

Aus der Klinik für Allgemeine Pädiatrie und Neonatologie
der Medizinischen Fakultät
der Universität des Saarlandes, Homburg/Saar
Direktor: Univ.- Prof. Dr. med. Michael Zemlin

Messung der Knorpeldicke am medialen Femurkondylus bei
sportlich aktiven Kindern und Jugendlichen mittels Ultraschall: Eine
Reliabilitätsanalyse.

**Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der
Theoretischen Medizin der Medizinischen Fakultät
der UNIVERSITÄT DES SAARLANDES
2023**

vorgelegt von Dirk Schneider

geb. am 10.11.1981 in Miltenberg am Main.

Aus der Klinik für Allgemeine Pädiatrie und Neonatologie, Universität des Saarlandes,
Homburg/Saar
Direktor: Univ.-Prof. Dr. M. Zemlin

Für meine geliebte Ehefrau und Mutter meiner Kinder

DANKE FÜR ALLES

Inhaltsverzeichnis

I. Abbildungsverzeichnis	IV
II. Tabellenverzeichnis	V
III. Abkürzungsverzeichnis	VIII
1. Zusammenfassung	1
2. Summary	2
3. Einleitung	3
3.1 <i>Darstellung des Forschungsverlaufes</i>	4
3.2 <i>Grundlagen der Evolution des Knorpels und dessen Mechanik</i>	5
3.2.1 Biomechanische Druckverteilungen durch Knorpelgewebe	6
3.2.2 Morphologie des Knorpels.....	7
3.2.3 Ernährung des Knorpelgewebes	9
3.3 <i>Knorpeladaptation an mechanische Belastungen</i>	10
3.3.1 Studienlage zur geschlechtsabhängigen Knorpelsituation	10
3.3.2 Studienlage zum kindlichen Knorpelgewebe.....	11
3.3.3 Studienlage zu kurzfristig veränderten Belastungen des Knorpels	12
3.3.4 Studienlage zu langfristig veränderten Belastungen des Knorpels	14
3.4 <i>Zwischenfazit und Hinführung zur Arthrose</i>	17
3.5 <i>Arthrose</i>	17
3.5.1 Unterteilung und Diagnostik der Arthrose.....	18
3.6 <i>Bildgebende Verfahren zur Analyse des Gelenkknorpels</i>	19
3.6.1 Röntgen	19
3.6.2 Magnetresonanztomographie	20
3.6.3 Sonographie	21
3.7 <i>Grundlagen der Lebensqualitätsforschung</i>	22
3.7.1 Erforschung der Lebensqualität bei Kindern und Jugendlichen	23
3.7.2 Erfassung der Lebensqualitätsdaten bei Kindern.....	23
3.7.3 EQ-5 für Messung der Lebensqualität bei Kindern und Jugendlichen	24
3.7.4 Fragebogen zur sportlichen Aktivität	24
3.8 <i>Sport und seine psychologisch wirksamen Eigenschaften</i>	25
3.9 <i>Zwischenfazit und Hinführung zur Fragestellung</i>	25

3.10	<i>Ziele der Arbeit/ Fragestellungen</i>	26
4.	Methodik und Material	28
4.1	<i>Studienplanung</i>	28
4.2	<i>Studiendesign</i>	28
4.3	<i>Teilnehmerrekrutierung</i>	29
4.3.1	Ein- und Ausschlusskriterien	29
4.3.2	Datenschutz und Teilnahmerklärung	29
4.4	<i>Fragebogen</i>	30
4.4.1	Konzeption der Fragebögen	30
4.4.2	Fragebogen zur sportlichen Aktivität	31
4.5	<i>Durchführung der Sonographiemessung</i>	31
4.5.1	Persönliche Voraussetzungen zur Sonographiemessung	32
4.5.2	Materielle Voraussetzungen zur Studiendurchführung	32
4.5.3	Konzeption und Ablauf der Datenerhebung	33
4.6	<i>Statistische Analyse</i>	34
4.6.1	Statistische Auswertung der Sonographiedaten	34
4.6.2	Statistische Auswertung der Fragebögen	36
5.	Ergebnisse	37
5.1	<i>Auswertung der erhobenen Sonographiedaten</i>	37
5.2	<i>Dropouts</i>	37
5.3	<i>Explorative Analyse</i>	37
5.3.1	Ergebnisse zur Sportartzugehörigkeit	37
5.4	<i>Methodenevaluierung Sonographiemessung</i>	40
5.4.1	Test-Retest Reliabilität Sonographiemessung	40
5.5	<i>Vergleichende Analysen der Knorpeldicken</i>	41
5.5.1	Knorpeldicken vor und nach Kniebeugen aller Teilnehmer	41
5.5.2	Durchschnittsknorpeldicken nach Geschlecht	42
5.5.3	Durchschnittsknorpeldicken nach Sportart	42
5.5.4	Durchschnittsknorpeldicken nach Alter	44
5.5.5	Durchschnittsknorpeldickenvergleich vor und nach Kniebeugen	45
5.6	<i>Teilnehmerspezifische Vergleiche</i>	47
5.6.1	Männliche Teilnehmer	48

5.6.2	Weibliche Teilnehmer	48
5.6.3	Vergleich der Durchschnittsknorpeldickendifferenz.....	49
5.7	<i>Auswertung der Fragebögen</i>	50
5.7.1	Auswertung des EQ-5D-Y	50
5.7.2	Fragebogenauswertung: Kennen von Emotionen	57
5.7.3	Auswertung zum Fragebogen zur Alltagszufriedenheit	65
6.	Diskussion	72
6.1	<i>Methodendiskussion</i>	72
6.1.1	Studienkonzept.....	72
6.1.2	Datenerhebungsinstrument Sonographiegerät.....	73
6.1.3	Teilnehmer.....	73
6.2	<i>Ergebnisdiskussion</i>	74
6.2.1	Diskussion zur Reliabilitätsprüfung.....	75
6.2.2	Diskussion über geschlechts-, sportart- und Altersunterschiede.....	77
6.2.3	Diskussion zur Auswertung des Fragebogens	85
6.3	<i>Generelle Diskussion</i>	88
6.4	<i>Fazit</i>	89
	Literaturverzeichnis	92

I. **Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Flüssigkeitstransport in Knorpelgewebe	7
Abbildung 2: Aufbau des Gelenkknorpels	8
Abbildung 3: Röntgenologische Darstellung der Arthrosegrade	19
Abbildung 4: Beispielhafter Auszug aus dem EQ-5D-Y	31
Abbildung 5: Sonographiegerät Clarius L7	32
Abbildung 6: Beispielhaftes Sonogramm des Kniegelenkknorpels.....	33
Abbildung 7: Schallkopfpositionierung.	34

II. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Richtwerte zur Bestimmung der Korrelation.....	35
Tabelle 2: Sportartzugehörigkeit der Teilnehmer	37
Tabelle 3: Darstellung der Altersstrukturen aller Teilnehmer	38
Tabelle 4: Darstellung der Altersstruktur nach Sportart	38
Tabelle 5: Darstellung der Geschlechterverteilung aller Teilnehmer	39
Tabelle 6: Geschlechterverteilung in einzelnen Sportarten.....	39
Tabelle 7: Prämessungen nach Cronbach´s Alpha aller Teilnehmer.....	40
Tabelle 8: Reliabilitätsberechnung aller Teilnehmer nach Kniebeugen	41
Tabelle 9: Knorpeldicken vor und nach Kniebeugen aller Teilnehmer.....	41
Tabelle 10: Durchschnittsknorpeldicke nach Geschlecht.....	42
Tabelle 11: Durchschnittsknorpeldicken nach Sportart.....	43
Tabelle 12: Knorpeldickendifferenz (nach Kniebeugen - vor Kniebeugen).....	44
Tabelle 13: Durchschnittsknorpeldicken vor und nach Kniebeugen nach Alter	45
Tabelle 14: Durchschnittsknorpeldicke aller Teilnehmer.....	45
Tabelle 15: Durchschnittsknorpeldicke der Fußballer	46
Tabelle 16: Durchschnittsknorpeldicken der Schützensportler	46
Tabelle 17: Durchschnittsknorpeldicken der Handballer	46
Tabelle 18: Durchschnittsknorpeldicken beim Karate	47
Tabelle 19: Durchschnittsknorpeldicken der Leichtathleten.....	47
Tabelle 20: Deskriptive Statistik der männlichen Teilnehmer	48
Tabelle 21: Deskriptive Statistik der weiblichen Teilnehmer	48
Tabelle 22: Knorpeldickendifferenzen geschlechtsübergreifend.....	48
Tabelle 23: Knorpeldickendifferenz im Altersvergleich	49
Tabelle 24: Bericht Knorpeldickendifferenz Sportartübergreifend.....	49
Tabelle 25: Deskriptive Statistik des EQ-5D-Y Fragebogens alle Teilnehmer.....	50
Tabelle 26: EQ-5D-Y, Schmerzen oder körperliche Beschwerden nach Sportart	53
Tabelle 27: EQ-5D-Y, Schmerzen oder körperliche Beschwerden nach Schulart.....	53

Tabelle 28: EQ-5D-Y, Schmerzen oder körperliche Beschwerden nach Jahrgangsstufe.....	54
Tabelle 29: EQ-5D-Y, Schmerzen oder körperliche Beschwerden nach Geschlecht	54
Tabelle 30: EQ-5D-Y, sich glücklich, traurig oder besorgt fühlen nach Schulart	55
Tabelle 31: EQ-5D-Y, aktuell empfundene Gesundheit nach Sportart	56
Tabelle 32: EQ-5D-Y, aktuell empfundene Gesundheit nach Schulart	56
Tabelle 33: EQ-5D-Y, aktuell empfundene Gesundheit nach Jahrgangsstufe.....	56
Tabelle 34: EQ-5D-Y, aktuell empfundene Gesundheit nach Geschlecht	57
Tabelle 35: Übersicht emotionaler Zustände alle Teilnehmer (1: häufig; 4: nie).....	57
Tabelle 36: Übersicht Angst nach Sportarten (1 : häufig; 4: nie)	58
Tabelle 37: Übersicht Angst nach Schulart (1 : häufig; 4: nie).....	58
Tabelle 38: Übersicht Angst nach Jahrgangsstufe (1 : häufig; 4: nie).....	59
Tabelle 39: Übersicht Angst nach Geschlecht (1 : häufig; 4: nie)	59
Tabelle 40: Niedergeschlagenheit nach Sportarten (1 : häufig; 4: nie).....	59
Tabelle 41: Übersicht Niedergeschlagenheit nach Schulart (1 : häufig; 4: nie)	60
Tabelle 42: Übersicht Niedergeschlagenheit nach Jahrgangsstufe (1 : häufig; 4: nie).....	60
Tabelle 43: Übersicht Niedergeschlagenheit nach Geschlecht.....	61
Tabelle 44: Übersicht Traurigkeit nach Sportart (1 : häufig; 4: nie).....	61
Tabelle 45: Übersicht Traurigkeit nach Schulart (1 : häufig; 4: nie)	61
Tabelle 46: Übersicht Traurigkeit nach Jahrgangsstufe (1 : häufig; 4: nie).....	62
Tabelle 47: Übersicht Traurigkeit nach Geschlecht (1 : häufig; 4: nie)	62
Tabelle 48: Übersicht Depression nach Jahrgangsstufe (1 : häufig; 4: nie).....	63
Tabelle 49: Übersicht Zufriedenheit nach Sportart (1 : häufig; 4: nie).....	63
Tabelle 50: Übersicht Zufriedenheit nach Schulart (1 : häufig; 4: nie)	64
Tabelle 51: Übersicht Zufriedenheit nach Jahrgangsstufe	64
Tabelle 52: Übersicht Zufriedenheit nach Geschlecht	65
Tabelle 53: Übersicht Alltagszufriedenheit nach Sportart (1 : häufig; 4: nie)	65
Tabelle 54: Übersicht Alltagszufriedenheit nach Schulart (1 : häufig; 4: nie).....	65
Tabelle 55: Übersicht Alltagszufriedenheit nach Jahrgangsstufe (1 : häufig; 4: nie)	66
Tabelle 56: Übersicht Alltagszufriedenheit nach Geschlecht (1 : häufig; 4: nie).....	66

