	64,36	30,29	210,11	53,63	36,09	0,30	0,14	0,26	0,17	
25	216,06	88,17	7,15	216,85	26,21	12,71	0,41	0,03	0,12	0,06	
26	270,67	24	0	255	0	0	0,09	0,00	0,00	0,00	
27	190,7	23,2	10,2	142,84	20,55	9,54	0,12	0,05	0,14	0,07	
28	254,6	40,3	12,8	223,05	38,26	6,83	0,16	0,05	0,17	0,03	
29	172	80,23	19,86	133,45	9,46	8,23	0,47	0,12	0,07	0,06	
30	156,2	34,9	20,4	140,7	20,82	11,36	0,22	0,13	0,15	0,08	
31	212	49,7	18,1	209,05	34,53	15,2	0,23	0,09	0,17	0,07	
32	110,2	28,9	5,06	92,57	19,84	0	0,26	0,05	0,21	0,00	
33	153,43	45,8	12,95	136,38	0	15,18	0,30	0,08	0,00	0,11	
34	151,7	22,05	11,12	163,63	15,89	0	0,15	0,07	0,10	0,00	
35	229	72	30,98	246	0	0	0,31	0,14	0,00	0,00	
36	144,57	35,74	0	130,27	10,73	0	0,25	0,00	0,08	0,00	
							<b>Mittelwert</b>	<b>0,25</b>	<b>0,09</b>	<b>0,16</b>	<b>0,08</b>
							<b>Median</b>	<b>0,25</b>	<b>0,08</b>	<b>0,15</b>	<b>0,08</b>
							<b>Max.</b>	<b>0,47</b>	<b>0,20</b>	<b>0,37</b>	<b>0,22</b>
							<b>Min</b>	<b>0,07</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>

**7.5.2. Ergebnisse der zweiten Vermessung der Gruppe ME**

Patient (ME)	X0°	Y0°1	Y0°2	X45°	Y45°1	Y45°2	A	B	C	D
1	289	66	0	264	30	14	0,23	0,00	0,11	0,05
2	267	60,43	19,06	263,12	62,95	46,58	0,23	0,07	0,24	0,18
3	262	75	48	241	55,39	35,96	0,29	0,18	0,23	0,15
4	253	89	30	255	77	46	0,35	0,12	0,30	0,18
5	240,9	61	39,8	234	58,8	42	0,25	0,17	0,25	0,18
6	212,78	64,39	43,86	169,19	65,13	37,33	0,30	0,21	0,38	0,22
7	233,53	36	21,45	175,55	18,93	0	0,15	0,09	0,11	0,00
8	192	37	19,06	158,87	39,72	23,98	0,19	0,10	0,25	0,15
9	171,9	14	7	162,79	13,88	6,01	0,08	0,04	0,09	0,04
10	144,3	38,26	21,48	220,82	0	0	0,27	0,15	0,00	0,00
11	177,93	53,22	30,92	173,16	57,19	19,56	0,30	0,17	0,33	0,11
12	225	75,71	15,77	232,74	27,8	18,3	0,34	0,07	0,12	0,08
13	220,03	71,49	29,39	235,12	31,16	18,93	0,32	0,13	0,13	0,08
14	252,6	89,76	41,31	252,6	61,16	44,48	0,36	0,16	0,24	0,18
15	224	18,93	4,77	189	8,7	3,03	0,08	0,02	0,05	0,02
16	262,92	22	23,83	167,83	0	0	0,08	0,09	0,00	0,00
17	180,31	34,07	8,83	170,36	16,72	8,2	0,19	0,05	0,10	0,05
18	219	78,39	27,01	180,6	49,8	19	0,36	0,12	0,28	0,11
19	315,03	78,23	23,57	294,67	37,33	4,77	0,25	0,07	0,13	0,02
20	232	49	17,67	212	53	29	0,21	0,08	0,25	0,14
21	212,52	66,19	31,35	222,41	79,32	40	0,31	0,15	0,36	0,18
22	201	35	12,62	194,33	45	28,6	0,17	0,06	0,23	0,15
23	177,93	53,22	30,92	173,16	57,19	19,56	0,30	0,17	0,33	0,11
24	211	60,44	30,18	206,25	48	30	0,29	0,14	0,23	0,15

Patient (ME)	X0°	Y0°1	Y0°2	X45°	Y45°1	Y45°2	A	B	C	D
<b>25</b>	213,67	81,02	6,35	222,41	24,62	11,12	0,38	0,03	0,11	0,05
<b>26</b>	271	27	0	256	0	0	0,10	0,00	0,00	0,00
<b>27</b>	190,8	22	10,04	141,97	22,05	9,52	0,12	0,05	0,16	0,07
<b>28</b>	256	44	15,4	217,45	33,6	7,32	0,17	0,06	0,15	0,03
<b>29</b>	168,47	75,71	21,45	131,87	14,03	7,57	0,45	0,13	0,11	0,06
<b>30</b>	157	36,04	22	144,49	19,05	11,53	0,23	0,14	0,13	0,08
<b>31</b>	213,6	50	19,8	211,29	30,18	16,68	0,23	0,09	0,14	0,08
<b>32</b>	111,26	21,45	5,57	93,56	17,54	0	0,19	0,05	0,19	0,00
<b>33</b>	148,91	41,01	12,03	145,75	0	17,26	0,28	0,08	0,00	0,12
<b>34</b>	154,58	16	8,02	160,45	15,14	0	0,10	0,05	0,09	0,00
<b>35</b>	221	72	29,02	253,01	0	0	0,33	0,13	0,00	0,00
<b>36</b>	142,98	36,54	0	136,29	7,52	0	0,26	0,00	0,06	0,00
<b>Mittelwert</b>							<b>0,24</b>	<b>0,10</b>	<b>0,16</b>	<b>0,08</b>
<b>Median</b>							<b>0,25</b>	<b>0,09</b>	<b>0,14</b>	<b>0,08</b>
<b>Max.</b>							<b>0,45</b>	<b>0,21</b>	<b>0,38</b>	<b>0,22</b>
<b>Min.</b>							<b>0,08</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>

**7.5.3. Ergebnisse der dritten Vermessung der Gruppe ME**

Patient (ME)	X0°	Y0°1	Y0°2	X45°	Y45°1	Y45°2	A	B	C	D
1	273	71	0	263	29	12,71	0,26	0,00	0,11	0,05
2	269	59,57	16,54	271,31	64,34	47,95	0,22	0,06	0,24	0,18
3	268	79	47	247	55	36	0,29	0,18	0,22	0,15
4	252	86	29	249	81	43	0,34	0,12	0,33	0,17
5	245	64,2	43	235,12	55,06	38,49	0,26	0,18	0,23	0,16
6	213,26	80,76	43,54	170,36	58,68	36,6	0,38	0,20	0,34	0,21
7	235	33,99	20,83	178,56	15,14	0	0,14	0,09	0,08	0,00
8	199,38	35,38	17,67	157,74	38,49	25,24	0,18	0,09	0,24	0,16
9	164,65	15,12	7,89	161,25	17,67	4,51	0,09	0,05	0,11	0,03
10	148,91	47,33	21,45	218,94	0	0	0,32	0,14	0,00	0,00
11	159	58,05	28,4	171,85	49,85	12,62	0,37	0,18	0,29	0,07
12	236,61	62,46	17,04	229,04	23,35	10,73	0,26	0,07	0,10	0,05
13	222,41	68,31	27,01	231,94	33,36	22,24	0,31	0,12	0,14	0,10
14	250	82	40	250	63	40	0,33	0,16	0,25	0,16
15	224	18,93	7,57	185,6	6,7	2,9	0,08	0,03	0,04	0,02
16	260,59	25,87	25,87	166,9	0	0	0,10	0,10	0,00	0,00
17	178,92	30,08	8,76	169,2	20,3	10,75	0,17	0,05	0,12	0,06
18	217,65	87,73	27,01	183	52,8	20,07	0,40	0,12	0,29	0,11
19	211,81	80,37	23,57	293,9	32,57	3,15	0,38	0,11	0,11	0,01
20	231,94	47	15,14	215,26	51,63	28,6	0,20	0,07	0,24	0,13
21	214,65	59,73	30,8	212,88	80,23	41,31	0,28	0,14	0,38	0,19
22	200,97	41	11,36	194,33	46,06	25,24	0,20	0,06	0,24	0,13
23	159	58,05	28,4	171,85	49,85	12,62	0,37	0,18	0,29	0,07
24	206,53	54	27,01	208,11	50	34,01	0,26	0,13	0,24	0,16

Patient (ME)	X0°	Y0°1	Y0°2	X45°	Y45°1	Y45°2	A	B	C	D	
25	217	75	6,35	220,03	22,24	8,74	0,35	0,03	0,10	0,04	
26	271,93	27,01	0	250,49	0	0	0,10	0,00	0,00	0,00	
27	189	21,9	9,8	145,75	16,4	10,52	0,12	0,05	0,11	0,07	
28	253,22	45,01	12,89	216,21	39,02	6,37	0,18	0,05	0,18	0,03	
29	169,73	75,46	20,55	133,76	10,74	10,02	0,44	0,12	0,08	0,07	
30	157,3	36,9	21,78	144,49	20,19	11,03	0,23	0,14	0,14	0,08	
31	216	53,02	21,42	214,73	33,03	16,52	0,25	0,10	0,15	0,08	
32	111,05	20,05	6,37	95,23	20,55	0	0,18	0,06	0,22	0,00	
33	153,31	46,61	13,03	139,44	0	18,93	0,30	0,08	0,00	0,14	
34	155,85	19,56	8,83	164,68	13,88	0	0,13	0,06	0,08	0,00	
35	226,04	76,26	30,18	248,62	0	0	0,34	0,13	0,00	0,00	
36	141,33	33,84	0	135,78	8,36	0	0,24	0,00	0,06	0,00	
							<b>Mittelwert</b>	<b>0,25</b>	<b>0,10</b>	<b>0,16</b>	<b>0,08</b>
							<b>Median</b>	<b>0,26</b>	<b>0,09</b>	<b>0,14</b>	<b>0,07</b>
							<b>Max.</b>	<b>0,44</b>	<b>0,20</b>	<b>0,38</b>	<b>0,21</b>
							<b>Min.</b>	<b>0,08</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>

### 7.5.4. Mittelwerte der drei Vermessungen der Gruppe ME

Patient (ME)	Mittelwert A	Mittelwert B	Mittelwert C	Mittelwert D
1	0,24	0,00	0,12	0,05
2	0,22	0,07	0,22	0,17
3	0,29	0,18	0,22	0,15
4	0,34	0,12	0,32	0,18
5	0,26	0,17	0,25	0,17
6	0,33	0,20	0,37	0,22
7	0,15	0,09	0,08	0,00
8	0,19	0,09	0,25	0,16
9	0,08	0,05	0,09	0,03
10	0,29	0,14	0,00	0,00
11	0,33	0,17	0,30	0,09
12	0,30	0,07	0,12	0,06
13	0,33	0,13	0,13	0,09
14	0,35	0,17	0,25	0,17
15	0,09	0,03	0,04	0,02
16	0,09	0,10	0,00	0,00
17	0,18	0,06	0,12	0,07
18	0,38	0,12	0,29	0,11