Tabelle 57: Übersicht Glück nach Sportart (1 : häufig; 4: nie)	67
Tabelle 58: Übersicht Glück nach Schulart	67
Tabelle 59: Übersicht Glück nach Jahrgangsstufe (1 : häufig; 4: nie).....	67
Tabelle 60: Übersicht Glück nach Geschlecht (1 : häufig; 4: nie)	68
Tabelle 61: Übersicht Wertschätzung nach Sportart (1 : häufig; 4: nie).....	68
Tabelle 62: Übersicht Wertschätzung nach Schulart (1 : häufig; 4: nie)	68
Tabelle 63: Übersicht Wertschätzung nach Jahrgangsstufe (1 : häufig; 4: nie).....	69
Tabelle 64: Übersicht Wertschätzung nach Geschlecht (1 : häufig; 4: nie)	69
Tabelle 65: Übersicht sich wohlfühlen nach Jahrgangsstufe (1 : häufig; 4: nie)	70
Tabelle 66: Übersicht sich wohlfühlen nach Geschlecht.....	70
Tabelle 67: Übersicht sich fit und gesund fühlen nach Schulart	71
Tabelle 68: Übersicht sich fit und gesund fühlen nach Jahrgangsstufe (1 : häufig; 4: nie)....	71
Tabelle 69: Arthroseprävalenz in Deutschland	78
Tabelle 70: Altersdarstellung, abnehmend nach Knorpeldicke	81

III. Abkürzungsverzeichnis

§	Paragraph
&	Und
%	Prozent
<	Kleiner als
>	Größer als
α	alpha
Abb.	Abbildung
bzw.	Beziehungsweise
Ca.	Zirka
CDC	<i>Centers for Disease Control and Prevention</i>
Cm	Zentimeter
DEGUM e. V.	Deutsche Gesellschaft für Sonographie in der Medizin eingetragener Verein
df	Freiheitsgrad
EDA	Explorative Datenanalyse
EM	<i>Equilibrium Modulus</i>
F	Streuungswert
FB	Fußball
FS	Schützensport
HB	Handball
IBM	<i>International Business Machine</i>
ICC	Interklassen-Korrelationskoeffizient
IHH	Indian Hedgehog Signaling Molecule
JIA	Juvenile idiopathische Arthritis
KA	Karate
KG	Kilogramm
Kg/qm	Kilogramm pro Quadratmeter
KI	Konfidenzintervall
Km/h	Kilometer pro Stunde
LA	Leichtathletik
m	Meter
M	Mittelwert
M1- M6	Messung 1- 6
MHz	Megahertz
mm	Millimeter
mm ³	Kubikmillimeter

MRT	Magnetresonanztomographie
n	Anzahl, Stichprobe
p	Überschreitungswahrscheinlichkeit
Post	Nachher
Prä	Vorher
PWC 170	<i>Physical Working Capacity 170</i>
r	Reliabilität
S.	Seite
SD	Standardabweichung
SEM	Standardfehler des Mittelwertes
Sig.	Signifikanz
SPSS	Statistikpaket für die Sozialwissenschaften
VAS	Visual Analogskala
Vgl.	Vergleiche
Vs.	Versus
WHO	Weltgesundheitsorganisation
WHOQOL-Group	Weltgesundheitsorganisation <i>Quality of Life</i>

1. Zusammenfassung

Die hier vorliegende Studie zielt darauf ab, mittels Sonographietechnik an gesunden Kindern und Jugendlichen zwischen dem sechsten und 17. Lebensjahr beider Geschlechter¹ die Knorpeldicke am medialen Femurkondylus des dominanten Beines zu ermitteln. Um verlässliche Ergebnisse erhalten zu können, wurde als erster Schritt die Sonographietechnik validiert. Für eine Reliabilität des Sonographiegerätes wurden drei aufeinanderfolgende Messungen an gleicher Stelle durchgeführt. Nach Durchführung dieser drei Messungen wurden die Teilnehmer gebeten, 30 Kniebeugen durchzuführen, was aufzeigen sollte, ob die Knorpeldicke bereits nach dieser Anzahl an Kniebeugen variiert. Nach Abschluss der Kniebeugen wurden wiederholt drei aufeinanderfolgende Sonographiemessungen durchgeführt. Mit den erzeugten Daten konnten nun die Reliabilität des Sonographiegerätes, und die individuellen durchschnittlichen Knorpeldicken des einzelnen Teilnehmers - aufgeteilt nach Sportarten, Alter, Geschlecht, Schulart und Jahrgangsstufe - errechnet und dargestellt werden.

Zusätzlich wurden Fragebögen erstellt und an die Teilnehmer ausgehändigt. Hierbei konnten anlehnend an den Fragebogen EQ-5D-Y Daten zur allgemeinen Gesundheit, mentalen persönlichen Situation und psychischen Merkmalen wie Ängste, Depressionen etc. erhoben werden.

157 Kinder und Jugendliche nahmen an der Studie teil. Die sonographische Messung der Knorpeldicke war mit einem Wert von $r = 0,99$ sehr reliabel und eignet sich somit für künftige Studien. Weiterhin konnten sehr individuell unterschiedliche Knorpeldicken erhoben werden. In der Gesamtgruppe betrug die Knorpeldicke durchschnittlich 2,08 mm ($\pm 0,02$ mm) vor und 2,09 mm ($\pm 0,01$ mm) nach den 30 Kniebeugen. Die Durchführung von Kniebeugen führte zu diametralen Veränderungen der Knorpeldicke: Während einige Teilnehmer eine reduzierte Knorpeldicke aufwiesen, war sie bei anderen erhöht. Dies könnte auf unterschiedliche biomechanische Eigenschaften des Knorpels oder unterschiedlichen Belastungsmustern während der Kniebeugen beruhen.

Die aktuelle empfundene Gesundheit der Studienteilnehmer schwankte in einzelnen Bereichen enorm. In den Bereichen der mentalen Verfassung und psychischen Merkmalen konnten allerdings keine auffälligen Ergebnisse erzielt werden.

Gerade aufgrund der positiven Validierung der Sonographietechnik kann diese im Bereich der pädiatrischen und orthopädischen Früherkennung als eine kostengünstige und risikoarme Diagnostikmethode im Bereich des medialen Femurkondylus angewandt werden.

¹ Auf Grund der einfacheren Lesbarkeit, wird auf die gleichzeitige Verwendung der Sprachformen weiblich, männlich und divers verzichtet. Alle Personenbezeichnungen in dieser Arbeit gelten gleichwohl für alle Geschlechter.

2. Summary

This study aims to determine the cartilage thickness at the medial femoral condyle of the dominant leg of healthy children and adolescents between the ages of six and 17 of both sexes with sonography. To obtain reliable results, the sonography technique was validated as a first step. To ensure the reliability of the sonography device, three consecutive measurements were carried out at the same location. After taking these three measurements, participants were asked to perform 30 squats, with the intention to show whether cartilage thickness varied even after this number of squats. To demonstrate this, the three consecutive sonographic measurements were repeatedly carried out after the squats were completed. With the support of the generated data, the reliability of the sonography device as well as the individual average cartilage thicknesses of the individual participants - broken down by type of sport, age, gender, type of school and grade - could have been calculated and displayed.

In addition, questionnaires were created and handed out to the participants. Based on the EQ-5D-Y questionnaire, data on general health, personal mental situation and psychological characteristics such as fears, depression, etc. was collected.

157 children and adolescents were recruited for the study. With the value of $r = 0,99$ the sonographic measurement of the cartilage thickness was very reliable and therefore suitable for future studies. Furthermore, it has shown that there were very individually different cartilage thicknesses in all surveyed areas. The average cartilage thickness in the whole group was 2,08 mm ($\pm 0,02$ mm) prior and 2,09 mm ($\pm 0,01$ mm) after the 30 squats. The change in cartilage thickness after squatting also led to contradictory results. While some participants had reduced cartilage thickness, some had increased. This could be the result of different biomechanical characteristics of the cartilage or different strain patterns during the squats.

The currently perceived health fluctuated enormously in individual areas. However, no relevant results could be obtained in the areas of mental condition and psychological characteristics.

Particularly on the basis of the positive validation of the sonography technique, a cost-effective and low-risk diagnostic method can be used in the area of the medial femoral condyle in the area of pediatric and orthopedic early detection.

3. Einleitung

Der Knorpel besitzt physiologisch neben einem verbundhaften Aufbau aus Knorpelzellen und hochvisköser Interzellulärsubstanz eine hochelastische Druckfestigkeit sowie geringe Zugfestigkeit. Hierdurch kann eine optimale Kraftübertragung innerhalb eines Gelenkes erfolgen. Wird eine physiologische Grenze durch Überbeanspruchung überschritten, kann es zu Schäden an der knorpeligen Matrix sowie darüber hinaus zu einer Arthrose kommen (Kerin *et al.* 2002; Roos & Dahlberg, 2004). Nicht nur die Überbeanspruchung des Knorpels kann die Arthroseprävalenz beeinflussen, auch das Alter wird als Faktor betrachtet (CDC, 1995; Fuchs, Kuhnert & Scheidet-Nave, 2017). Zusätzlich spielt Übergewicht eine entscheidende Rolle bei diesem Krankheitsgeschehen (Heidari, 2011). Unter Arthrose versteht man eine degenerative Erkrankung der Gelenke, welche durch exogene oder endogene Ursachen, in den Industrienationen einer der häufigsten Gründe für körperliche Beschwerden, entsteht (Krasnokutsky, Samuels, Abramson, 2007). Die Gonarthrose wird hierbei als die häufigste Form mit schwerwiegenden Einschränkungen beschrieben (Andrianakos *et al.* 2006). Zhuo *et al.* (2012) sehen es als gesichertes Erkenntnis an, dass Genetik, Ernährung und Bewegung diejenigen Faktoren darstellen, welche ein Knorpelgewebe sowohl positiv als negativ beeinflussen. Untersuchungen deuten auf eine hohe interindividuelle Möglichkeit der Knorpeldicke bei gesunden Jugendlichen und jungen Erwachsenen ($28,4 \pm 4,1$ Jahre) Teilnehmer hin (Eckstein *et al.* 2001; Schneider *et al.* 2022). Die Arthrose wird auf der röntgenologischen Grundlage von Kellgren und Lawrence (1957), welche vier Schweregrade (I - IV) definierten diagnostiziert. Sie dient heute einer radiologischen Klassifizierung der Arthrose.

Mögliche Anpassungserscheinungen wurden anfangs vor allem durch Biopsien und Röntgendarstellungen am Knochen- und Muskelgewebe beobachtet. So zeigten Ergebnisse, dass körperliches Training einer Zunahme von Knochenmasse und Muskulatur bedingt und es durch fehlende Belastung bereits nach kurzer Zeit zu einer Atrophie des Knochengewebes der Muskulatur kommt (Pauwels, 1965). Zusätzlich konnten genetische Einflüsse zur Beeinflussung der Muskel- und Knochenmasse aufgezeigt werden. Sowohl das Forschungsteam um Pocock (1987) als auch Slemenda (1991) konnten an eineiigen Zwillingen nachweisen, dass Knochenmasse und Knochendichte zu ca. 50 % genetisch determiniert sind. Die restlichen ca. 50 % werden, laut den Autoren, durch mechanische Belastungen und Lebensgewohnheiten beeinflusst.

Die Magnetresonanztomographie (MRT) bietet als strahlenfreies, nicht invasives Bildgebungsverfahren eine dreidimensionale (3D) Visualisierung von Geweben. Dieses wird als Goldstandardverfahren anerkannt und bietet die Möglichkeit, die Knorpeldicke am

Lebenden exakt zu erfassen (Eckstein *et al.* 1998; Florkow *et al.* 2022). Durch diese Methodik ist man in der Lage, eine sehr detaillierte Darstellung von Weichgeweben zu erhalten, wodurch eine verbesserte Beurteilung von Qualität und Quantität des Knorpels gegeben ist. Eine hohe Reproduzierbarkeit der MRT-Messung bestätigen weitere Forschungen (Stammberger *et al.* 1999; Eckstein *et al.* 2001, 2002; Hyhlik-Dürr *et al.* 2000). Vermehrt sind Studien zur Knorpeldicke mittels MRT- bildgebender Verfahren durchgeführt worden: Das Forschungsteam um Mühlbauer (2000) konnte beim Vergleich von untrainierten Personen und professionellen Ausdauerathleten erkennen, dass die Professionellen größere Gelenkflächen in den Kniegelenken besitzen, obwohl sich das Knorpelvolumen und die Knorpeldicke nicht unterscheiden. Eckstein *et al.* (2002) untermauerten dieses Forschungsergebnis.

Ebenso konnte eine Reduktion der Knorpeldicke nach zwölf Monaten paraplegischen Zustandes in der Patella um 24 % sowie der medialen Tibia um 16 % gegenüber nicht paraplegischer Personen nachgewiesen werden (Vanwanseele *et al.* 2002). Die Autoren schließen darauf, dass es nach Immobilisation automatisch zu einer Atrophie des Knorpelgewebes kommen kann.

Nachteile der MRT-Untersuchung sind neben den hohen Kosten und dem Zeitfaktor (bis zu 30 Minuten für eine Untersuchung) die aufwändigen und komplizierten Auswertungen der erhobenen Daten. Um zukünftig die hohen Kosten und komplexen Auswertungen zu umgehen, wurden in einer Studie zur Ermittlung der Knorpeldicke des Kniegelenks aus dem Jahr 2017 die Messungen mittels MRT und zusätzlicher Hilfe eines Sonographiegerätes durchgeführt (Schmitz *et al.* 2017). Nach Auswertung dieser Studie wurde die Messmethodik unter Zuhilfenahme des Sonographiegerät als gut geeignet angesehen. Um eine Sonographiemessung zur Ermittlung der Knorpeldicke standardisieren zu können, bedarf es nach Schmitz *et al.* 2017 weiterer aussagekräftiger Studien.

3.1 Darstellung des Forschungsverlaufes

Als zu Beginn der skelettalen Entwicklungsforschung der Fokus auf Muskulatur und Knochenwachstum bzw. deren physikalische Charakteristika lag (Frost, 1964; Pauwels, 1965), wurden mit dem vermehrten Einsatz der Röntgentechnik Studien über Knorpeldicke und Arthrose von Gelenken erstellt. Mit dem Aufkommen präziserer Diagnostikmethoden, wie beispielsweise der MRT- Bildgebung, konnten die Knorpeldicken exakt ermittelt werden (Wirth & Eckstein, 2008).

Die evolutionäre Entwicklung der menschlichen Spezies spielt in der heutigen wissenschaftlichen Denkweise eine wichtige Rolle, wobei das Skelettsystem für die phylogenetische Analyse oftmals genutzt wird (Hall, 2005). Als wesentlicher Beitrag zum

Verständnis der Knorpelentwicklung kann der entwicklungsgeschichtliche Prozess des Menschen angesehen werden. Neben den Bausteinen des Knorpels wie beispielsweise Proteoglykanen, Kollagenfibrillen oder die Synovialflüssigkeit, welche für eine gute Bewegung elementar ist, werden nachfolgend nützliche Informationen zusammengefasst und dargestellt.

3.2 Grundlagen der Evolution des Knorpels und dessen Mechanik

Das Skelettsystem ist ein Kennzeichen von Wirbeltieren und wird oftmals für phylogenetische Analysen herangezogen (Hall, 2005). Es kann somit für die Entwicklung des Knorpels in der Stammesgeschichte des Menschen von Bedeutung sein, wenn gleich wenig über die exakte molekulare Entstehung bekannt ist. Möchte man die phylogenetischen Ursprünge von Knorpeln, Knochen und Zähnen darlegen, so muss man auf dessen Entwicklung von über mehreren 100 Millionen Jahre zurückblicken. Forscher unter der Leitung von Hecht nahmen sich dieser Thematik im Jahr 2008 an. Hierzu suchten sie Gene, welche für die Skelettentwicklung elementar waren. Sie fokussierten sich auf die *IHH* (Indian Hedgehog Signaling Molecule)², welche nachweislich eine entscheidende Rolle in der Skelettentwicklung spielen und ohne diese eine Knorpeldifferenzierung unmöglich wäre (Stricker *et al.* 2002; Yoshida *et al.* 2004; Yoshida & Komori, 2005). Die Genaktivität konnte über mehrere hundert Millionen Jahre zurückverfolgt werden (Nah *et al.* 2014). *IHH* konnten in zahnähnlichen Hautschuppen sowie Knorpel des Katzenhais (*Scyliorhinus canicula*), Schleimaalen sowie Kiemendarm von Lanzettfischchen gefunden werden. Die Hautschuppen des Katzenhais, so Hecht, würde auf eine gemeinsame Vorläuferstruktur schließen lassen. Die *IHH*-Gene spielen nebst der Skelettentwicklung für die Blutbildung (Hämatopoese) eine bedeutende Rolle. Sie können auf direktem Weg die Zahn- und Knochenbildung sowie die Reifung von Knorpelzellen beeinflussen und regulieren durch die Differenzierung von Chondrozyten und Osteoblasten sowie die Expression vieler extrazellulärer Matrixproteingene, die Chondrozyten und Osteoblasten und damit die Knorpelentwicklung (Wang *et al.* 2005; Komori, 2010).

Das Forscherteam um Hecht (2008) versuchte mit Hilfe dieser Organismen einzelne evolutionäre Epochen zu repräsentieren. Hierzu versuchten sie, einen Zusammenhang zwischen der Gen- und Skelettentwicklung darzustellen. Ihr Ziel war die Beantwortung der Frage, wann und aus welchen Strukturen das Skelett in der Evolution entstand.

So konnten die Wissenschaftler eine hohe Aktivität aller drei *IHH* vor allem in den Hautzähnen des Katzenhais feststellen. Hecht (2008) vermutet, dass Knochen zuerst in der Haut entstanden. Diese sind dann im Laufe der Evolution zur Verstärkung des Skeletts genutzt worden. Über weitere Millionen Jahre Evolution hinweg, wurden alle knöchernen

² Hedgehog Gen: essenzielle sekretierte Signalmoleküle, die eine Vielzahl von Entwicklungsprozessen regulieren, einschließlich Wachstum, Strukturierung und Morphogenese. Das von diesem Gen kodierte Protein spielt spezifisch eine Rolle beim Knochenwachstum und dessen Differenzierung.

Gelenkpartner mit Knorpelmasse überzogen. Diese dienen vor allem dem Schutz der Gelenke gegen einwirkende Druck- und Scherbelastungen. Der Knorpel ist in Kombination mit der Synovialflüssigkeit³ diejenige Struktur, welche sowohl statisch als auch dynamisch ein annähernd reibungsloses Gelenkflächengleiten ermöglicht und die Biegekräfte auf die folgenden Extremitäten minimiert (Pauwels, 2012).

3.2.1 Biomechanische Druckverteilungen durch Knorpelgewebe

Kollagenfibrillen sind hauptsächlich für die elastischen Charakteristika zuständig, während die zähflüssigen Merkmale des Knorpels durch Proteoglykane⁴ ermöglicht werden (Bader & Kempson, 1994; Kim, Bonassar, & Grodzinsky, 1995; Laasanen *et al.* 2003).

Hierdurch kann ein Erreichen des Gleichgewichtszustandes automatisch verlängert werden (Herberhold *et al.* 1999). Die stärker auf mechanische Einwirkungen reagierende oberflächlich liegende Tangentialzone weist eine größere Verformbarkeit als tiefer liegende Knorpelschichten auf (Schinagl *et al.* 1997; Glaser & Putz, 2002). Eine übermäßige Flüssigkeitsexsudation in den Gelenkspalt kann durch die geringe Permeabilität der Tangentialzone verhindert werden. Gleichzeitig wird der Aufbau des hydrostatischen Druckes im Knorpel unterstützt (Setton 1993).

Durch die Poren der Kollagen-Proteoglykan Matrix wird die Gelenkflüssigkeit gepresst, um hohe Druckspitzen unbeschadet überstehen zu können, was durch die biphasische Theorie⁵ erklärt wird (Huang 2003). Diese dient der Erklärung von biomechanischen Eigenschaften und beschreibt eine feste, nichtkomprimierbare mit einer flüssigen Phase. Kommt es zu einer Kompressionseinwirkung auf das Knorpelgewebe, wird die Last zu Beginn, für kurze Zeit innerhalb der flüssigen Phase vom hydrostatischen Druck getragen. Folgend kann durch den verringerten Reibungswiderstand das Knorpelkollagen vor einer Überdehnung gehindert werden (Soltz & Ateshian 1998, Herberhold *et al.* 1999). Bei diesem Prozess kommt es zu keiner nennenswerten Deformation der eigenen Matrix (Ateshian & Wang, 1995). Abbildung 1 zeigt den Flüssigkeitstransport bei Be- und Entlastung (modifiziert nach Woo).

³ Viskose, klare Körperflüssigkeit in Gelenken und bildet einen Gleitfilm auf den Gelenkflächen.

⁴ Proteoglykane sind Hauptbestandteile der extrazellulären Matrix, welche für eine Stabilisierung zwischen den Zellen maßgebend sind. Weiterhin sind sie an der Bindung von Kationen beteiligt und können die Bewegung einzelner Moleküle innerhalb der Matrix regulieren.

⁵ Gewebe wird als Zusammensetzung einer porösen und einer flüssigen Phase betrachtet.

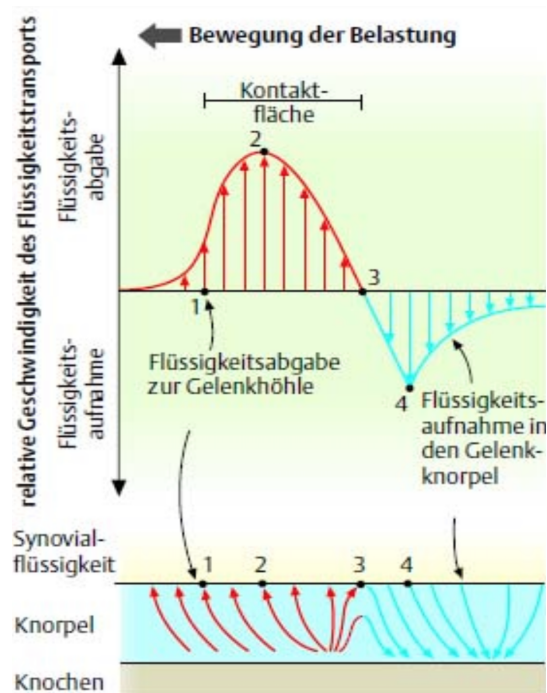


Abbildung 1: Flüssigkeitstransport in Knorpelgewebe

Quelle: Angewandte Physiologie, E-Book, S. 174 Abb.: 2.40 (Van den Berg, 2010).