19	0,29	0,09	0,11	0,02
20	0,22	0,07	0,25	0,14
21	0,29	0,15	0,35	0,18
22	0,20	0,06	0,24	0,14
23	0,33	0,17	0,30	0,09
24	0,28	0,14	0,24	0,16
25	0,38	0,03	0,11	0,05
26	0,10	0,00	0,00	0,00
27	0,12	0,05	0,14	0,07
28	0,17	0,05	0,17	0,03
29	0,45	0,12	0,09	0,06
30	0,23	0,14	0,14	0,08
31	0,24	0,09	0,15	0,08
32	0,21	0,05	0,21	0,00
33	0,29	0,08	0,00	0,12
34	0,12	0,06	0,09	0,00
35	0,33	0,13	0,00	0,00
36	0,25	0,00	0,07	0,00

**7.5.5. Ergebnisse der ersten Vermessung der Gruppe K**

Patient (K)	X0°	Y0°1	Y0°2	X45°	Y45°1	Y45°2	A	B	C	D
1	68,16	18,54	7,17	89,21	20,55	17,54	0,27	0,11	0,23	0,20
2	105,75	21,55	10,52	113,57	25,24	18,3	0,20	0,10	0,22	0,16
3	61,35	17,52	10,44	85,2	29,07	22,55	0,29	0,17	0,34	0,26
4	78,83	22,7	10,35	91,56	27,47	17,91	0,29	0,13	0,30	0,20
5	71,26	17,91	10,35	97,23	31,07	14,53	0,25	0,15	0,32	0,15
6	80,02	26,06	6,37	95,73	21,55	17,54	0,33	0,08	0,23	0,18
7	61,31	16,72	11,7	77,68	31,57	18,71	0,27	0,19	0,41	0,24
8	64,49	15,53	7,17	87,58	23,09	17,91	0,24	0,11	0,26	0,20
9	67,28	17,91	7,17	88,78	26,67	13,54	0,27	0,11	0,30	0,15
10	64,89	14,55	9,8	92,36	22,69	15,53	0,22	0,15	0,25	0,17
11	70,17	13,93	7,56	98,73	23,56	17,54	0,20	0,11	0,24	0,18
12	63,65	19,11	8,36	87,21	25,06	21,55	0,30	0,13	0,29	0,25
13	59,72	18,31	6,37	84,2	28,07	17,54	0,31	0,11	0,33	0,21
14	82,19	15,04	11,53	101,74	24,06	12,53	0,18	0,14	0,24	0,12
15	63,15	13,14	12,02	91,17	28,66	19,11	0,21	0,19	0,31	0,21
16	74,05	28,68	7,17	100,24	29,57	18,04	0,39	0,10	0,29	0,18
17	70,17	20,3	10,35	93,22	26,56	21,55	0,29	0,15	0,28	0,23
18	60,91	15,04	11,94	91,22	25,06	25,56	0,25	0,20	0,27	0,28
19	69,67	13,14	8,76	94,64	23,56	21,05	0,19	0,13	0,25	0,22
20	65,69	13,28	5,97	88,71	24,06	15,04	0,20	0,09	0,27	0,17
21	61,71	15,53	9,16	91,72	27,06	13,03	0,25	0,15	0,30	0,14
22	67,01	13,4	9,09	91,9	21,06	13,4	0,20	0,14	0,23	0,15
23	70,16	21,05	7,48	97,76	23,85	13,1	0,30	0,11	0,24	0,13
24	65,69	12,35	8,53	85,2	28,07	14,53	0,19	0,13	0,33	0,17

Patient (K)	X0°	Y0°1	Y0°2	X45°	Y45°1	Y45°2	A	B	C	D
25	70,53	16,16	10,29	96,49	34,77	23,51	0,23	0,15	0,36	0,24
26	63,88	19,65	7,15	105,42	33,05	26,8	0,31	0,11	0,31	0,25
27	62,9	15,53	8,36	112,66	37,88	24,68	0,25	0,13	0,34	0,22
28	61,38	13,84	10,29	83,2	27,57	20,55	0,23	0,17	0,33	0,25
29	73,67	19,05	13,03	95,23	29,57	17,04	0,26	0,18	0,31	0,18
30	141,33	34,07	20,19	103,24	24,56	21,05	0,24	0,14	0,24	0,20
31	62,05	20,43	9,29	93,08	27,6	16,37	0,33	0,15	0,30	0,18
32	66,15	15,79	10,29	75,62	22,97	14,84	0,24	0,16	0,30	0,20
33	68,05	21,29	11,79	77,56	23,57	14,83	0,31	0,17	0,30	0,19
34	65,39	17,62	5,08	92,99	23,46	14,08	0,27	0,08	0,25	0,15
36	69,53	19,2	10,66	92,37	31,68	20,41	0,28	0,15	0,34	0,22
37	64,84	14,93	11,94	88,07	28,46	17,72	0,23	0,18	0,32	0,20
38	74,65	17,18	8,59	103,11	27,93	13,43	0,23	0,12	0,27	0,13
39	71,7	15,89	10,18	101,3	26,07	19,15	0,22	0,14	0,26	0,19
40	70,53	16,23	7,62	66,48	14,27	7,27	0,23	0,11	0,21	0,11
41	62,65	21,55	11,03	113,77	32,58	21,05	0,34	0,18	0,29	0,19
42	65,66	18,54	7,52	117,28	30,57	22,05	0,28	0,11	0,26	0,19
43	74,65	28,24	15,71	92,65	27,05	16,04	0,38	0,21	0,29	0,17
44	87,99	19,96	7,74	83,11	22,81	13,44	0,23	0,09	0,27	0,16
45	115,67	29,45	10,64	108,26	18,26	11,28	0,25	0,09	0,17	0,10
46	68,21	19,87	6,29	114,88	30,55	15,89	0,29	0,09	0,27	0,14
47	66,23	18,74	5,63	117,4	34,61	17,31	0,28	0,09	0,29	0,15
48	91,54	33,35	9,23	114,80	39,29	27,50	0,36	0,10	0,34	0,24
49	62,98	21,55	13,75	83,97	36,21	22,57	0,34	0,22	0,43	0,27
50	67,95	18,76	12,51	71,90	23,09	14,17	0,28	0,18	0,32	0,20

Patient (K)	X0°	Y0°1	Y0°2	X45°	Y45°1	Y45°2	A	B	C	D
51	71,24	31,14	10,24	77,21	30,71	12,37	0,44	0,14	0,40	0,16
52	68,72	13,85	26,16	72,83	26,67	16,41	0,20	0,38	0,37	0,23
53	73,34	23,59	13,33	77,95	27,18	14,87	0,32	0,18	0,35	0,19
54	69,25	18,67	8,95	91,04	19,84	11,28	0,27	0,13	0,22	0,12
55	80,98	26,77	9,15	100,32	33,44	21,45	0,33	0,11	0,33	0,21
56	127,28	46,18	18,8	99,35	30,61	19,33	0,36	0,15	0,31	0,19
57	66,81	7,33	9,78	83,51	13,33	18,77	0,11	0,15	0,16	0,22
58	52,55	15,13	9,16	69,25	26,07	15,89	0,29	0,17	0,38	0,23
59	60,51	16,32	9,16	84,4	17,12	15,13	0,27	0,15	0,20	0,18
60	100,1	20,57	14,63	79,53	16	9,14	0,21	0,15	0,20	0,11
61	90,5	15,54	9,14	103,34	28,43	11,75	0,17	0,10	0,28	0,11
62	58,05	9,6	6,4	79,99	19,2	16	0,17	0,11	0,24	0,20
63	54,39	12,34	5,03	75,42	22,4	13,71	0,23	0,09	0,30	0,18
64	60,79	18,71	7,31	83,65	23,77	13,71	0,31	0,12	0,28	0,16
65	61,25	13,71	8,23	82,28	25,14	22,85	0,22	0,13	0,31	0,28
66	60,03	12,51	9,17	78,79	22,15	18,15	0,21	0,15	0,28	0,23
67	54,1	10,89	6,54	78,79	20,7	17,79	0,20	0,12	0,26	0,23
68	63,54	13,43	6,17	92,79	18,74	13,71	0,21	0,10	0,20	0,15
69	62,62	17,83	15,08	84,1	21,03	14,17	0,28	0,24	0,25	0,17
70	57,37	13,43	8,35	105,88	24,74	17,26	0,23	0,15	0,23	0,16
71	50,74	15,61	12,34	69,48	26,97	18,74	0,31	0,24	0,39	0,27
72	58,09	16,34	11,26	82,06	20,33	13,8	0,28	0,19	0,25	0,17
73	58,05	12,8	8,23	99,65	21,94	14,63	0,22	0,14	0,22	0,15
74	62,62	13,26	7,31	109,24	26,51	13,71	0,21	0,12	0,24	0,13
75	85,93	15,54	10,97	88,68	12,34	4,59	0,18	0,13	0,14	0,05

Patient (K)	X0°	Y0°1	Y0°2	X45°	Y45°1	Y45°2	A	B	C	D
76	114,27	30,17	21,48	117,01	48,45	28,34	0,26	0,19	0,41	0,24
77	54,82	10,17	8,35	76,61	21,42	12,34	0,19	0,15	0,28	0,16
78	53,37	12,45	8,71	93,36	29,93	19,21	0,23	0,16	0,32	0,21
79	51,92	17,06	7,62	96,48	28,14	17,42	0,33	0,15	0,29	0,18
80	60,68	23,42	8,87	73,77	13,97	11,97	0,39	0,15	0,19	0,16
81	59,25	13,84	7,45	69,41	13,53	11,35	0,23	0,13	0,19	0,16
82	66,35	17,9	10,91	68,48	22,71	12,42	0,27	0,16	0,33	0,18
83	68,53	14,41	7,86	68,48	16,32	10,29	0,21	0,11	0,24	0,15
84	66,79	13,53	5,24	75,95	19,21	12,66	0,20	0,08	0,25	0,17
85	77	24,44	11,41	101,85	33,41	23,63	0,32	0,15	0,33	0,23
86	58,9	28,39	7,45	93,32	30,87	16,32	0,48	0,13	0,33	0,17
87	59,96	28,92	15,07	60,93	20,53	14,24	0,48	0,25	0,34	0,23
88	58,55	15,89	9,81	82,29	27,7	14,67	0,27	0,17	0,34	0,18
89	62,09	13,84	4,97	78,06	29,09	12,06	0,22	0,08	0,37	0,15
90	57,33	16,72	9,16	76,36	23,46	18,77	0,29	0,16	0,31	0,25
91	56,73	10,27	2,68	83,98	16,08	4,47	0,18	0,05	0,19	0,05
92	101,84	36,63	16,53	116,50	37,10	25,91	0,36	0,16	0,32	0,22
93	59,13	9,73	6,22	93,04	17,08	16,49	0,16	0,11	0,18	0,18
94	61,26	18,19	8,14	95,73	25,37	20,10	0,30	0,13	0,27	0,21

Patient (K)	X0°	Y0°1	Y0°2	X45°	Y45°1	Y45°2	A	B	C	D	
95	58,78	15,42	12,51	75,45	21,26	15,01	0,26	0,21	0,28	0,20	
96	61,86	13,62	6,61	82,87	18,67	16,34	0,22	0,11	0,23	0,20	
97	58,52	17,42	9,38	56,05	19,23	10,44	0,30	0,16	0,34	0,19	
98	58,07	16,4	9,38	53,78	17,51	14,59	0,28	0,16	0,33	0,27	
99	54,56	15,94	9,89	73,34	17,44	13,33	0,29	0,18	0,24	0,18	
							<b>Mittelwert</b>	0,27	0,14	0,28	0,19
							<b>Median</b>	0,26	0,14	0,28	0,18
							<b>Max.</b>	0,48	0,38	0,43	0,28
							<b>Min.</b>	0,11	0,05	0,14	0,05

**7.5.6. Ergebnisse der zweiten Vermessung der Gruppe K**

Patient (K)	X0°	Y0°1	Y0°2	X45°	Y45°1	Y45°2	A	B	C	D
1	68,87	19,11	10,75	86,39	25,48	19,11	0,28	0,16	0,29	0,22
2	100,72	19,51	10,75	108,29	25,88	18,71	0,19	0,11	0,24	0,17
3	62,09	15,25	11,62	86,78	29,77	23,6	0,25	0,19	0,34	0,27
4	74,79	19,97	9,44	85,69	25,78	18,52	0,27	0,13	0,30	0,22
5	70,44	16,7	9,44	97,67	25,78	15,85	0,24	0,13	0,26	0,16
6	80,97	18,52	6,9	96,22	21,06	19,24	0,23	0,09	0,22	0,20
7	64,99	21,06	12,71	77,7	27,23	18,88	0,32	0,20	0,35	0,24
8	63,9	14,16	7,99	83,87	23,6	17,06	0,22	0,13	0,28	0,20
9	67,53	13,8	8,35	92,58	24,69	12,25	0,20	0,12	0,27	0,13
10	64,63	14,89	9,44	93,31	21,42	14,89	0,23	0,15	0,23	0,16
11	67,9	13,07	7,99	97,67	22,87	18,88	0,19	0,12	0,23	0,19
12	62,09	14,89	7,62	87,86	24,69	22,51	0,24	0,12	0,28	0,26
13	61	19,61	6,9	84,6	25,42	18,15	0,32	0,11	0,30	0,21
14	79,88	15,98	11,98	100,21	25,78	13,8	0,20	0,15	0,26	0,14
15	61,36	17,79	12,34	90,77	26,87	20,33	0,29	0,20	0,30	0,22
16	73,67	30,14	8,52	104,97	32,61	19,21	0,41	0,12	0,31	0,18
17	73,34	20,33	9,8	95,85	26,87	21,78	0,28	0,13	0,28	0,23
18	62,09	16,5	11,97	91,25	30,74	24,92	0,27	0,19	0,34	0,27
19	69,9	20,39	8,41	92,76	26,28	21,1	0,29	0,12	0,28	0,23
20	64,89	16,32	7,56	89,97	22,69	15,53	0,25	0,12	0,25	0,17
21	63,7	15,92	9,95	85,59	27,07	13,14	0,25	0,16	0,32	0,15
22	66,48	17,52	9,16	88,78	22,29	13,93	0,26	0,14	0,25	0,16
23	70,46	21,5	8,76	97,14	23,89	13,54	0,31	0,12	0,25	0,14
24	72,46	13,93	8,76	84	26,28	15,13	0,19	0,12	0,31	0,18

Patient (K)	X0°	Y0°1	Y0°2	X45°	Y45°1	Y45°2	A	B	C	D
25	67,28	19,51	11,94	95,94	33,44	23,89	0,29	0,18	0,35	0,25
26	60,51	15,13	6,77	107,49	33,04	27,87	0,25	0,11	0,31	0,26
27	62,1	13,54	10,35	112,27	36,23	23,49	0,22	0,17	0,32	0,21
28	62,9	17,91	9,16	85,59	28,27	19,91	0,28	0,15	0,33	0,23
29	74,84	19,11	12,34	95,55	25,08	17,91	0,26	0,16	0,26	0,19
30	142,34	37,95	19,55	98,73	26,06	23,56	0,27	0,14	0,26	0,24
31	60,51	25,08	11,15	94,35	29,86	17,12	0,41	0,18	0,32	0,18
32	62,05	14,73	10,75	73,65	21,5	15,92	0,24	0,17	0,29	0,22
33	69,67	29,06	11,15	75,24	22,29	15,53	0,42	0,16	0,30	0,21
34	68,08	23,89	5,56	96,34	22,69	15,13	0,35	0,08	0,24	0,16
35	62,9	21,9	9,55	87,58	22,29	15,53	0,35	0,15	0,25	0,18
36	69,67	24,68	10,75	92,76	33,84	21,9	0,35	0,15	0,36	0,24
37	63,3	19,51	10,75	87,98	31,85	18,31	0,31	0,17	0,36	0,21
38	72,06	22,69	9,55	101,12	29,06	14,33	0,31	0,13	0,29	0,14
39	70,86	18,87	11,26	99,96	24,88	19,64	0,27	0,16	0,25	0,20
40	70,72	18,63	8,74	66,91	15,59	7,6	0,26	0,12	0,23	0,11
41	61,59	22,81	10,65	111,32	36,95	23,39	0,37	0,17	0,33	0,21
42	65,77	20,53	7,98	116	38,35	22,92	0,31	0,12	0,33	0,20
43	70,2	28,77	15,44	90,74	27,6	16,84	0,41	0,22	0,30	0,19
44	87,3	17,02	6,98	83,51	22,81	13,44	0,19	0,08	0,27	0,16
45	113,68	30,8	14,07	106,75	21,55	16,04	0,27	0,12	0,20	0,15
46	67,66	19,15	6,11	113,85	31,15	15,04	0,28	0,09	0,32	0,09
47	65,18	20,78	6,11	113,31	33,83	16,65	0,32	0,09	0,30	0,15
48	91,72	34,58	10,52	115,27	36,09	27,57	0,38	0,11	0,31	0,24
49	60,34	22,92	14,5	82,32	36,95	25,73	0,38	0,24	0,45	0,31

Patient (K)	X0°	Y0°1	Y0°2	X45°	Y45°1	Y45°2	A	B	C	D
50	69,68	21,89	12,51	69,25	26,07	14,67	0,31	0,18	0,38	0,21
51	68,97	31,34	10,04	77,26	33,61	13,53	0,45	0,15	0,44	0,18
52	68,37	15,84	23,34	71,7	29,6	17,09	0,23	0,34	0,41	0,24
53	71,7	23,77	13,76	77,72	29,48	16,53	0,33	0,19	0,38	0,21
54	67,68	13,54	7,96	87,3	21,94	9,14	0,20	0,12	0,25	0,10
55	81,82	25,6	9,6	97,36	35,2	23,77	0,31	0,12	0,36	0,24
56	127	46,58	17,91	101,12	36,23	18,71	0,37	0,14	0,36	0,19
57	68,16	9,02	9,52	83,51	14,67	18,74	0,13	0,14	0,18	0,22
58	51,75	10,75	9,95	70,46	26,28	16,32	0,21	0,19	0,37	0,23
59	60,11	13,14	9,16	85,59	20,3	17,52	0,22	0,15	0,24	0,20
60	99,53	23,89	13,93	78,03	17,12	9,16	0,24	0,14	0,22	0,12
61	91,56	18,71	9,16	101,12	27,07	12,34	0,20	0,10	0,27	0,12
62	62,5	13,54	7,17	80,02	21,9	15,13	0,22	0,11	0,27	0,19
63	57,73	16,32	6,37	76,44	23,49	14,73	0,28	0,11	0,31	0,19
64	62,5	19,11	9,16	85,59	23,89	13,54	0,31	0,15	0,28	0,16
65	63,3	15,92	8,76	78,83	25,88	22,69	0,25	0,14	0,33	0,29
66	59,72	14,73	9,55	80,02	21,1	19,11	0,25	0,16	0,26	0,24
67	53,44	14,86	7,27	79,06	19,92	16,13	0,28	0,14	0,25	0,20
68	64,19	15,5	4,11	91,39	15,18	11,38	0,24	0,06	0,17	0,12
69	66,09	23,4	14,55	87,91	24,35	14,86	0,35	0,22	0,28	0,17
70	58,19	15,18	6,96	110,78	24,1	15,9	0,26	0,12	0,22	0,14
71	51,35	17,31	11,13	67,9	26,89	20,4	0,34	0,22	0,40	0,30
72	60,26	14,22	10,82	87,15	22,56	14,52	0,24	0,18	0,26	0,17
73	58,41	12,36	6,8	101,67	21,63	15,76	0,21	0,12	0,21	0,16
74	63,04	14,52	6,49	109,71	31,21	14,22	0,23	0,10	0,28	0,13

Patient (K)	X0°	Y0°1	Y0°2	X45°	Y45°1	Y45°2	A	B	C	D
75	87,46	15,14	12,05	87,46	19,78	4,33	0,17	0,14	0,23	0,05
76	119,9	29,36	21,94	121,9	54,24	29,54	0,24	0,18	0,44	0,24
77	57,73	13,43	7,26	79,15	18,88	11,98	0,23	0,13	0,24	0,15
78	54,46	13,07	9,08	95,48	33,5	18,31	0,24	0,17	0,35	0,19
79	53,74	19,24	6,54	98,39	26,14	17,43	0,36	0,12	0,27	0,18
80	60,34	26,97	8,89	74,14	15,59	14,07	0,45	0,15	0,21	0,19
81	58,9	12,42	6,39	72,62	14,83	12,17	0,21	0,11	0,20	0,17
82	68,12	18,81	7,81	67,06	23,06	13,48	0,28	0,11	0,34	0,20
83	63,51	17,03	7,81	68,66	20,22	11	0,27	0,12	0,29	0,16
84	64,17	10,29	5,96	75,37	22,41	13,04	0,16	0,09	0,30	0,17
85	75,18	21,98	11,23	100,56	31,81	22,92	0,29	0,15	0,32	0,23
86	58,61	18,87	7,95	90,44	33	16,3	0,32	0,14	0,36	0,18
87	63,37	27,93	14,03	58,64	19,55	14,03	0,44	0,22	0,33	0,24
88	59,14	10,59	13,04	80,56	24,74	14,96	0,18	0,22	0,31	0,19
89	56,39	18,41	5,67	80,56	25,32	12,35	0,33	0,10	0,31	0,15
90	55,87	12,63	9,78	74,64	25,32	19,64	0,23	0,18	0,34	0,26
91	52,62	8,61	3,31	78,84	18,99	6,52	0,16	0,06	0,24	0,08
92	103,58	33,38	14,96	120,84	39,71	25,89	0,32	0,14	0,33	0,21
93	58,75	8,56	5,06	93,42	18,68	15,39	0,15	0,09	0,20	0,16
94	58,46	9,73	14,89	100,02	21,43	19,78	0,17	0,25	0,21	0,20