Dieser langsam ablaufende Vorgang zwischen Wasser und Proteoglykanen stellt den viskösen Teil des biphasischen Verhaltens des Knorpelgewebes dar. Nach einer länger andauernden Belastung stellt sich zum Ende des Flüssigkeitsaustritts erneut ein Gleichgewicht ein, wodurch die Proteoglykan-Matrix die gesamte Last tragen muss. Diese Konstellation der Deformation wird als *Equilibrium Modulus* (EM) bezeichnet (Mow, 1997). Um diesen Prozess besser verdeutlichen zu können, wird folgend auf die Morphologie des Knorpels eingegangen.

3.2.2 Morphologie des Knorpels

Der milchig weißlich scheinende hyaline Gelenkknorpel besteht aus Chondrozyten, welche ca. zehn Prozent des Gesamtknorpelgewichts (Federico *et al.* 2005) und zwischen fünf Prozent (Szafranski *et al.*, 2004) und zehn Prozent (Archer & Francis-West, 2003) des Knorpelvolumens ausmachen. Sie sind für den Stoffwechsel, der von ihnen ausgehend produzierten extrazellulären Matrix, für die Reparatur des Knorpels zuständig (Bruckner & Van der Rest, 1994). Der gesunde menschliche Knorpel besitzt eine glatte Oberfläche und ist mit 3,6 mm ($\pm 0,34$ mm) gegenüber anderen Spezies dick, was durch eine aufrechte Gangweise erklärt wird (Kääb, Gwynn & Nötzli, 1998). Es wirken von Kindheit an mehr axiale Kräfte auf den Knorpel, wodurch eine physiologische Verdickung erfolgt.

Die Interzellulärsubstanz weist ein hohes Maß an Heterogenität auf und setzt sich zu ca. 70 % aus gelösten Ionen und Wasser sowie zu 30 % aus einer von Proteoglykanen und Kollagenen gebildeten Matrix zusammen. Um seiner Funktion als Träger des einwirkenden Gewichts innerhalb des Gelenks nachkommen zu können, sind keine verletzbaren Strukturen wie

Nerven, Blutgefäße oder Lymphbahnen angelegt (Pfister *et al.* 2001; Hall *et al.* 2003). Betrachtet man den Knorpelaufbau von der Gelenkoberfläche ausgehend hin zum Knochen, werden vier Zonen unterschieden (siehe Abbildung 2).

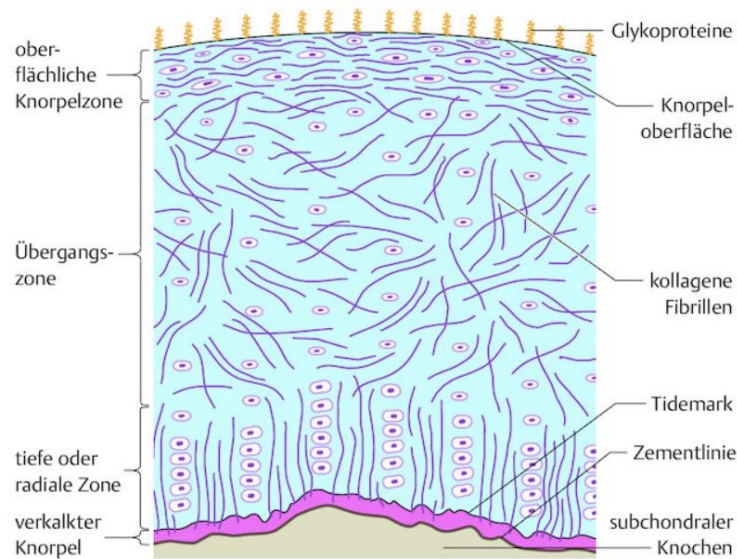


Abbildung 2: Aufbau des Gelenkknorpels

Quelle: Angewandte Physiologie, E-Book, S. 164 Abb.: 2.34 (Van den Berg, 2010).

Die oberste Zone (Oberflächliche Knorpelzone/ Tangentialzone), welche für den Flüssigkeitsaustausch (Setton *et al.* 1993) verantwortlich ist, ist die dünnste der vier Zonen und stellt 10-20 % der Knorpelgesamtdicke dar (Peterson & Cole, 2007). Sie ist für das viskoelastische Verhalten des Knorpels zuständig (Setton *et al.* 1993). Da die Wasserbindung hier deutlich größer als in allen anderen Zonen des Knorpels ist, dient diese Zone hauptsächlich dem Reduzieren von Reibungs- und Scherkräften. Parallel zur Oberfläche verlaufende kollagene Fibrillen sind in diesem Bereich des Knorpels am dünnsten. Hier liegt die Verantwortung über die Kontrolle des Flüssigkeitsaustausches.

In der darunterliegenden zweiten Zone (Übergangszone / Transitionalzone) kann bei den Kollagenfibrillen keine Vorzugsrichtung nachgewiesen werden. Sie besitzen den höchsten Kollagengehalt (Poole *et al.* 1997; Jeffery *et al.* 1991). Diese Zone wird als Übergangszone zur Radiärzone beschrieben (Aspden & Huskins, 1990). Sie nimmt mit ihren tangential zur Knorpeloberfläche orientierten Kollagenfibrillen ca. 40-60 % der Gesamtdicke des Knorpels ein (Peterson & Cole, 2007; Glaser *et al.* 2002; Hunziker *et al.* 2002). Entgegengesetzt der Tangentialzone ist der Kollagengehalt, bei gleichzeitigem Anstieg der Proteoglykankonzentration, niedriger (Muir *et al.* 1970; Poole *et al.* 1997). In dieser Zone ergibt sich aus den genannten Merkmalen eine geringere Zugfestigkeit (Saxena *et al.* 1991). Die Zellen dieser Zone sind primär zur Bildung von Grundsubstanz des Knorpelgewebes zuständig (Schmidt *et al.* 2005).

Die darunterliegende Radiärzone strahlt annähernd senkrecht in die kalzifizierte Zone ein (Hunziker, Quinn, Häuselmann, 2002; Poole *et al.* 1997).

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass oft belastete Gelenkanteile einen höheren Proteoglykangehalt bei einem niedrigeren Kollagengehalt besitzen (Akizuki *et al.* 1986; Poole *et al.* 1997) und dass es mit zunehmender Tiefe einen variablen Anteil an Flüssigkeit und Ausrichtung sowie Gehalt der einzelnen Matrixbestandteile gibt (Hedlund *et al.* 1993; Athanasiou *et al.* 1991).

Diese Kollagenfasern stehen senkrecht zur Oberfläche (Omelianenko *et al.* 1991). Untersuchungen am Schweineknochen konnten darlegen, dass sich diese radiäre Verlaufsrichtung erst mit der Skelettreife ausbildet (Putz & Fischer, 1993).

Die unterste und vierte Zone wird als kalzifizierte oder mineralisierte Knorpelzone bezeichnet. Als Hauptaufgabe dieser Zone kann die Verbindung durch die ansässigen kollagenen Fibrillen zwischen dem harten und dem weichen Gelenkknorpel sowie die Verbindung mit dem Knochen angesehen werden. Der Anteil der Knorpelgesamthöhe beträgt durchschnittlich drei bis neun Prozent. Eine Schwankungsbreite infolge der anatomischen Verzahnung mit dem Knochen liegt bei ca. 50 % (Müller-Gerbl *et al.* 1987). Anatomisch wird diese Zone zum subchondralen⁶ Knochen durch die „cement line“ abgegrenzt (Poole *et al.* 1997).

3.2.3 Ernährung des Knorpelgewebes

Da Knorpelgewebe avaskulär⁷ ist, ist es abhängig von der Diffusion von Nähr- und Abbauprodukten aus der Synovialflüssigkeit (Hunziker *et al.* 2002; Archer & Francis-West, 2003; Dudhia 2005). Gefäße des darunter liegenden subchondralen Knochengewebes tragen innerhalb der Wachstumsphase zur Ernährung bei. Zusätzlich müssen die Abfallprodukte über Diffusionswege entsorgt werden (Dijkgraaf *et al.* 1995; Mauck *et al.* 2003). Eine weitere Möglichkeit des Abtransports von Abfallprodukten ist die mechanische durch Kompression ausgelöste Konvektion der Interstitialflüssigkeit (Torzilli, Adams, Mis, 1987).

Die Gefäße der *Membrana synovialis* der Gelenkkapsel müssen den Stoffaustausch an der marginalen Übergangszone gewährleisten (Dudhia, 2005), wozu die Knorpelmatrix bei der Diffusion und Konvektion überwunden werden muss (Fischer *et al.* 1995). Auch tragen die Gefäße des darunter liegenden subchondralen Knochengewebes innerhalb der Wachstumsphase zur Ernährung bei. Aufgrund der fehlenden anatomischen Barriere, welche den Nährstofftransport beeinträchtigen könnte, wird die Möglichkeit der Ernährung über die

⁶ Unterhalb des Knorpels liegend.

⁷ Avaskuläres Gewebe enthält keine Blutgefäße.

Synovialflüssigkeit als die wichtigere beider Möglichkeiten angesehen (Mauck *et al.* 2003; Dudhia, 2005). Für die strukturelle Integrität vom generellen Knorpelgewebe ist eine bestmögliche Mobilität von Nährstoffen, Enzymen und Wachstumsfaktoren als auch die Lebensfähigkeit aller Chondrozyten essentiell (Kuettner, 1992; Torzilli *et al.*, 1997).

Die benötigte Flüssigkeit dringt über interfibrilläre Kanalsysteme ein, was durch intermittierende Belastungsreize innerhalb der Bewegung verstärkt wird. Rauber und Kopsch (1987) beschreiben diesen Vorgang als bedeutungsvolle Folge sportlicher Betätigung, welche sich positiv auf Ernährung und Wachstum des Knorpels auswirkt. Weitere Untersuchungen zeigten, dass es nach 100 Kniebeugen innerhalb der Erholungsphase zu einem signifikanten Flüssigkeitsfluss kommt (Eckstein *et al.* 1999). Dieser ist entscheidend an der Ernährung und der Biosynthese der Chondrozyten beteiligt. Es konnte gezeigt werden, dass wenn der Flüssigkeitsstrom bei Immobilisation eines Gelenkes stark vermindert ist, die Chondrozyten in den tieferen Gelenkknorpelschichten absterben (Rauber & Kopsch 1987).

3.3 Knorpeladaptation an mechanische Belastungen

Der Knorpel trägt dazu bei, bestmöglich die einwirkenden Kräfte auf den nächsten Skelettpartner zu übertragen. Bedenkt man, dass beim normalen Gehen bei einer Geschwindigkeit von 4 km/h im Hüftgelenk Kräfte von bis zu 238 % des eigenen Körpergewichts entstehen können, so ist ein effizient kraftübertragender Knorpel unabdingbar (Bergmann *et al.* 2001). Eintreffende Kräfte werden zum Großteil von der gut trainierten Muskulatur abgefedert. Sobald diese ermüdet, muss der Knorpel diese Aufgabe vermehrt übernehmen. Ob der Knorpel beispielsweise bei Langstreckenläufern eine hohe Belastung unbeschadet überstehen kann, wird kontrovers diskutiert (Lequesne *et al.* 1997; Cheng *et al.* 2000, O`Kane *et al.* 2006). Folgend sollen Studienlagen zu Anpassungen des Knorpels mit unterschiedlichen Interventionszeiten dargelegt werden.