Patient (K)	X0°	Y0°1	Y0°2	X45°	Y45°1	Y45°2	A	B	C	D
95	58,36	14,17	12,09	77,28	21,89	16,97	0,24	0,21	0,28	0,22
96	60,79	14,63	7,31	82,28	21,03	14,17	0,24	0,12	0,26	0,17
97	54,85	17,83	8,68	53,94	15,54	10,97	0,33	0,16	0,29	0,20
98	53,02	15,54	10,97	53,48	17,83	13,26	0,29	0,21	0,33	0,25
99	55,31	17,37	10,51	76,9	22,53	14,69	0,31	0,19	0,29	0,19
						<b>Mittelwert</b>	0,27	0,15	0,29	0,19
						<b>Median</b>	0,27	0,14	0,29	0,19
						<b>Max.</b>	0,45	0,34	0,45	0,31
						<b>Min.</b>	0,13	0,06	0,17	0,05

**7.5.7. Ergebnisse der dritten Vermessung der Gruppe K**

Patient (K)	X0°	Y0°1	Y0°2	X45°	Y45°1	Y45°2	A	B	C	D
1	69,8	19,79	10,8	91,83	24,4	19,31	0,28	0,15	0,27	0,21
2	105,82	22,95	11,28	111,66	27,62	19,06	0,22	0,11	0,25	0,17
3	61,67	19,65	10,17	87,96	31,68	23,34	0,32	0,16	0,36	0,27
4	79,21	20,43	9,59	90,04	27,93	17,93	0,26	0,12	0,31	0,20
5	71,7	24,18	9,59	100,47	32,93	15,01	0,34	0,13	0,33	0,15
6	79,21	25,01	7,5	95,05	21,68	18,76	0,32	0,09	0,23	0,20
7	60,86	21,26	13,34	77,95	30,43	18,34	0,35	0,22	0,39	0,24
8	65,87	16,26	7,92	84,21	25,85	18,34	0,25	0,12	0,31	0,22
9	68,78	15,84	8,75	93,8	28,35	14,59	0,23	0,13	0,30	0,16
10	64,08	16,84	9,35	92,14	23,39	14,97	0,26	0,15	0,25	0,16
11	72,5	14,03	7,95	100,1	23,39	17,77	0,19	0,11	0,23	0,18
12	63,14	19,18	8,42	87,47	26,19	22,45	0,30	0,13	0,30	0,26
13	60,67	12,06	6,03	83,03	27,68	18,45	0,20	0,10	0,33	0,22
14	81,61	16,32	14,42	102,19	24,48	12,06	0,20	0,18	0,24	0,12
15	60,67	18,1	13,84	91,23	32,3	19,64	0,30	0,23	0,35	0,22
16	72,9	24,44	8,73	103,45	32,3	18,33	0,34	0,12	0,31	0,18
17	71,59	23,14	8,29	91,67	28,37	20,95	0,32	0,12	0,31	0,23
18	62,86	21,83	10,91	85,12	30,12	23,14	0,35	0,17	0,35	0,27
19	67,66	20,95	7,86	92,54	27,5	20,95	0,31	0,12	0,30	0,23
20	65,48	16,59	6,55	87,3	21,83	16,15	0,25	0,10	0,25	0,18
21	63,29	19,64	7,86	96,47	29,25	13,1	0,31	0,12	0,30	0,14
22	65,91	13,97	9,6	91,67	23,14	14,84	0,21	0,15	0,25	0,16
23	69,84	17,46	9,17	97,78	23,57	13,1	0,25	0,13	0,24	0,13
24	69,41	14,41	9,6	85,99	27,5	15,71	0,21	0,14	0,32	0,18

Patient (K)	X0°	Y0°1	Y0°2	X45°	Y45°1	Y45°2	A	B	C	D
25	68,79	22,33	10,72	97,38	33,05	23,67	0,32	0,16	0,34	0,24
26	62,09	22,36	6,9	106,3	37,1	26,68	0,36	0,11	0,35	0,25
27	61,67	13,55	7,79	112,55	39,19	22,09	0,22	0,13	0,35	0,20
28	62,7	17,96	7,97	85,65	24,62	22,05	0,29	0,13	0,29	0,26
29	75,04	22,34	12,06	94,15	33,85	18,29	0,30	0,16	0,36	0,19
30	138,8	31,28	20,1	97,64	19,62	23,93	0,23	0,14	0,20	0,25
31	60,99	20,55	9,83	93,8	31,27	16,97	0,34	0,16	0,33	0,18
32	64,63	19,97	12,34	74,43	19,24	15,98	0,31	0,19	0,26	0,21
33	69,35	17,43	10,17	79,51	26,14	15,25	0,25	0,15	0,33	0,19
34	65,35	16,13	5,38	92,96	22,51	14,59	0,25	0,08	0,24	0,16
35	64,97	18,66	7,59	89,63	25,01	16,26	0,29	0,12	0,28	0,18
36	73,37	20,01	10,84	90,46	33,35	21,68	0,27	0,15	0,37	0,24
37	63,36	17,06	10,17	90,77	28,86	19,97	0,27	0,16	0,32	0,22
38	74,37	22,45	7,48	102,43	31,34	13,1	0,30	0,10	0,31	0,13
39	70,13	19,65	10,27	98,12	24,41	19,15	0,28	0,15	0,25	0,20
40	69,62	18,34	7,09	64,77	15,19	8,04	0,26	0,10	0,23	0,12
41	61,7	23,76	11,26	110,47	33,35	21,26	0,39	0,18	0,30	0,19
42	65,87	16,26	8,34	115,91	38,46	22,05	0,25	0,13	0,33	0,19
43	71,25	27,28	15,32	88,73	28,72	17,44	0,38	0,22	0,32	0,20
44	89,98	19,62	7,66	80,41	25,85	14,36	0,22	0,09	0,32	0,18
45	114,24	33,56	13,54	106,58	22,96	13,54	0,29	0,12	0,22	0,13
46	64,14	18,76	6,25	111,88	30,03	15,31	0,29	0,10	0,27	0,14
47	63,36	20,43	5,84	116,59	31,21	15,9	0,32	0,09	0,27	0,14
48	85,67	34,94	10,53	114,39	39,73	28,72	0,41	0,12	0,35	0,25

Patient (K)	X0°	Y0°1	Y0°2	X45°	Y45°1	Y45°2	A	B	C	D
49	67,01	20,1	12,92	78,47	38,98	25,64	0,30	0,19	0,50	0,33
50	71,8	21,54	11,01	68,92	22,5	14,36	0,30	0,15	0,33	0,21
51	69,4	28,72	11,01	76,1	30,63	14,84	0,41	0,16	0,40	0,20
52	63,66	15,79	22,5	72,54	30,77	17,04	0,25	0,35	0,42	0,23
53	70,37	20,58	12,44	75,84	29,68	17,04	0,29	0,18	0,39	0,22
54	69,24	16,49	7,69	89,69	20,82	10,73	0,24	0,11	0,23	0,12
55	78,96	21,01	10,14	97,07	34,77	21,73	0,27	0,13	0,36	0,22
56	125,35	42,1	17,77	98,69	31,81	19,18	0,34	0,14	0,32	0,19
57	67,63	10,59	8,55	82,7	13,85	18,74	0,16	0,13	0,17	0,23
58	52,15	15,92	9,16	69,27	27,47	16,32	0,31	0,18	0,40	0,24
59	62,1	15,13	9,16	82,41	19,91	15,92	0,24	0,15	0,24	0,19
60	101,12	22,29	13,14	79,62	17,52	9,95	0,22	0,13	0,22	0,12
61	92,99	17,06	9,38	101,95	20,48	11,94	0,18	0,10	0,20	0,12
62	59,64	12,48	7,63	83,22	18,72	16,3	0,21	0,13	0,22	0,20
63	54,09	14,91	3,47	75,59	21,84	13,18	0,28	0,06	0,29	0,17
64	61,7	18,76	7,92	83,79	22,09	13,76	0,30	0,13	0,26	0,16
65	61,7	16,67	9,59	80,04	25,01	22,93	0,27	0,16	0,31	0,29
66	57,94	17,51	10	78,79	23,34	19,18	0,30	0,17	0,30	0,24
67	54,19	12,51	7,09	75,87	18,76	15,42	0,23	0,13	0,25	0,20
68	64,61	13,34	5	91,29	16,26	11,26	0,21	0,08	0,18	0,12
69	65,03	20,01	13,76	84,21	25,01	15,42	0,31	0,21	0,30	0,18
70	55,57	15,25	7,45	108,2	23,24	15,98	0,27	0,13	0,21	0,15
71	49,85	19	12,12	71,53	27,96	20,33	0,38	0,24	0,39	0,28
72	58,46	21,78	10,17	87,13	24,18	14,59	0,37	0,17	0,28	0,17
73	58,36	12,09	5	104,63	23,34	13,76	0,21	0,09	0,22	0,13

Patient (K)	X0°	Y0°1	Y0°2	X45°	Y45°1	Y45°2	A	B	C	D
74	61,28	16,67	5	107,97	26,68	13,34	0,27	0,08	0,25	0,12
75	85,88	14,6	11,67	90,04	17,93	4,59	0,17	0,14	0,20	0,05
76	118,7	26,93	20,33	120,9	50,56	30,22	0,23	0,17	0,42	0,25
77	54,94	13,85	7,59	80,4	18,31	10,72	0,25	0,14	0,23	0,13
78	52,26	13,4	8,04	96,93	28,14	17,87	0,26	0,15	0,29	0,18
79	52,71	14,29	7,59	91,12	29,48	19,21	0,27	0,14	0,32	0,21
80	59,91	17,41	9,74	73,19	15,25	12,54	0,29	0,16	0,21	0,17
81	57,85	13,58	8,26	68,11	14,23	12,54	0,23	0,14	0,21	0,18
82	70,07	19,61	6,17	69,24	20,55	13,85	0,28	0,09	0,30	0,20
83	68,44	18,67	7,66	67	16,97	11,17	0,27	0,11	0,25	0,17
84	66,67	13,43	6,54	73,79	24,18	13,34	0,20	0,10	0,33	0,18
85	73,23	22,97	10,53	100,03	29,68	22,97	0,31	0,14	0,30	0,23
86	57,94	18,34	7,92	90,68	25,32	15,9	0,32	0,14	0,28	0,18
87	62,42	25,91	14,36	55,04	19,62	15,32	0,42	0,23	0,36	0,28
88	57,91	11,01	10,53	80,23	25,28	14,29	0,19	0,18	0,32	0,18
89	55,5	17,23	5,74	79,45	25,37	11,97	0,31	0,10	0,32	0,15
90	53,61	18,67	8,62	73,71	24,89	19,15	0,35	0,16	0,34	0,26
91	53,61	9,83	3,57	80,85	16,97	6,7	0,18	0,07	0,21	0,08
92	100,69	34,15	15,9	124,78	38,32	26,5	0,34	0,16	0,31	0,21
93	57,7	8,93	6,04	95,39	17,95	14,87	0,15	0,10	0,19	0,16
94	58,07	9,83	16,53	94,37	21,03	18,98	0,17	0,28	0,22	0,20