3.3.1 Studienlage zur geschlechtsabhängigen Knorpelsituation

Ergebnisse einer Studie aus dem Jahre 1999 zeigen, dass Männer ein größeres Knorpelvolumen besitzen als Frauen. Diese Kenntnis konnte durch eine T1⁸- gewichtete MRT- Bildgebung der Kniegelenke erzeugt werden. Hierzu wurden die Kniegelenke von 17 männlichen und 11 weiblichen Teilnehmer, welche sowohl röntgenologisch als auch anhand einer MRT- Bildgebung ohne orthopädische Auffälligkeit waren, in die Studie eingeschlossen.

⁸ Das T1 gewichtete MRT beschreibt ein zurückkippen des Vektors nach dem Hochfrequenzimpuls zum Magnetfeld.

Die Ergebnisse zeigen ein größeres Knorpelvolumen der männlichen Teilnehmer an Femur- und Patellaknorpeln gegenüber Frauen. Der Unterschied nach Anpassung von Alter, Größe, Gewicht und Knochenvolumen ist dabei signifikant (Cicuttini *et al.* 1999). Ebenso kamen Eckstein und Mitarbeiter (2001) zu ähnlichen Ergebnissen. Auch hier zeigen die Ergebnisse, einen um zehn Prozent dickeren Knorpel bei Männern gegenüber Frauen auf. Zusätzlich publizierten die Forscher eine größere Gelenkfläche, welche unabhängig von Körpergröße und Gewicht ist. Es bestand eine signifikante Korrelation des Knorpelvolumens mit der mittleren Dicke ($r = 0,80$) und mit den Gelenkoberflächen ($r = 0,56$). Sowohl das Knorpelvolumen als auch die Knorpeloberflächen des Kniegelenks waren signifikant mit der Körpergröße ($r = 0,51$ und $r = 0,57$) aber nicht mit der Knorpeldicke ($r = 0,22$) korreliert. Auch hier zeigen die Ergebnisse, dass Männer ein dickeres Knorpelvolumen aufweisen als Frauen. Die Tibia weist mit 46,6 % den größten Unterschied zwischen beiden Geschlechtern auf. An der Patella betrug der Unterschied im Vergleich 19,9 %. Betrachtet man die Knorpeldicke, kann aktiv eine Differenz von 13,3 % an der medialen Tibia aufgezeigt werden (Faber *et al.* 2001).

3.3.2 Studienlage zum kindlichen Knorpelgewebe

Die Forscher um Jones *et al.* (2000) zeigten in einer Studie mit Kindern und Jugendlichen (9-18 Jahre) an 49 Jungen und 43 Mädchen auf, dass ein Unterschied in Knorpelvolumen und Knorpeldicke besteht. Die Messungen erfolgten mittels MRT an Patella, medialer und lateraler Femurkondylus sowie Tibia. Bei der Jungengruppe stellte sich ein um 16-31 % höheres Knorpelvolumen gegenüber der Mädchengruppe dar. Weiterhin zeigten die Ergebnisse, dass der Knorpel der lateralen Tibia im Vergleich mit dem medialen Anteil sowohl ein geringeres Volumen als auch eine geringere Dicke aufweist. Die Ergebnisse wurden zusätzlich nach Alter, Größe, Gewicht und körperliche Aktivität unterteilt, was allerdings keinen Einfluss auf das Ergebnis hatte (Jones *et al.* 2000). Eine generelle Zunahme am Knorpelgewebe konnten die Forscher während der Pubertät bei beiden Geschlechtern feststellen. Sportlich aktive Jungs hatten innerhalb der Pubertät eine schnellere Zunahme an Knorpelvolumen als Mädchen erhalten. Es wurde angenommen, dass der Einfluss des Sexualhormons für die geschlechtsspezifischen Unterschiede verantwortlich sei.

Da es allerdings im Zeitraum zwischen dem neunten und dem 18. Lebensjahr weder zu einer Zunahme des Knorpelvolumens noch zu einer Zunahme der Knorpeldicke kam, wurde diese These wieder verworfen. Aus diesem Grund äußerten die Forscher, dass weitere Untersuchungen zu diesem Thema stattfinden müssten (Jones *et al.* 2000).

Mit dem Ziel den Einfluss von Skisport auf die Knorpelreifung bei Kindern und Jugendlichen zu erkennen, wurde anhand einer 3,0 T⁹ MRT- Messung an 20 Kindern und Jugendlichen (11

⁹ Magnetfeldstärke eines MRT-Gerätes. Über diese kann viel Signal von dem zu untersuchenden Organ oder

Jungen, 9 Mädchen), welche länger als sechs Monate Skisport betrieben haben, eine Studie durchgeführt. Entsprechend den Belastungsmerkmalen des Kniegelenkknorpels im Skisport fanden der mediale und der laterale Femurkondylus sowie der mediale und laterale Tibiakondylus Beachtung. In allen Bereichen wurde die jeweilige individuelle Knorpeldicke ermittelt. Das Durchschnittsalter der Sport- und Kontrollgruppe lag bei 14,2 Jahren und 13,6 Jahren. Der Body-Mass-Index beider Gruppen lag bei 18,3 kg/qm (Sportgruppe) und 17,9 kg/qm (Kontrollgruppe). Sowohl in der Sport- als auch in der Kontrollgruppe zeigten die Knorpeldicken in allen gemessenen Bereichen deutliche Unterschiede zwischen Mann und Frau ($P < 0,05$). Die gemessene Knorpeldicke war durchgehend höher in der Sportgruppe als bei der Kontrollgruppe ($P < 0,05$). Die Forscher kamen zu dem Fazit, dass Geschlechtsunterschiede ein Effektfaktor für die Knorpeldicke sein kann. Zusätzlich vermuten die Forscher, dass Skisporttraining einen positiven Effekt auf die Knorpelreifung von Kindern und Jugendlichen hätte (Zhang *et al.* 2016).

Im Kindes- und Jugendalter durchgeführte Sprunginterventionen führen Gomez-Bruton *et al.* (2017) zufolge zu einer anhaltenden Verbesserung der Knochenstruktur, der allgemeinen Knochengesundheit und Knochenmasse sowie dem Knochenmineralgehalt. Eine in der frühen Lebensphase gut entwickelte Knochenstruktur hat einen starken präventiven Effekt auf mögliche spätere Folgeerkrankungen wie Osteoporose oder Osteopenie (Gómez-Bruton *et al.* 2017; Poitras *et al.* 2016).

3.3.3 Studienlage zu kurzfristig veränderten Belastungen des Knorpels

In einer von Eckstein und Mitarbeiter (1999) durchgeführten Studie mit acht Teilnehmern wurde untersucht, wie sich die Knorpeldeformation nach einer Ruhepause vor der MRT-Messung darstellt. Anschließend wurden 50 Kniebeugen durchgeführt und die MRT-Messung wiederholt. Die Autoren konnten feststellen, dass sich das Volumen des patellaren Knorpels um 2,4 % – 8,6 % gesenkt hatte. Daraufhin wurden die Teilnehmer gebeten, 100 Kniebeugen durchzuführen wobei diesmal das Volumen des patellaren Knorpels um 2,4 % - 8,5 % gesenkt wurde (Eckstein *et al.* 1999). Festzustellen war, dass die Deformation nach 45 Minuten zu 50 % wieder kompensiert werden konnte und dass das Ausgangslevel nach 90 Minuten wieder erreicht war. Das Team um Eckstein konnte aufzeigen, dass auch nach mehreren Durchgängen von 50 Kniebeugen keine weitere Deformation eintritt (Eckstein *et al.* 1999). Dieses Ergebnis konnte später nochmals reproduziert werden. So untersuchte die Forschergruppe um Kunz sieben weibliche Marathonläuferinnen 1,5 Stunden nach Absolvierung eines Marathons. Es konnten keine Veränderungen des Knorpelvolumens im patellaren oder tibiofemorale Gelenk nachgewiesen werden (Kunz *et al.* 2005).

Körperteil empfangen werden was zu genaueren Bildern führt.

Dass die Veränderungen des Knorpels sportartabhängig sein können, vermuten Gatti *et al.* (2017). So kamen sie nach Durchführung ihrer Forschungsarbeit, welche mittels 3,0 T MRT-Gerät gemessen wurde, zu der Erkenntnis, dass die Veränderungen des Knorpels je nach Art der Aktivität variieren, was allerdings unabhängig von der Gesamtbelastung sei. Sie konnten bei jungen gesunden Männern ($25,8 \pm 4,2$ Jahre) kleinere Unterschiede zwischen Radfahren und Laufen auf dem Knorpel feststellen. Sie beschrieben, dass sie eine Art von Knorpelkonditionierung erkennen konnten.

Da all diese Ergebnisse von einer dynamischen Bewegungskette erzeugt wurden, untersuchten Eckstein und Kollegen den Einfluss statischer und dynamischer Auswirkungen. Es wurden zwölf gesunde Teilnehmer gebeten, für jeweils 20 Sekunden eine 90°-Hocke auszuführen. Die Ergebnisse wurden abermals mittels MRT-Bildgebung am patellaren Knorpel erhoben. Nachdem die Teilnehmer die statische Übung vollzogen hatten (Hocke) und mittels MRT gemessen wurde, wurden sie angewiesen 30 Kniebeugen durchzuführen. Ein anschließendes MRT zeigte die Unterschiede beider Methoden auf. So konnten nach der dynamischen Methode eine Volumenänderung des Patellaknorpels von $-5,9 \pm 2,1$ % ($p < 0,01$) und eine Knorpeldickenveränderung von $-2,8 \pm 2,6$ % gemessen werden. Die statische Methode führte zu einer Volumenreduzierung von $4,7 \pm 1,6$ % ($p < 0,01$) und einer Dickenabnahme von $4,9 \pm 1,4$ % ($p < 0,01$). Es zeigte sich, dass die Volumenveränderungen bei der dynamischen Kniebeuge signifikant höher waren ($p < 0,05$). Dagegen zeigte sich eine signifikant vermehrte Abnahme der Patellaknorpeldicke nach der statischen im Gegensatz zur dynamischen Übung ($p < 0,05$). Die Volumenänderungen waren nach der Hocke signifikant geringer als nach Kniebeugen ($p < 0,05$), aber die maximalen Dickenänderungen höher ($p < 0,05$) (Eckstein *et al.* 2000).

20 Teilnehmer der Forschergruppe um Liess absolvierten jeweils 60 Kniebeugen, woraufhin direkt folgend ein T2-MRT der Knorpelsituation gemacht wurde. Eine zweite Messung erfolgte 45 Minuten nach der Durchführung der Kniebeugen. Nach einer Ruhephase von 45 Minuten nahm die Knorpeldicke wieder nachweisbar zu ($5,4 \pm 1,5$ % von $2,94 \text{ mm} \pm 0,15 \text{ mm}$ auf $3,10 \text{ mm} \pm 0,15 \text{ mm}$) ($P < 0,001$). Als Grund hierfür wurden Wasserverschiebungen und die Zusammensetzung der Makromoleküle des Knorpelgewebes angenommen (Liess *et al.* 2002). Weitere Studien konnten signifikante belastungsabhängige Veränderungen des Knorpelvolumens nachweisen. Um diesen Nachweis zu erbringen, wurde bei 20 Teilnehmer (10 männlich, 10 weiblich) eine MRT-Aufnahme nach einer 60-minütigen Pause durchgeführt. Anschließend wurden in 30 Minuten 5000 Schritte in selbstbestimmtem Tempo vollzogen, worauf eine weitere MRT-Aufnahme erfolgte. Es zeigte sich am medialen ($-5,3$ %, $p < 0,01$)

eine größere Dickenabnahme als am lateralen Femurkondylus (-4,0 %, $p < 0,01$) (Boocock *et al.* 2009).

Bereits in einer im Jahr 2005 durchgeführten Studie wurden sieben gesunde Männer direkt vor und unmittelbar nach einem 30-minütigen Lauftraining mittels MRT auf Knorpelveränderungen hin untersucht. Während es zu keiner Veränderung im tibialen Knorpel kam, kam es jedoch am femoralen Knorpel es zu einer Abnahme der oberflächlichen Knorpelschicht (Mosher *et al.* 2005). Den Einfluss sowohl des Alters als auch die sportliche Aktivität auf eine Knorpeldicke untersuchte das Team um Mosher an 15 nicht aktiven Personen und 22 Marathonläufern. Die Teilnehmer wurden sowohl vor als auch nach einem 30-minütigen Lauf einer T2 MRT Bildgebung unterzogen. Es konnten sowohl am tibialen (0-12 %) als auch femoralen (-4 – 8 %) Knorpel Abnahmen der Gesamtknorpeldicke erkannt werden, welche nicht mit dem Alter oder sportlicher Aktivität in Verbindung zu bringen sind (Mosher *et al.* 2010).

Eckstein *et al.* (2006) verifizieren die Ergebnisse vom Forschungsteam um Mosher, indem sie auf ähnliche Ergebnisse kamen. Anders sahen es Karanfil *et al.* (2019). Sie konnten mittels MRT-Bildgebung an 22 Männern (18-35 Jahre) nach einer Laufeinheit von 30 Minuten feststellen, dass die Knorpeldicke am lateralen Femurkondylus abnahm und gleichzeitig am medialen Tibiaplateau zunahm. Sie vermuteten, dass dies durch Flüssigkeitsverschiebungen geschah (Karanfil *et al.* 2019).

Neuere Ergebnisse bestätigen eine nächtliche, geschlechtsunabhängige Knorpelzunahme von zwei bis acht Prozent (Sitoci *et al.* 2012).

Weitere Studien zeigten mithilfe von MRT- Aufnahmen von sechs Teilnehmer Veränderungen im Bereich der Tibia und des Femurs, welche auf mechanische Belastungen reagierten. Hierbei wurden die Kniegelenke der Teilnehmer mittels MRT am Morgen und nachdem der Tag meist stehend verbracht wurde, am Abend gemessen. Es konnten im femoralen Knorpel keinerlei Volumen oder Knorpeldickenunterschiede festgestellt werden. Eine Abnahme der Knorpeldicke konnte jedoch im tibiofemorale Kontaktbereich erkannt werden. Wir schließen daraus, dass sich das Knorpelvolumen bei asymptomatischen jungen Erwachsenen im Laufe des Tages nicht verändert. Der Knorpel wird jedoch an Stellen dünner, die der größten biomechanischen Kraft ausgesetzt sind, was durch Kompressionseinwirkungen an einer Flüssigkeitsverschiebung im Kniegelenk liegen könnte (Waterton *et al.* 2000).

3.3.4 Studienlage zu langfristig veränderten Belastungen des Knorpels

In einer *In-vivo*-Studie wurde der Kniegelenkknorpel mit vollständiger Querschnittslähmung 6 Monate ($n=9$), 12 Monate ($n=11$) und 24 Monate ($n=6$) nach der ursprünglichen Verletzung untersucht. Mittels MRT wurden die mittlere und maximale Dicke des Kniegelenkknorpels errechnet und mit denen von jungen, gesunden Teilnehmer ($n=9$) verglichen.

Bereits nach sechs Monaten war die mittlere Dicke des Kniegelenkknorpels der Querschnitts Teilnehmer in der Kniescheibe (-10 %) und der medialen Tibia (-16 %) verglichen mit den MRT-Befunden bei gesunden Teilnehmer signifikant geringer. Nach zwölf Monaten kam es zu einer signifikanten Reduktion in der Patella um 24 % sowie der medialen Tibia um 16 % ($P < 0,05-0,01$) (Vanwanseele *et al.* 2002). Er bestätigte diese Ergebnisse abermals in einer weiteren Studie und demonstrierte die 10 %ige Abnahme der Knorpeldicke bei Querschnittspatienten auf (Vanwanseele *et al.* 2003).

Weiter konnte das Forscherteam um Hinterwimmer an 20 Teilnehmern mit Weber B und C Fraktur des Sprunggelenks darlegen, dass es bei einer siebenwöchigen reduzierten Belastung zu einer mittleren Kniegelenkknorpelabnahme in der Patella kommt (-2,9 mm \pm 3,2 %). Zusätzlich kommt es zu einer Abnahme an der medialen Tibia (-6,6 mm \pm 4,9 %). Eine veränderte Knorpelmorphologie des kontralateralen Knies konnte nicht gefunden werden (Hinterwimmer *et al.* 2004). Die Annahme, dass nichtbelastetes Knorpelgewebe atrophiert, wird hierdurch gestützt (Eckstein *et al.* 2006).

Liphardt *et al.* führten eine Knorpeluntersuchung nach 14-tägiger Immobilisation durch. An dieser Studie nahmen acht gesunde männliche Teilnehmer teil. Die MRT- Messungen wurden vor und nach der Immobilisation durchgeführt. Innerhalb der Trainingsintervention mussten alle Teilnehmer zweimal für fünf Minuten pro Tag ein Vibrationstraining durchführen. Die durchschnittlichen Knorpeldicken wurden für die tragenden Regionen auf den medialen und lateralen Gelenkflächen im Femur und in der Tibia berechnet. So konnte aufgezeigt werden, dass die Kontrollintervention zu einem Gesamtverlust der durchschnittlichen Knorpeldicke von -8 % (vor: 3,08 mm \pm 0,6 mm, nach: 2,82 mm \pm 0,6 mm) in den belastenden Bereichen der Tibia führte. Gleichzeitig erhöhte sich durch das Vibrationstraining die durchschnittliche Knorpeldicke um 21,9 % (vor: 2,66 mm \pm 0,45 mm nach: 3,24 mm \pm 0,63 mm). In den belastenden Bereichen des Femurs wurden keine signifikanten Unterschiede festgestellt (Liphardt *et al.* 2009). Das es zu keinen signifikanten Veränderungen am medialen Femur kam, wurde durch Hinterwimmer *et al.* (2014) bestätigt.

Ziel einer Studie aus dem Jahr 2007 war es, anhand von 325 erwachsener Männer und Frauen eine Beschreibung der Assoziation zwischen körperlicher Aktivität (Muskeleinsatz) und strukturellen Veränderungen des Kniegelenks mittels MRT-Diagnostik zu beurteilen. Die Teilnehmer hatten ein Durchschnittsalter von 45 Jahren und wurden zu Beginn der Studie und nach ca. zwei Jahren erneut gemessen. Das Knorpelvolumen wurde mittels T1- gewichteten MRT bestimmt. Die Muskelkraft der unteren Extremitäten zu Studienbeginn war ausschließlich sowohl mit prozentualen Veränderungen des Knorpelgesamtvolumens ($r = 0,13$) als auch der lateralen und gesamten Tibiaplateaufläche ($r = 0,15$ und $r = 0,17$) positiv assoziiert. Die

Veränderung der Muskelkraft war negativ mit den jährlichen Veränderungen der lateralen und gesamten Tibiaplateaufläche verbunden ($r = -0,13$ und $r = -0,17$). Nur bei Frauen war PWC170 (Physical Working Capacity 170)¹⁰ zu Studienbeginn negativ mit prozentualen Veränderungen des lateralen und des gesamten Knorpelvolumens pro Jahr ($r = -0,16$ und $r = -0,17$) und positiv für das laterale und das restliche Tibiaplateau ($r = 0,18$ und $r = 0,16$) verbunden. Entgegengesetzt hierzu war die Veränderung des PWC (170) an allen Stellen positiv welche mit Veränderungen des Knorpelvolumens assoziiert ($r = 0,24$ und $r = -0,26$) einhergingen. Für alle Assoziationen gilt $P < 0,05$. Als Fazit sahen die Forscher, dass die Zusammenhänge von bescheidenem Ausmaß seien. Dennoch folgerten sie aus den Ergebnissen, dass Knieknorpelvolumen und Tibiaplateau dynamische Strukturen sind, welche auf physikalische Reize reagieren können. Höhere Muskelkraft und Ausdauerfähigkeit, insbesondere bei Frauen, können vor Knorpelverlust schützen, können jedoch auch zu einer maladaptiven Vergrößerung des subchondralen Knochens bei beiden Geschlechtern führen, was darauf hindeutet, dass körperliche Aktivität sowohl gute als auch schlechte Auswirkungen auf das Knie haben kann (Foley *et al.* 2007).

Racunica *et al.* befürworteten positive Effekte körperlicher Aktivität auf den Kniegelenkknorpel. Sie untersuchten mithilfe der T1- MRT- Technik das tibiale Knorpelvolumen, tibiofemorale Defekte und Läsionen des Knochenmarks an 297 gesunden Teilnehmern in einem Alter von 50 bis 79 Jahren. Es zeigte sich, dass mit Zunahme der Frequenz ($p = 0,01$) und Dauer ($p = 0,001$) der körperlichen Aktivität eine Zunahme des tibialen Knorpelvolumens folgt. Weiterhin konnte ein Zusammenhang zwischen dem Volumen des Knorpels und der Anzahl der Knorpelschäden ($p = 0,02$) erkannt werden. Ein reduziertes Risiko für Knochenmarksläsionen konnte durch regelmäßiges Gehen festgestellt werden ($p = 0,04$) (Racunica *et al.* 2007).

Die Gruppe um Teichtahl *et al.* reanalysierte Daten der Teilnehmerkohorte von Racunica *et al.* nach veränderten Gesichtspunkten:

Die Teilnahme an körperlicher Aktivität (105 Teilnehmer) zu Studienbeginn war mit einer verringerten Rate an Volumenverlust des Patellaknorpels versehen ($-21,2 \text{ mm}^3$ pro Jahr [95 % Konfidenzintervall (95 % KI) $-41,5, -1,0$; $P = 0,04$]). Zusätzlich gab es einen Trend hin zu einer geringeren Verschlechterungsrate der Patellaknorpeldefekte (Odds Ratio 0,4; 95 % -KI 0,2, 1,1 [$p = 0,07$]) in den folgenden zwei Jahren. In der Untergruppe ohne signifikante Patellaknorpeldefekte zu Studienbeginn ($n = 192$) war die Teilnahme an starker körperlicher Aktivität mit einer verringerten jährlichen Rate an Volumenverlust des Patellaknorpels verbunden (95 % CI $-53,8, -7,8$; $p = 0,03$) und zeigte einen Trend zu weniger neuen Patellaknorpeldefekten (95 % -KI 0,1, 1,1; $p = 0,08$) auf. Es zeigte sich, dass es zu keinen

¹⁰ Physical Working Capacity 170 ist ein Testverfahren, um die Ausdauerleistungsfähigkeit zu überprüfen.

signifikanten Wechselwirkungen zwischen körperlicher Aktivität und Knorpelvolumenveränderungen oder Defektprogressionen in der zweiten Versuchsgruppe mit bereits bestehenden Patellaknorpeldefekte kam (Teichthal *et al.* 2009). Ähnlich sahen dies Rubin *et al.* (2021). Sie konnten nachweisen, dass es bei Basketballern innerhalb eines Jahres zu einer Abnahme des Gelenkknorpels kam und dass es regionale Unterschiede im Gelenkknorpel gab, die auf eine basketballspezifische Belastung des Oberschenkelknorpels hinwiesen. Auch Zhang konnte darlegen, dass es innerhalb einer Marathonlaufphase zu einer reduzierten Knorpeldicke bis 12 Stunden nach dem Marathon kam. Nach einem zweimonatigen Follow up konnte eine Anpassung der Knorpeldicke, welche vor dem Marathon gemessen wurde, erreicht werden (Zhang *et al.* 2021).