Patient (K)	X0°	Y0°1	Y0°2	X45°	Y45°1	Y45°2	A	B	C	D	
95	57,7	14,84	11,54	77,14	22,96	17,67	0,26	0,20	0,30	0,23	
96	59,35	17,04	7,14	80,41	19,56	15,94	0,29	0,12	0,24	0,20	
97	55,35	15,9	9,42	52,41	17,67	11,19	0,29	0,17	0,34	0,21	
98	54,76	14,13	9,42	50,64	13,54	14,13	0,26	0,17	0,27	0,28	
99	52,76	15,94	8,79	73,19	22,71	14,51	0,30	0,17	0,31	0,20	
							<b>Mittelwert</b>	0,28	0,14	0,29	0,19
							<b>Median</b>	0,28	0,14	0,30	0,19
							<b>Max.</b>	0,42	0,35	0,50	0,33
							<b>Min.</b>	0,15	0,06	0,17	0,05

**7.5.8. Mittelwerte der drei Vermessungen der Gruppe K**

Patient (K)	Mittelwert A	Mittelwert B	Mittelwert C	Mittelwert D
1	0,28	0,14	0,26	0,21
2	0,20	0,10	0,24	0,17
3	0,28	0,17	0,35	0,27
4	0,27	0,13	0,30	0,20
5	0,28	0,14	0,30	0,15
6	0,29	0,09	0,22	0,19
7	0,32	0,20	0,38	0,24
8	0,24	0,12	0,28	0,21
9	0,23	0,12	0,29	0,15
10	0,24	0,15	0,24	0,16
11	0,19	0,11	0,24	0,18
12	0,28	0,13	0,29	0,25
13	0,28	0,11	0,32	0,22
14	0,19	0,16	0,24	0,13
15	0,27	0,21	0,32	0,22
16	0,38	0,11	0,31	0,18
17	0,30	0,13	0,29	0,23
18	0,29	0,19	0,32	0,28
19	0,26	0,12	0,28	0,23
20	0,24	0,10	0,26	0,18
21	0,27	0,14	0,30	0,14
22	0,23	0,14	0,24	0,15
23	0,29	0,12	0,24	0,14

24	0,20	0,13	0,32	0,18
25	0,28	0,16	0,35	0,25
26	0,31	0,11	0,32	0,25
27	0,23	0,14	0,34	0,21
28	0,27	0,15	0,32	0,25
29	0,27	0,17	0,31	0,19
30	0,24	0,14	0,23	0,23
31	0,36	0,17	0,32	0,18
32	0,26	0,17	0,28	0,21
33	0,33	0,16	0,31	0,20
34	0,29	0,08	0,24	0,16
35	0,31	0,14	0,26	0,17
36	0,30	0,15	0,36	0,23
37	0,27	0,17	0,33	0,21
38	0,28	0,12	0,29	0,13
39	0,26	0,15	0,25	0,19
40	0,25	0,11	0,23	0,12
41	0,37	0,18	0,31	0,20
42	0,28	0,12	0,31	0,19
43	0,39	0,22	0,31	0,19
44	0,21	0,08	0,29	0,17
45	0,27	0,11	0,20	0,13
46	0,29	0,09	0,28	0,12
47	0,31	0,09	0,29	0,14
48	0,38	0,11	0,33	0,24

Patient (K)	Mittelwert A	Mittelwert B	Mittelwert C	Mittelwert D
49	0,34	0,22	0,46	0,30
50	0,30	0,17	0,34	0,21
51	0,44	0,15	0,41	0,18
52	0,23	0,36	0,40	0,23
53	0,32	0,18	0,37	0,21
54	0,24	0,12	0,23	0,12
55	0,30	0,12	0,35	0,23
56	0,36	0,14	0,33	0,19
57	0,13	0,14	0,17	0,23
58	0,27	0,18	0,38	0,23
59	0,24	0,15	0,23	0,19
60	0,22	0,14	0,21	0,12
61	0,19	0,10	0,25	0,12
62	0,20	0,12	0,25	0,19
63	0,26	0,09	0,30	0,18
64	0,31	0,13	0,28	0,16
65	0,25	0,14	0,32	0,28
66	0,25	0,16	0,28	0,24
67	0,24	0,13	0,25	0,21
68	0,22	0,08	0,18	0,13
69	0,32	0,22	0,27	0,17
70	0,26	0,13	0,22	0,15
71	0,34	0,23	0,39	0,28
72	0,30	0,18	0,26	0,17
73	0,21	0,11	0,22	0,14

74	0,24	0,10	0,26	0,13
75	0,17	0,13	0,19	0,05
76	0,25	0,18	0,43	0,24
77	0,22	0,14	0,25	0,15
78	0,24	0,16	0,32	0,19
79	0,32	0,14	0,29	0,19
80	0,37	0,15	0,20	0,17
81	0,23	0,13	0,20	0,17
82	0,28	0,12	0,32	0,19
83	0,25	0,12	0,26	0,16
84	0,19	0,09	0,29	0,17
85	0,31	0,15	0,31	0,23
86	0,37	0,13	0,32	0,18
87	0,45	0,23	0,34	0,25
88	0,21	0,19	0,32	0,18
89	0,29	0,09	0,34	0,15
90	0,29	0,17	0,33	0,26
91	0,18	0,06	0,21	0,07
92	0,34	0,15	0,32	0,22
93	0,16	0,10	0,19	0,17
94	0,21	0,22	0,23	0,20
95	0,25	0,21	0,29	0,22
96	0,25	0,12	0,24	0,19
97	0,30	0,16	0,32	0,20
98	0,28	0,18	0,31	0,27
99	0,30	0,18	0,28	0,19

## 7.6. Messergebnisse des zweiten Untersuchers

### 7.6.1. Ergebnisse der Vermessung der Gruppe ME

Patient (ME)	X0°	Y0°1	Y0°2	X45°	Y45°1	Y45°2	A	B	C	D
1	272,17	67,51	0	258,48	35,76	13,01	0,14	0,05	0,25	0,00
2	270,96	60,66	18,21	270,91	65,2	50,46	0,24	0,19	0,22	0,07
3	269,49	74,86	50,74	244,54	49,02	33,87	0,20	0,14	0,28	0,19
4	244	87	32	248	87	46	0,35	0,19	0,36	0,13
5	242,67	64	41,5	243	59	43	0,24	0,18	0,26	0,17
6	208,14	70,79	45,31	164,01	66,59	35,76	0,41	0,22	0,34	0,22
7	229,93	30,44	21,95	174,5	16,03	0	0,09	0,00	0,13	0,10
8	195,46	35,65	11,1	141,2	38,09	20,05	0,27	0,14	0,18	0,06
9	162,6	15,04	7,56	160,38	10,52	9,02	0,07	0,06	0,09	0,05
10	149,29	39,16	19,01	216,37	0	0	0,00	0,00	0,26	0,13
11	158,25	59,14	27,06	163,89	51,18	13,53	0,31	0,08	0,37	0,17
12	207,29	65,52	16,65	223,41	24,01	16,59	0,11	0,07	0,32	0,08
13	220,39	65,02	25,89	230,61	42,55	19,73	0,18	0,09	0,30	0,12
14	251,5	86,16	38,04	246,85	74,52	43,47	0,30	0,18	0,34	0,15
15	223,52	18	6,52	218,36	15,8	6,65	0,07	0,03	0,08	0,03
16	270,13	29,02	35,33	167,83	0	0	0,00	0,00	0,11	0,13
17	164,65	31,59	11,97	153,64	23,93	11,01	0,16	0,07	0,19	0,07
18	219,05	79,32	27,63	181,64	51,3	20,2	0,28	0,11	0,36	0,13
19	305	86,94	27	294,39	40,06	5,69	0,14	0,02	0,29	0,09
20	227,59	48,89	16,52	209,64	51,18	35,76	0,24	0,17	0,21	0,07
21	203,48	60,18	31,86	208,14	65,84	41,06	0,32	0,20	0,30	0,16
22	197,49	37,23	12,95	183,97	46,91	25,91	0,25	0,14	0,19	0,07
23	158,25	59,14	27,06	163,89	51,18	13,53	0,31	0,08	0,37	0,17

Patient (ME)	X0°	Y0°1	Y0°2	X45°	Y45°1	Y45°2	A	B	C	D	
24	208,03	61,55	28,39	196,23	43,27	32,98	0,22	0,17	0,30	0,14	
25	201,47	70,27	8,83	214,93	39,45	15,9	0,18	0,07	0,35	0,04	
26	262,2	30,98	0	238,68	0	0	0,00	0,00	0,12	0,00	
27	185,2	22,6	8,9	140,2	22,49	13,26	0,16	0,09	0,12	0,05	
28	259,73	46,2	13,5	207,55	33,21	5,53	0,16	0,03	0,18	0,05	
29	168,11	78,18	21,45	127,3	10,38	11,07	0,08	0,09	0,47	0,13	
30	156,32	35,2	21	143,41	21,09	12,24	0,15	0,09	0,23	0,13	
31	213,4	51,3	20,67	210,88	39,64	17,7	0,19	0,08	0,24	0,10	
32	112,16	30,37	5,2	93,63	21,06	0	0,22	0,00	0,27	0,05	
33	151,85	43	13,26	137,99	0	19,1	0,00	0,14	0,28	0,09	
34	150,04	24,7	9,64	151,24	16,27	0	0,11	0,00	0,16	0,06	
35	225,33	68,31	23,83	250,12	0	0	0,00	0,00	0,30	0,11	
36	141,84	36,67	0	133,77	10,24	0	0,08	0,00	0,26	0,00	
							<b>Mittelwert</b>	0,17	0,09	0,25	0,10
							<b>Median</b>	0,17	0,08	0,26	0,09
							<b>Max.</b>	0,41	0,22	0,47	0,22
							<b>Min.</b>	0,00	0,00	0,08	0,00

**7.6.2 Ergebnisse der Vermessung der Gruppe K**

<b>Patient (K)</b>	<b>X0°</b>	<b>Y0°1</b>	<b>Y0°2</b>	<b>X45°</b>	<b>Y45°1</b>	<b>Y45°2</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
<b>1</b>	64,84	24,15	11,05	85,59	28,27	19,91	0,37	0,17	0,33	0,23
<b>2</b>	105,5	25,31	11,94	111,47	33,04	20,3	0,24	0,11	0,30	0,18
<b>3</b>	62,1	17,1	11,57	86,8	31,04	23,67	0,28	0,19	0,36	0,27
<b>4</b>	77,33	27,74	10,06	86,97	28,58	17,92	0,36	0,13	0,33	0,21
<b>5</b>	68,68	20,81	10,03	96,9	33,37	15,08	0,30	0,15	0,34	0,16
<b>6</b>	79,22	28,43	8,32	91,54	22,19	19,42	0,36	0,11	0,24	0,21
<b>7</b>	61,86	20,84	12,38	78,22	35,33	18,42	0,34	0,20	0,45	0,24
<b>8</b>	61,61	17,21	8,46	87,6	29,29	18,42	0,28	0,14	0,33	0,21
<b>9</b>	65,59	19,74	8,41	89,96	27,18	14,24	0,30	0,13	0,30	0,16
<b>10</b>	61,31	19,11	10,03	82,84	25,24	14,56	0,31	0,16	0,30	0,18
<b>11</b>	66,98	18,12	7,77	95,07	26,97	18,12	0,27	0,12	0,28	0,19
<b>12</b>	62,13	17,47	8,74	85,75	30,74	22,33	0,28	0,14	0,36	0,26
<b>13</b>	60,84	26,86	5,18	80,25	33,65	18,77	0,44	0,09	0,42	0,23
<b>14</b>	78,5	16,53	11,8	95,85	26,14	12,34	0,21	0,15	0,27	0,13
<b>15</b>	60,79	16,25	12,85	84,96	32,57	20,33	0,27	0,21	0,38	0,24
<b>16</b>	70,51	22,03	9,09	96,09	33,07	18,67	0,31	0,13	0,34	0,19
<b>17</b>	69,64	24,51	11,67	91,81	30,73	21,4	0,35	0,17	0,33	0,23
<b>18</b>	61,31	17,52	13,14	88,38	31,85	24,68	0,29	0,21	0,36	0,28
<b>19</b>	69	15,53	8,46	89,97	25,88	21,5	0,23	0,12	0,29	0,24
<b>20</b>	64,1	16,32	7,56	85,19	24,68	17,12	0,25	0,12	0,29	0,20
<b>21</b>	62,45	19,42	9,38	85,11	29,45	13,27	0,31	0,15	0,35	0,16
<b>22</b>	67,63	12,94	7,44	89,8	24,27	14,91	0,19	0,11	0,27	0,17
<b>23</b>	67,27	23,58	9,02	97,43	29,47	13,87	0,35	0,13	0,30	0,14
<b>24</b>	65,19	12,3	8,32	84,6	30,86	15,26	0,19	0,13	0,36	0,18

Patient (K)	X0°	Y0°1	Y0°2	X45°	Y45°1	Y45°2	A	B	C	D
25	67,31	18,77	11,65	94,49	34,95	23,62	0,28	0,17	0,37	0,25
26	61,16	19,17	9,86	108,49	35,67	27,49	0,31	0,16	0,33	0,25
27	62,57	15,22	8,46	110,35	42,73	22,66	0,24	0,14	0,39	0,21
28	60,6	13,53	9,02	82,86	23,67	20,57	0,22	0,15	0,29	0,25
29	71,31	19,73	12,12	92,72	33,26	17,19	0,28	0,17	0,36	0,19
30	140,07	28,8	20,39	105,89	22,66	23,41	0,21	0,15	0,21	0,22
31	60,88	22,87	10,2	88,07	29,67	16,38	0,38	0,17	0,34	0,19
32	63,66	16,73	9,89	76,04	24,71	16,35	0,26	0,16	0,32	0,22
33	68,43	22,81	11,79	79,84	26,23	14,83	0,33	0,17	0,33	0,19
34	68,05	17,11	7,98	89,72	25,47	14,07	0,25	0,12	0,28	0,16
35	64,25	18,23	8,34	86,93	24,13	15,61	0,28	0,13	0,28	0,18
36	67,41	21,64	11,71	90,83	33,35	20,22	0,32	0,17	0,37	0,22
37	63,51	15,61	11	90,12	29,8	17,03	0,25	0,17	0,33	0,19
38	76,28	19,92	8,07	103,62	28,53	12,42	0,26	0,11	0,28	0,12
39	71,59	16,35	10,5	99,61	27,37	18,63	0,23	0,15	0,27	0,19
40	71,1	18,63	7,22	65,39	14,83	6,08	0,26	0,10	0,23	0,09
41	61,21	22,05	10,27	113,66	35,08	21,52	0,36	0,17	0,31	0,19
42	66,13	18,23	8,03	117,86	30,12	22,7	0,28	0,12	0,26	0,19
43	73,34	27,5	15,28	91,67	26,19	15,28	0,37	0,21	0,29	0,17
44	86,43	17,9	6,11	82,94	23,14	13,1	0,21	0,07	0,28	0,16
45	115,85	30,26	9,55	107,09	18,71	11,94	0,26	0,08	0,17	0,11
46	67,28	19,51	7,56	115,85	28,27	14,33	0,29	0,11	0,24	0,12
47	66,48	17,91	5,57	115,45	35,43	15,13	0,27	0,08	0,31	0,13
48	91,56	36,23	10,35	113,46	39,41	27,87	0,40	0,11	0,35	0,25
49	59,32	24,28	13,54	82,81	34,24	21,9	0,41	0,23	0,41	0,26

Patient (K)	X0°	Y0°1	Y0°2	X45°	Y45°1	Y45°2	A	B	C	D
50	70,46	21,1	13,93	69,67	24,28	13,54	0,30	0,20	0,35	0,19
51	70,46	30,26	10,75	77,23	29,06	13,14	0,43	0,15	0,38	0,17
52	67,68	18,31	15,92	69,67	29,46	16,72	0,27	0,24	0,42	0,24
53	72,85	23,49	12,34	75,64	28,27	16,72	0,32	0,17	0,37	0,22
54	66,88	18,31	7,17	89,57	23,09	11,55	0,27	0,11	0,26	0,13
55	82,41	28,66	9,16	101,52	35,83	20,7	0,35	0,11	0,35	0,20
56	126,68	48,72	16,41	97,44	30,77	19,49	0,38	0,13	0,32	0,20
57	67,09	10,17	7,79	83,02	12,54	17,28	0,15	0,12	0,15	0,21
58	51,84	16,12	8,47	70,89	25,28	15,01	0,31	0,16	0,36	0,21
59	60,75	17,87	9,38	84,87	19,21	16,08	0,29	0,15	0,23	0,19
60	98,72	23,23	14,74	76,83	18,31	9,83	0,24	0,15	0,24	0,13
61	88	16,97	10,27	103,18	29,03	12,06	0,19	0,12	0,28	0,12
62	56,6	9,8	7,91	80,95	22,14	15,81	0,17	0,14	0,27	0,20
63	51,23	13,28	5,38	75,89	24,67	13,91	0,26	0,11	0,33	0,18
64	59,45	18,89	8,54	83,87	25,43	13,07	0,32	0,14	0,30	0,16
65	60,65	14,91	10,17	78,61	25,07	22,02	0,25	0,17	0,32	0,28
66	57,94	14,91	10,5	76,58	23,38	17,28	0,26	0,18	0,31	0,23
67	54,89	12,2	7,45	75,9	21,01	16,6	0,22	0,14	0,28	0,22
68	63,8	12,65	6,01	93,18	18,98	12,2	0,20	0,09	0,20	0,13
69	64,61	19,05	13,76	85,04	23,76	15,42	0,29	0,21	0,28	0,18
70	59,64	17,12	7,12	106,74	26,09	15,93	0,29	0,12	0,24	0,15
71	50,17	17,41	11,8	71,42	26,56	18,89	0,35	0,24	0,37	0,26
72	57,55	15,8	10,03	83,52	21,25	14,17	0,27	0,17	0,25	0,17
73	57,58	12,69	7,78	103,29	22,13	15,64	0,22	0,14	0,21	0,15
74	61,68	15,05	7,08	102,1	23,61	13,58	0,24	0,11	0,23	0,13

<b>Patient (K)</b>	<b>X0°</b>	<b>Y0°1</b>	<b>Y0°2</b>	<b>X45°</b>	<b>Y45°1</b>	<b>Y45°2</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
<b>75</b>	82,63	15,94	11,8	88,24	17,71	3,84	0,19	0,14	0,20	0,04
<b>76</b>	113,92	28,33	20,36	118,05	45,6	31,28	0,25	0,18	0,39	0,26
<b>77</b>	54,6	12,23	8,16	76,28	23,03	11,75	0,22	0,15	0,30	0,15
<b>78</b>	51,4	10,92	7,9	92,79	30,84	17,94	0,21	0,15	0,33	0,19
<b>79</b>	53,43	18,52	7,6	96,52	30,59	18,13	0,35	0,14	0,32	0,19
<b>80</b>	61,79	19,29	7,84	72,73	16,44	14,55	0,31	0,13	0,23	0,20
<b>81</b>	61,03	13,91	9,96	70,84	14,55	11,38	0,23	0,16	0,21	0,16
<b>82</b>	68,76	17,12	8,9	68,47	20,66	12,99	0,25	0,13	0,30	0,19
<b>83</b>	70,53	16,5	6,2	70,24	18,59	9,44	0,23	0,09	0,26	0,13
<b>84</b>	65,81	13,58	5,31	74,08	22,43	10,92	0,21	0,08	0,30	0,15
<b>85</b>	78,8	25,68	11,8	99,98	32,29	21,4	0,33	0,15	0,32	0,21
<b>86</b>	57,24	27,5	8,54	90,12	27,2	13,6	0,48	0,15	0,30	0,15
<b>87</b>	61,98	28,14	14,23	57,87	19,92	14,23	0,45	0,23	0,34	0,25
<b>88</b>	59,91	17,41	10,03	81,16	28,04	15,35	0,29	0,17	0,35	0,19
<b>89</b>	60,79	12,34	4,13	77,95	29,14	12,51	0,20	0,07	0,37	0,16
<b>90</b>	55,57	14,01	8,81	77,6	25,75	20,33	0,25	0,16	0,33	0,26
<b>91</b>	56,8	9,15	1,77	79,98	16,53	4,72	0,16	0,03	0,21	0,06
<b>92</b>	101,54	33,07	16,26	117,1	36,57	26,84	0,33	0,16	0,31	0,23
<b>93</b>	57,83	7,81	4,97	96,95	19,39	16,35	0,14	0,09	0,20	0,17
<b>94</b>	63,16	11,9	9,58	104,7	24,85	17,52	0,19	0,15	0,24	0,17