3.4 Zwischenfazit und Hinführung zur Arthrose

Die hier dargestellte Studienlage zeigt auf, dass es ab einer gewissen Reizsetzung zu Knorpeladaptationen kommt. Diese scheinen nicht von langer Dauer und können sowohl positiv als auch negativ wirken. Da die meisten Studien an Erwachsenen gemacht wurden, lässt sich abschließend kein Fazit zur Studienlage bezüglich gesunder Kinder und Jugendlichen ziehen. Gerade hier ist aufgrund der noch sehr überschaubaren Studienlage weitere Forschungsarbeit nötig. Um einen Überblick über die häufigste Gelenkerkrankung zu erhalten, wird im folgenden Kapitel eine generelle Übersicht mit Unterteilung sowie Diagnostik und Studienlage der Arthrose beschrieben.

3.5 Arthrose

Osteoarthrose ist nach Woolf und Pfleger (2003) die weltweit häufigste Gelenkerkrankung, welche besonders im fortgeschrittenen Stadium zu Schmerzen und Funktionseinbußen einzelner Gelenke führen kann. Nach einer im Jahr 1997 durchgeführten Untersuchung verschiedener Länder beläuft sich die ökonomische Belastungsrate durch diese Erkrankung auf 1 – 2,5 % des Bruttozialproduktes (March & Bachmeier, 1997). Bereits im Jahr 2000 belegte die Arthrose laut WHO den dritten Platz, was den Verlust an Lebenszeit anging, und hatte bei den Erkrankungen, welche den Bewegungsapparat betreffen, den Hauptanteil (Reginster & Khalataev, 2002). Als Risikofaktoren gelten genetische Dispositionen, Belastungen im Alltag, auf der Arbeit oder beim Sport, fehlerhafte Biomechanik, Adipositas und akute Traumen (Cheng *et al.* 2000; Kuettner & Cole, 2005; Anderson *et al.* 2011). Bei den chronischen Erkrankungen sind jene des Bewegungsapparates besonders mit Lebensqualitätsverlust verbunden (Sprangers *et al.* 2000). Gerade mit zunehmendem Alter wächst das Risiko enorm (Fuchs, Kuhnert & Scheidet-Nave, 2017).

In der am Robert Koch Institut durchgeführten Studie in den Jahren 2014 und 2015 wird dargelegt, dass 17,9 % der teilnehmenden erwachsenen Männer und 21,8 % der teilnehmenden erwachsenen Frauen innerhalb des Studienzeitraums von 12 Monaten an einer Arthrose erkrankten. Gerade der Anteil der Frauen liegt mit 21,8 % deutlich über dem Gesamtanteil der Männer mit 13,9 %. Ab dem 65. Lebensjahr sind 48,1 % der Frauen und 31,2 % der Männer betroffen (Fuchs, Kuhnert & Scheidet-Nave, 2017).

3.5.1 Unterteilung und Diagnostik der Arthrose

Kellgren und Lawrence (1963) definierten auf radiologischen Kriterien basierend vier Schweregrade (I – IV) einer Arthrose. Noch heute dienen diese einer radiologischen Klassifizierung der Arthrose. Wie in Abbildung 3 ersichtlich, werden unterschiedliche Grade beschrieben. So beschreibt der erste Grad ein Vorhandensein von Osteophyten (I), der zweite Grad eine Gelenkspaltverschmälerung (II), der dritte eine subchondrale Sklerosierung (III) und der vierte ein Vorhandensein von Geröllzysten (IV) (Kellgren & Lawrence, 1957).

Neben diesen Kriterien werden mittlerweile auch andere eingesetzt, welche nicht auf radiologischen Definitionen beruhen. Diese sind Gelenkschmerz, Morgensteifigkeit, Bewegungseinschränkung, Knirschen im Gelenk und Greifschwäche (Altman *et al.* 1986; Altman *et al.* 1990; Altman *et al.* 1991).

Die Kritiker am röntgenologischen Verfahren weisen darauf hin, dass vor allem in frühen Arthrostadien degenerative Veränderungen des Knorpels arthroskopisch bereits nachweisbar wären, per Röntgenbild allerdings nicht gut erkennbar seien (Blackburn *et al.* 1994). Radiologisch gesicherte Arthrosen sind oft nicht klinisch symptomatisch und Gelenkschmerzen sind auch nicht unbedingt mit radiologischen Verfahren zu erkennen (Hirsch *et al.* 2000; Lethbridge-Cejku *et al.* 1995). Anders sehen das Nehrer *et al.* 2021. Sie vertreten die Ansicht, dass es durch die heutigen digitalen Analyseverfahren bereits im Frühstadium zu einer hohen Befundvariabilität durch den Kellgren-Lawrence-Scores kam, wodurch auch die Datenqualität in Studien verbessert werden konnte (Nehrer *et al.* 2021).

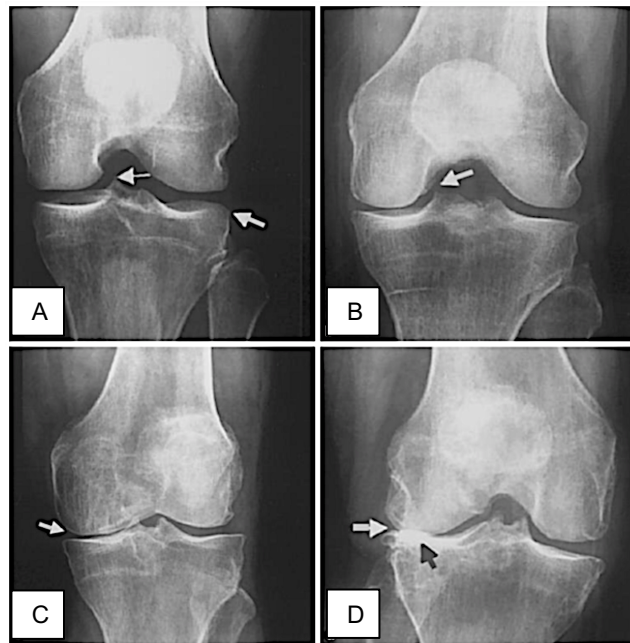


Abbildung 3: Röntgenologische Darstellung der Arthrosegrade
 Quelle: modifiziert nach Kellgren und Lawrence 1963.

Wie in Abbildung 3 zu erkennen, werden die Arthrosegrade mit fortgeschrittenem Stadium deutlicher sichtbar.

Abbildung 3A zeigt Arthrosegrad I: Verdacht auf eine Gelenkspaltverschmälerung und/oder mögliche kleinste Osteophyten.

Abbildung 3B zeigt den Arthrosegrad II: Verdacht einer Gelenkspaltverschmälerung und faktische Anwesenheit von Osteophyten.

Abbildung 3C zeigt mäßiggradig multiple Osteophyten, eine definitive Gelenkspaltverschmälerung, eine Sklerose und eventuelle Deformierung der Knochenenden.

Abbildung 3D zeigt den höchsten Grad der Arthrose. Große Osteophyten, deutliche Gelenkspaltverschmälerung, schwere Sklerose sowie Deformität der Knochenenden.

3.6 Bildgebende Verfahren zur Analyse des Gelenkknorpels

Im folgenden Kapitel werden die gängigsten bildgebenden Verfahren dargestellt und kurz erläutert.

3.6.1 Röntgen

Buckland-Wright postulierten, dass klinische Röntgenverfahren nur indirekte Rückschlüsse im Bereich der Knorpeldiagnostik zulassen, da man hierbei nicht zwischen femoralen und tibialen Knorpel unterscheiden könnte (Buckland- Wright 1995).

Die ersten Studien, welche sich mit dem Knorpelgewebe befassten, wurden mit Röntgendarstellungen durchgeführt. Das Ziel einer Längsschnittanalyse der Knorpelathrophie bei querschnittsgelähmten Patienten war es eine mögliche Knorpelathrophie in allen Kniekompartimenten, einschließlich der Femurkondylen über 12 Monate hinweg aufzuzeigen. Hierzu wurde jeweils das rechte Knie von neun Patienten kurz nach der Verletzung (Mittelwert \pm SD 9 ± 4 Wochen) sowie nach sechs und zwölf Monaten mittels MRT-Bildgebung untersucht. Die mittlere Knorpeldicke des Kniegelenks nahm in den ersten sechs Monaten nach der Verletzung signifikant ab (Bereich 5 – 7 %; $P < 0,05$). Die mittlere Veränderung nach zwölf Monaten betrug 9 % in der Patella, 11 % in der medialen Tibia, 11 % in der medialen Femurkondyle, 13 % in der lateralen Tibia und 10 % in der lateralen Femurkondyle ab ($P < 0,05$ für alle Kompartimente) (Vanwanseele *et al.* 2003). Wie von Buckland- Wright 1995 beschrieben, kam es zu einer nur eingeschränkten Möglichkeit den Knorpel klar abzugrenzen, was zu Ergebnisverfälschungen führen kann. Ebenso sind eine Validität und Reproduzierbarkeit nicht nachweisbar.

3.6.2 Magnetresonanztomographie

Die MRT-Bildgebung wird als nicht invasives und strahlenfreies Instrument allen Anforderungen einer bestmöglichen Knorpeldarstellung anerkannt. Die meisten Studien werden aufgrund dessen Genauigkeit (Peterfy *et al.* 1994; Graichen *et al.* 2000) mittels MRT-Diagnostik durchgeführt (Recht *et al.* 1993; Peterfy *et al.* 1994). Mithilfe der dreidimensionalen Darstellungstechnik kann die Dicke des Knorpels deutlich und mit einer hohen Präzision (Eckstein *et al.* 2002) bestimmt werden. Sie kann weiterhin als sensitive Methodik bezeichnet werden (Wirth & Eckstein, 2008). Diese Technik stellt durch die Kombination zwischen der manuellen Segmentierung und der Art der Rekonstruktionsmöglichkeit ein äußerst valides Verfahren dar und spiegelt den aktuell besten Stand der Wissenschaft (Wirth & Eckstein, 2008).

Eine dreidimensionale Rekonstruktion ermöglicht zusätzlich, die Gesamtknorpeloberfläche zu errechnen (Hohe *et al.* 2002). Nach einer Segmentierung kann der Gelenkknorpel dreidimensional dargestellt werden (Cohen *et al.* 1999; Eckstein *et al.* 2001; Kitai *et al.* 2002).

Die Magnetresonanztomographie beruht auf dem Prinzip der Kernspinresonanz¹¹. Dabei wird ein MRT-Bild visualisiert und die Verteilung der Magnetisierung der Gewebe einer einzelnen Körperschicht zum Zeitpunkt der Messung anhand einer Graustufenskala zugeordnet. Mittels MRT können Gewebestrukturen unterschiedlicher Dichte untersucht werden (Gevantmakher

¹¹ Die Kernspinresonanz beruht auf der Wechselwirkung zwischen Atomen und einer ungeraden Zahl von Nukleonen.