Patient (K)	X0°	Y0°1	Y0°2	X45°	Y45°1	Y45°2	A	B	C	D	
95	59,02	13,29	11,43	76,33	20,09	15,45	0,23	0,19	0,26	0,20	
96	60,57	12,36	7,42	82,82	19,78	15,76	0,20	0,12	0,24	0,19	
97	56,55	18,23	9,58	55,32	16,07	9,58	0,32	0,17	0,29	0,17	
98	57,48	13,91	9,89	54,08	15,45	12,67	0,24	0,17	0,29	0,23	
99	52,23	16,69	9,27	73,55	24,1	14,52	0,32	0,18	0,33	0,20	
							<b>Mittelwert</b>	<b>0,28</b>	<b>0,14</b>	<b>0,30</b>	<b>0,19</b>
							<b>Median</b>	<b>0,27</b>	<b>0,15</b>	<b>0,30</b>	<b>0,19</b>
							<b>Max.</b>	<b>0,48</b>	<b>0,24</b>	<b>0,45</b>	<b>0,28</b>
							<b>Min.</b>	<b>0,14</b>	<b>0,03</b>	<b>0,15</b>	<b>0,04</b>
							<b>Stabw</b>	<b>0,07</b>	<b>0,04</b>	<b>0,06</b>	<b>0,05</b>

## 8. Literaturverzeichnis

1. Adams JG, McAlindon T, Dimasi M, Carey J, Eustace S (1999) Contribution of meniscal extrusion and cartilage loss to joint space narrowing in osteoarthritis. *Clin Radiol.* 54: 502-506
2. Ahmed AM, Burke DL (1983) In-vitro measurement of static pressure distribution in synovial joints--Part I: Tibial surface of the knee. *J Biomech Eng.* 105: 216-225
3. Aldadah O, Shepstone L, Donell ST (2011) Proprioception following partial meniscectomy in stable knees. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 19: 207-213
4. Altman RD, Gold GE (2007) Atlas of individual radiographic features in osteoarthritis, revised. *Osteoarthritis Cartilage.* 15: 1-56
5. Andrews S, Shrive N, Ronsky J (2011) The shocking truth about meniscus. *Journal of Biomechanics.* 44: 2737-2740
6. Arden N, Nevitt MC (2006) Osteoarthritis: Epidemiology. *Best Pract Res Clin Rheumatol.* 20: 3-25
7. Baratz ME, Fu FH, Mengato R (1986) Meniscal tears: The effect of meniscectomy and of repair on intraarticular contact areas and stress in the human knee: A preliminary report. *Am J Sports Med.* 14: 270

8. Brandt KD, Fife RS, Braunstein EM, Katz B (1991) Radiographic grading of the severity of the knee osteoarthritis: Relation of the Kellgren and Lawrence grade to a grade based on joint space narrowing, and correlation with arthroscopic evidence of articular cartilage degeneration. *Arthritis Rheum.* 34: 1381-1386
  
9. Buckland-Wright JC, Macfarlane DG, Williams SA, Ward RJ (1995) Accuracy and precision of joint space width measurements in standard and macroradiographs of osteoarthritic knees. *Ann Rheum Dis.* 54: 872-880
  
10. Buckland-Wright C (2006) Which radiographic techniques should we use for research and clinical practice? *Best Pract Res Clin Rheumatol.* 20: 39-55
  
11. Cannon WD, Vittori JM (1992) The incidence of healing in arthroscopic meniscal repairs in anterior cruciate ligament-reconstructed knees versus stable knees. *Am J Sports Med.* 20: 176-181
  
12. Chatain F, Chambat P, Neyret P (2003) A comparative study of medial versus lateral arthroscopic partial meniscectomy on stable knees: 10-year minimum follow-up. *Arthroscopy.* 19: 842-849
  
13. Choong PFM, Dowsey MM (2011) Update in surgery for osteoarthritis of the knee. *Int J Rheum Dis.* 14: 167-174
  
14. Cicuttini FM, Wluka AE, Forbes A, Wolfe R (2003) Comparison of tibial cartilage volume and radiologic grade of the tibiofemoral joint. *Arthritis Rheum.* 48: 682-688

15. Cicuttini F, Wluka A, Davis S, Strauss BJG, Yeung S, Ebeling PR (2004) Association between knee cartilage volume and bone mineral density in older adults without osteoarthritis. *Rheumatology*. 43: 765-769
16. Cicuttini F, Ding C, Wluka A, Davis S, Ebeling PR, Jones G (2005) Association of cartilage defects with loss of knee cartilage in healthy, middle-age adults. A prospective study. *Arthritis Rheum*. 52: 2033-2039
17. Cicuttini F, Hankin J, Jones G, Wluka A (2005) Comparison of conventional standing knee radiographs and magnetic resonance imaging in assessing progression of tibiofemoral joint osteoarthritis. *Osteoarthritis Cart*. 13: 722-727
18. Cooper DE, Arnoczky SP, Warren RF (1990) Arthroscopic meniscal repair. *Clin Sports Med*. 9: 589-607
19. Conrozier T, Favret H, Mathieu P, Piperno M, Prowedini D, Taccoen A, Colson F, Conrozier F, Vignon E (2004) Influence of the quality of tibial plateau alignment on the reproducibility of computer joint space measurement from Lyon schuss radiographic views of the knee in patients with knee osteoarthritis. *Osteoarthritis Cartilage*. 12: 765-770
20. Covall DJ, Wasilwski SA (1992) Roentgenographic changes after arthroscopic meniscectomy: Five-year follow-up in patients more than 45 years old. *Arthroscopy*. 8: 242-246
21. Dacre JE, Scott DL, Da Silva JAP, Welsh G, Huskisson EC (1991) Joint space in radiologically normal knees. *Br J Rheumatol*. 30: 426-428

22. Dervin GF, Feibel RJ, Rody K, Grabowski J (2001) 3-Foot standing AP versus 45° PA radiograph for osteoarthritis of the knee. *Clin J Sport Med.* 11: 10-16
23. Ding C, Cicuttini F, Scott F, Cooley H, Jones G (2005) Association between age and knee structural change: a cross sectional MRI based study. *Ann Rheum Dis.* 64: 549-555
24. Emrani PS, Katz JN, Kessler CL, Reichmann WM, Wright EA, McAlindon TE, Losina E (2008) Joint space narrowing and Kellgren-Lawrence progression in knee osteoarthritis: An Analytic Literature Synthesis. *Osteoarthritis Cartilage.* 16: 873-882
25. Englund M, Roos EM, Roos HP, Lohmander LS (2001) Patient-relevant outcomes fourteen years after meniscectomy: influence of type of meniscal tear and size of resection. *Rheumatology.* 40: 631-639
26. Englund M, Lohmander LS (2004) Risk factors for symptomatic knee osteoarthritis fifteen to twenty-two years after meniscectomy. *Arthritis Rheum.* 50: 2811-2819
27. Fairbank TJ (1948) Knee joint changes after meniscectomy. *J Bone Joint Surg Br.* 30: 664-670
28. Feeley BT, Gallo RA, Sherman S, Williams RJ (2010) Management of osteoarthritis of the knee in the active patient. *J Am Acad Orthop Surg.* 18: 406-416

29. Felson DT, Niu J, Guermazi A, Sack B, Aliabadi P (2011) Defining radiographic incidence and progression of knee osteoarthritis: suggested modifications of the Kellgren and Lawrence scale. *Ann Rheum Dis.* 70: 1884-1886
30. Fitzgibbons RE, Shelbourne KD (1995) "Aggressive" nontreatment of lateral meniscal tears seen during anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 23: 156-159
31. Gillquist J, Hamberg P, Lysholm L (1982) Endoscopic partial and total meniscectomy. *Acta Orthop Scand.* 53: 975-979
32. Gomoll AH, Filardo G, Almqvist FK, Bugbee WD, Jelic M, Monllau JC, Puddu G, W. G. Rodkey WG, Verdonk P, Verdonk R, Zaffagnini S, Marcacci M (2011) Surgical treatment for early osteoarthritis. Part II: allografts and concurrent procedures. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 20: 468-486
33. Gossec L, Jordan JM, Mazzuca SA, Lam M-A, Suarez-Almazor ME, Renner JB, Lopez-Olivo MA, Hawke G, Dougados M, Maillefert JF (2008) Comparative evaluation of three semi-quantitative radiographic grading techniques for knee osteoarthritis in terms of validity and reproducibility in 1759 X-rays: report of the OARSI-OMERACT task force. *Osteoarthritis Cartilage.* 16: 742-748
34. Hamberg P, Gillquist J, Lysholm J, (1983) Suture of new and old peripheral meniscal tears. *J Bone Joint Surg.* 65: 193-197

35. Hart DJ, Spector TD (2003) Kellgren & Lawrence grad 1 osteophytes in the knee - doubtful or definite? *Osteoarthritis Cartilage*. 11: 149-150
36. Hellio Le Graverand M-P, Mazzuca S, Lassere M, Guermazzi A, Pickering E, Brandt K, Peterfy C, Cline G, Nevitt M, Woodworth T, Conaghan P, Vignon E (2006) Assessment of the radio-anatomic positioning of the osteoarthritic knee in serial radiographs: comparison of three acquisition techniques. *Osteoarthritis Cartilage*. 14: 37
37. Hellio Le Graverand M-P, Vignon EP, Brandt KD, Mazzuca SA, Piperno M, Buck R, Charles HC, Hunter DJ, Jackson CG, Byers Kraus V, Link TM, Schnitzer TJ, Vaz A, Wyman B (2008) Head-to-head comparison of the Lyon Schuss and fixed flexion radiographic techniques. Long-term reproducibility in normal knees and sensitivity to change in osteoarthritic knees. *Ann Rheum Dis*. 67: 1562-1566
38. Hulet C, Menetrey J, Seil R (2014) Clinical and radiographic results of arthroscopic partial lateral meniscectomies in stable knees with a minimum follow up of 20 years. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, accepted for publication
39. Hunter DJ, Le Graverand M-P, Eckstein F (2009) Radiologic markers of osteoarthritis progression. *Curr Opin Rheumatol* 21: 110-117
40. Jackson JP (1968) Degenerative changes in the knee after meniscectomy. *Brit Med J*. 2: 525-527

41. Jacobsson J, Timpka T, Kowalski J, Nilsson S, Ekberg J, Renström P (2011) Prevalence of musculoskeletal injuries in Swedish elite track and field athletes. *Am J Sports Med.* 40: 163-169
42. Johnson RJ, Kettelkamp DB, Clark W, Leaverton P (1974) Factors affecting late results after meniscectomy. *J Bone Joint Surg Am.* 56: 719-729
43. Kapandji IA (2006) Funktionelle Anatomie der Gelenke: Schematisierte und kommentierte Zeichnungen zur menschlichen Biomechanik. 4th ed. Thieme, Würzburg
44. Kellgren JH, Lawrence JS (1957) Radiologic assessment of osteo-arthritis. *Ann Rheum Dis.* 16: 494-502
45. King D (1936) The healing of semilunar cartilages. *J Bone Joint Surg.* 18: 333
46. Klimkiewicz JJ, Shaffer B (2002) Meniscal surgery 2002 update: Indications and techniques for resection, repair, regeneration, and replacement. *Arthroscopy.* 18: 14-25
47. Kohn D, Mussack T, Plitz W (1993) Materialeigenschaften von Meniskusgewebe sowie der Einfluß von Menisken auf das Kompressionsverhalten des Kniegelenkes. *Z Orthop Ihre Grenzgeb* 1993; 131: 397-403
48. Krause WR, Pope MH, Johnson RJ, Wilder DG (1976) Mechanical changes in the knee after meniscectomy. *J Bone Joint Surg.* 58: 599-604

49. Kummer B (1994) Biomechanics of the meniscus. *Orthopäde.* 23: 90-92
50. Kurosawa H, Fukubayashi T, Nakajima H (1980) Load-bearing mode of the knee joint. *Clin Orhtop Relat Res.* 149: 283-290
51. Lützner J, Kasten P, Günther K-P, Kirschner S (2009) Surgical options for patients with osteoarthritis of the knee. *Nat Rev Rheumatol.* 5: 309-316
52. Makris EA, Hadidi P, Athanasiou KA (2011) The knee meniscus: Structure-function, pathophysiology, current repair techniques, and prospects for regeneration. *Biomaterials.* 32: 7411-7431
53. Mazzuca SA, Brandt KD, Dieppe PA, Doherty M, Katz BP, Lane KA (2001) Effect of alignment of the medial tibial plateau and x-ray beam on apparent progression of osteoarthritis in the standing anteroposterior knee radiograph. *Arthritis Rheum.* 44: 1786-1794
54. Mazzuca SA, Brandt KD, Buckwalter KA, Lequesne M (2004) Pitfalls in the accurate measurement of joint space narrowing in semiflexed, anteroposterior radiographic imaging of the knee. *Arthritis Rheum.* 50: 2508-2515
55. Merle-Vincent F, Vignon E, Brandt K, Piperno M, Coury-Lucas F, Conrozier T, Mathieu P, Hellio Le Graverand M-P (2007) Superiority of the Lyon schuss view over the standing anteroposterior view for detecting joint space narrowing, especially in the lateral tibiofemoral compartment, in early knee osteoarthritis. *Ann Rheum Dis.* 66: 747-753

56. Michael JW-P, Schlüter-Brust KU, Eysel P (2010) The epidemiology, etiology, diagnosis, and treatment of osteoarthritis of the knee. *Dtsch Arztebl Int.* 107: 152-162
57. Milachowski KA, Weismeyer K, Wirth CJ (1989) Homologous meniscus transplantation. *Int Orthop.* 13: 1-11
58. Noble J, Hamblen DL (1975) The pathology of the degenerative meniscus lesion. *J Bone Joint Surg.* 57: 180-186
59. Ornetti P, Brandt K, Hellio-Le Graverand M-P, Hochberg M, Hunter DJ, Kloppenburg M, Lane N, Maillefert JF, Mazzuca SA, Spector T, Utard-Wlerick G, Vignon E, Dougados M (2009) OARSI-OMERACT definition of relevant radiological progression in hip/knee osteoarthritis. *Osteoarthritis Cartilage.* 17: 856-863
60. Papalia R, Del Buono A, Osti L, Denaro V, Maffulli N (2011) Meniscectomy as a risk factor for knee osteoarthritis: a systematic review. *Br Med Bull.* 99: 89-106
61. Pape D, Seil R, Kohn D (2006) Meniskusersatz. *Tauma Berufskrankh.* 8: 232-236
62. Pereira D, Peleteiro B, Araújo J, Branco J, Santos RA, Ramos E (2011) The effect of osteoarthritis definition on prevalence and incidence estimates: a systematic review. *Osteoarthritis Cartilage.* 19: 1270-1285
63. Piperno M, Hellio Le Graverand M-P, Conrozier T, Bochu M, Mathieu P, Vignon E (1998) Quantitative evaluation of joint space width in femorotibial osteoarthritis: comparison of three radiographic views. *Osteoarthritis Cartilage.* 6: 252-259

64. Rechel JA, Collins CL, Comstock RD (2011) Epidemiology of injuries requiring surgery among high school athletes in the United States, 2005 to 2010. *J. Trauma.* 71: 982-989
65. Reichmann WM, Maillefert JF, Hunter DJ, Katz JN, Conaghan PG, Losina E (2011) Responsiveness to change and reliability of measurement of radiographic joint space width in osteoarthritis of the knee: a systematic review. *Osteoarthritis Cartilage* 19: 550-556
66. Reinhardt D (2004) *Therapie der Krankheiten im Kindes- und Jugendalter* 7. Auflage Springer, Berlin, Heidelberg, New York
67. Rijk PC (2004) Meniscal allograft transplantation - Part I: Background, results, graft selection and preservation, and surgical considerations. *Arthroscopy.* 20: 728-743
68. Rijk PC (2004) Meniscal allograft transplantation - Part II: Alternative treatments, effects on articular cartilage, and future directions. *Arthroscopy* 20: 851-859
69. Rockborn P, Gillquist J (1995) Outcome of arthroscopic meniscectomy. A 13-year physical and radiographic follow-up of 43 patients under 23 years of age. *Acta Orthop Scand.* 66: 113-117
70. Rosenberg TD, Paulos LE, Parker RD, Coward DB, Scott SM (1988) The forty-five-degree posteroanterior flexion weight-bearing radiograph of the knee. *J Bone Joint Surg.* 70: 1479-1483

71. Rubman MH, Noyes FR, Barber-Westin SD (1998) Arthroscopic repair of meniscal tears that extend into the avascular zone. A review of 198 single and complex tears. *Am J Sports Med.* 26: 87-95
72. Rupp S, Seil R, Kohn D (2002) Meniskusläsion. *Der Orthopäde.* 31: 812-831
73. Scheller G, Sobau C, Bülow JU (2001) Arthroscopic partial lateral meniscectomy in an otherwise normal knee: Clinical, functional, and radiographic results of a long-term follow-up study. *Arthroscopy.* 17: 946-952
74. Schiphof D, Boers M, Bierma-Zeinstra SMA (2008) Differences in descriptions of Kellgren and Lawrence grades of knee osteoarthritis. *Ann Rheum Dis.* 67: 1034-1036
75. Seedholm BB, Hargreaves DJ (1979) Transmission of the load in the knee joint with special reference to the role of the menisci. *Eng Med* 8:220.
76. Seil R, Vangiffen N, Pape D (2009) Thirty years of arthroscopic meniscal suture: What's left to be done? *Orthop Traumatol.* 95: 85-96
77. Shiraev T, Anderson SE, Hope N (2012) Meniscal Tear – Presentation, diagnosis and management. *Aust Fam Physician* 41: 182-187
78. Spector TD, Cooper C (1993) Radiographic assessment of osteoarthritis in population studies: whither Kellgren and Lawrence? *Osteoarthritis Cartilage.* 1: 203-206

79. Szebenyi B, Hollander AP, Dieppe P, Quilty B, Duddy J, Clarke S, Kirwan JR (2006) Associations between pain, function, and radiographic features in osteoarthritis of the knee. *Arthritis Rheum.* 54: 230-235
80. Tapper EM, Hoover NW (1969) Late results after meniscectomy. *J Bone Joint Surg Am.* 51: 517-603
81. Verdonk R, Kohn D (1999) Harvest and conservation of meniscal allografts. *Scand J Med Sci Sports.* 9: 158-159
82. Vignon E, Piperno M, Hellio Le Graverand M-P, Mazzuca SA, Brant KD, Mathieu P, Favret H, Vignon M, Merle-Vincent F, Conrozier T (2003) Measurement of radiographic joint space width in the tibiofemoral compartment of the osteoarthritic knee. Comparison of standing anteroposterior and Lyon Schuss views. *Arthritis Rheum.* 48: 378-384
83. Walker PS, Erkman MJ (1975) The role of the menisci in force transmission across the knee. *Clin Orthop.* 109: 184-192
84. Weiss CB, Lundberg M, Hamberg P, DeHaven KE, Gillquist J (1989) Non-operative treatment of meniscal tears. *J Bone Joint Surg.* 71: 811-822
85. Wirth CJ, Peters G (1997) Die Meniskusläsion. *Orthopäde.* 26: 191-208
86. Wirth CJ, Zichner L, Kohn D (2005) *Orthopädie und orthopädische Chirurgie.* 1. Auflage Thieme, Stuttgart

87. Wilmes P, Pape D, Kohn D, Seil R (2007) The reproducibility of radiographic measurement of lateral meniscus horn position. *Arthroscopy*. 23: 1079-1086
  
88. Wluka AE, Wang Y, Davis SR, Cicuttini FM (2005) Tibial plateau size is related to grade of joint space narrowing and osteophytes in healthy women and in women with osteoarthritis. *Ann Rheum Dis*. 64: 1033-1037
  
89. Wolfe F, Lane NE, Buckland-Wright C (2002) Radiographic methods in knee osteoarthritis: A further comparison of semiflexed (MTP), Schuss-Tunnel, and weight-bearing anteroposterior views for joint space narrowing and osteophytes. *J Rheumatol*. 29: 2597-2601

## 9. Danksagung

Zu Beginn möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. med. Romain Seil bedanken, für die Bereitstellung des interessanten Themas sowie die geduldige Unterstützung und die wertvollen Ratschläge während meiner Arbeit.

Weiterhin danke ich Herrn Dr. med. Philippe Wilmes für die Korrektur, Auswertung und nützlichen Ideen, die meine Arbeit bereichert haben.

Zudem bedanke ich mich bei Herrn Daniel Theisen, Ph.D., für die unentbehrliche Hilfe bei der statistischen Auswertung und Korrektur.

Ich bedanke mich ebenso bei Herrn Prof. Dr. med. Christophe Hulet für das Bereitstellen der Röntgenaufnahmen, ohne die diese Arbeit nie zustande gekommen wäre.

Meinen Eltern gebührt auch mein tiefster Dank für die ständige, selbstlose und großzügige Unterstützung in meinem Leben.

Auch bei meinen Geschwistern will ich mich herzlich bedanken für die Korrektur und Hilfestellung bei der Fertigstellung meiner Arbeit.

Bei Alix und Jemp bedanke ich mich für die stets aufmunternden Worte und Ratschläge.

Lieber Cyrille, ich danke Dir für Dein Verständnis, Deine Geduld und Zuneigung.