& Meinel, 2004). Gerade im Bereich der kindlichen Untersuchungen zeichnet sich die MRT-Nutzung durch fehlende ionisierende Strahlung aus (Wu *et al.* 2012; Schaefer & Kraemer, 2011).

3.6.3 Sonographie

Ebenfalls frei von ionisierenden Strahlen wird die kostengünstige Sonographie als bildgebendes Verfahren, nicht invasiv, zur Untersuchung von organischen Gewebestrukturen in der Medizin eingesetzt. Die hierbei im Schallkopf mechanisch erzeugten Wellen breiten sich ausschließlich in Materie aus (Bundesamt für Strahlenschutz, 2022). Dieser Schallkopf dient ebenso dem Empfangen der Wellen. Dieser wandelt die Wellen in elektrische Impulse um und setzt sie zu einzelnen Bildpunkten zusammen. Mehrere Bildpunkte zusammen ergeben anschließend ein Bild.

Sonographiemessungen zu Diagnostikzwecken der Weichteilgewebe und gelenknahen Strukturen werden bereits bei Kindern angewandt (vgl. Pineda *et al.* 2006; Robben, 2004; Zamzam, 2006). Wichtig hierfür ist eine korrekte Abgrenzung von gut identifizierbaren Knorpelgrenzen (Torp-Pedersen *et al.* 2011). In einer Literaturrecherche zu diesem Thema wurde überprüft, ob die Untersuchenden den artikulären Knorpel exakt identifizieren können und ob eine Korrektur der Schallgeschwindigkeit Beachtung fand. So wurden insgesamt 15 Studien zur Knorpeldickenmessung in den letzten zehn Jahren gefunden. Von diesen 15 Studien verwiesen allerdings acht Studien auf weitere Studien. Bei 11 von 15 Studien wurde die Knorpelgrenze nicht exakt identifiziert und in sechs Studien wurde eine schräge Schnittführung angewandt, was augenscheinlich die Ergebnisse verfälscht. Es konnte dargelegt werden, dass in zwei gefundenen Studien eine Korrektur der Schallgeschwindigkeit vorgenommen wurde. So konnte aufgezeigt werden, dass in den bisher publizierten Studien die Knorpeldicke stark unterschätzt wurde. Andere Autoren wiederum überschätzen die Knorpeldicke, da sie eine schräge Schnittführung ansetzten (Torp-Pedersen *et al.* 2011).

Gerade bei einer juvenilen idiopathischen Arthritis (JIA), welche ursächlich für Schäden am Knorpelgewebe ist, stellen sich die Veränderungen im Röntgenbild zu spät dar. Eine frühe Erkennung dieser Problematik würde frühzeitig eine adäquate Therapiemöglichkeit erlauben. Aus diesem Grund wurde von der Forschergruppe um Spannow eine erste Validierungsstudie mit 25 gesunden Kindern durchgeführt. Hierbei wurden die Kinder (17 Jungen, 8 Mädchen) im Alter von 11,33 Jahren mit einem MRT (1,5 T) und einem Sonographiegerät mit 14 MHz Linearschallkopf untersucht. Als Ergebnis zeigte sich eine gute Übereinstimmung in allen Gelenken. Die gemessenen Unterschiede zwischen MRT und Sonographiegerät betragen unter 0,5 mm. Ein ermittelter Variationskoeffizient wurde mit 16 % als gut eingestuft. Sie

schlussfolgerten, dass die Sonographiemethode durchaus vergleichbar mit einem MRT sei und sie deshalb zur Beurteilung der JIA eingesetzt werden könne (Spannow *et al.* 2011).

Eine andere Meinung vertreten Schmitz *et al.* 2017. Sie untersuchten die Knorpelgesundheit als Indikator für eine fortschreitende Osteoarthritis. Gerade die Knorpeldicke wird hierfür als wichtiges Maß angenommen. Ihr Studienziel bestand darin, herauszufinden, ob man mittels Sonographie die Knorpeldicke am medialen Femurcondyl bestimmen kann. An zehn gesunden Frauen (59,5 kg \pm 8,3 kg; 21,6 \pm 1,4 Jahre) und neun gesunden Männern (1,80 \pm 0,08 m, 21,7 \pm 1,5 Jahre) wurden zuerst MRT- Aufnahmen und anschließend Sonographieaufnahmen erstellt. Die Ergebnisse zeigten, dass es zu Unterschieden in der absoluten Übereinstimmung von 1,9 mm und 2,8 mm kam. Sie schlussfolgerten daher, dass die Sonographietechnik zwar ein praktikables Gerät zur Knorpelbeurteilung im mittleren und hinteren Bereich des Femurkondylus sei, die absolute Gültigkeit der Messungen allerdings in Frage gestellt werden muss. Sehr erfolgreich wird die Sonographie zur Diagnostikzwecken bezüglich Osteoarthrose, Erguss und Knochenmarködem im Bereich des Kiefergelenks mit hervorragenden Darstellungen bei Erwachsenen angewandt (Emshoff *et al.* 2003; Brandmaier *et al.* 2003; Rudisch *et al.* 2006).

Zusammenfassend divergieren die Angaben aus der Fachliteratur hinsichtlich Methodik zur Evaluierung der Gelenkknorpel und Belastungsempfehlungen zu deren Schutz. Folglich fehlen aktuell klare Richtlinien, ob und welche Sportart und Belastungsintensität für Heranwachsende Vorteile bietet.

Um weitere Kenntnisse über den Umfang der sportlichen Betätigung und der damit verbundenen möglichen Belastungs- und Verletzungssituation sowie psychometrische Grundlagen zu erhalten, werden in dieser Studie Fragebögen verwendet.

3.7 Grundlagen der Lebensqualitätsforschung

Die Arbeitsgruppe „Quality of Life“ der Weltgesundheitsorganisation (WHOQOL-Group)¹² definiert Lebensqualität:

*„...als die subjektive Wahrnehmung einer Person über ihre Stellung im Leben, in Relation zur Kultur und den Wertsystemen, in denen sie lebt, in Bezug auf ihre Ziele, Erwartungen und Standards“ (Orley & Kuyken, 1994).
(zitiert aus Morgenroth, 2020).*

¹² Bewertung der Lebensqualität, welche kulturübergreifend einsetzbar ist, von der WHO Quality Of Life - Arbeitsgruppe.

Im Idealfall kann die Lebensqualität in ausreichendem Maße für bestimmte Untersuchungszwecke operationalisiert¹³ werden. Da sich je nach Gewichtung und Auswahl des zu messenden Untersuchungsziels die benötigten Messinstrumente unterscheiden, ist es wichtig, dass das zu nutzende Messinstrument auch geeignet ist (Radoschewski, 2000).

3.7.1 Erforschung der Lebensqualität bei Kindern und Jugendlichen

Um die gesundheitsbezogene Lebensqualität von Kindern und Jugendlichen zu ermitteln, sind Befragungen der Eltern möglich. Allerdings konnten Ellert *et al.* 2011 aufzeigen, dass Fremdeinschätzungen von Selbsturteilen deutlich abweichen können, was dazu führt, dass man die Ergebnisse der Selbstbefragung maximal durch die Fremdeinschätzung ergänzen sollte. Ebenso konnte belegt werden, dass Kinder Krankheiten anders erleben und beschreiben als ihre Eltern (Lentze *et al.* 2013). Auch können aufgrund eines fehlenden Gesundheitsverständnisses der Kinder die Ergebnisse der Elternbefragung nicht einfach auf die Kinder übertragen werden, da die möglichen Einflussfaktoren, welche das individuelle Kinderwohlbefinden spezifizieren, aufgefunden gemacht und beschrieben werden müssten (Ravens-Sieberer *et al.* 1998). Relevant ist neben dem sozialen und dem familiären Rückhalt (Ravens-Sieberer, 2000) beispielsweise, ab welchem Alter sich ein Kind korrekt und sicher ausdrücken kann. Weiterhin konnte Ravens-Sieberer (2000) feststellen, dass pubertierende Mädchen häufiger an Selbstbildproblemen leiden als gleichaltrige Jungs. Bullinger und Ravens-Sieberer (2009) konnten aufzeigen, dass erst siebenjährige Kinder ein akzeptables Verständnis zu ihrem Befinden korrekt erkennen und äußern können. Demnach lassen sich erst zu diesem Zeitpunkt verlässliche Aussagen tätigen (zitiert nach Morgenroth, 2020).

3.7.2 Erfassung der Lebensqualitätsdaten bei Kindern

Um eine valide Möglichkeit zu haben, Kindern und Jugendlichen ein geeignetes Instrument zur Befragung zur Verfügung zu stellen, wurden Fragebögen für verschiedene Altersgruppen angepasst. Diese sollten eine gute Anwendbarkeit bei zuverlässiger Darstellung gesundheitlicher Beeinträchtigungen besitzen (Ravens-Sieberer *et al.* 2003). Ebenso sollte die Bearbeitungsdauer möglichst kurz sein, um eine Überforderung des Kindes auszuschließen (Lentze *et al.* 2013). Um auch von Kindern verstanden zu werden, soll bestenfalls eine einfache Sprache oder eine likert-skalierte¹⁴ Antwortmöglichkeit gegeben sein (Ravens-Sieberer, 2000).

¹³ Theoretische Begriffe, in empirisch messbare Merkmale umzuwandeln.

¹⁴ Erhebungsverfahren, mit welchen persönliche Meinungen von Kunden und Mitarbeitern in Fragebögen abgefragt werden. Die Antwortmöglichkeiten sind vorformulierte und können auf einer mehrstufigen Skala beantwortet werden.

Eine Möglichkeit, die Lebensqualität bei Kindern zu erfassen, ist der EQ-5D-Y Fragebogen. Dieser hat nach Burström *et al.* (2011) die Vorteile, dass alle Daten von Kindern und Erwachsenen besser miteinander vergleichbar sind, weshalb Daten über einen langen Zeitraum, von Kindheit bis zum Erwachsenenalter, miteinander verglichen werden können (Ravens-Sieberer *et al.* 2010).

3.7.3 EQ-5 für Messung der Lebensqualität bei Kindern und Jugendlichen

Im Bereich der Erwachsenenforschung auf internationaler Ebene konnte gezeigt werden, dass der EQ-5 ein reliables und valides Messinstrument ist (Brooks, 1996; Graf 1998).

Der kindgerecht modifizierte EQ-5D-Y Fragebogen besteht aus fünf Frageblöcken (Kreimeier & Greiner, 2019). Die hierbei betrachteten Aspekte der gesundheitsspezifischen Lebensqualität sind: 1. Mobilität und/oder Bewegung; 2. Für mich selbst sorgen; 3. Was ich normalerweise tue; 4. Schmerzen oder körperliche Beschwerden sowie 5. die Emotionen unglücklich, traurig oder sich besorgt fühlen (Group, 1990).

Abschließend wird anhand einer visuellen Analogskala¹⁵ (VAS) die aktuell eigene Gesundheit bewertet. Diese wird von 0 = schlechteste bis 100 = beste Gesundheit angegeben.

Durch diverse sprachliche Anpassungen bei der Entwicklung des Fragebogens konnte ein Bogen erstellt werden, welcher kindgerecht verständlich war und trotzdem in Pilotstudien eine gute Anwendbarkeit erzielte (Wille *et al.* 2010). Eine gute Praktikabilität und Reliabilität konnte in ersten Validierungsstudien nachgewiesen werden (Burström *et al.* 2011; Jelsma, 2010; Jelsma & Ramma, 2010).

3.7.4 Fragebogen zur sportlichen Aktivität

Der EQ-5D-Y Fragebogen erfasst keine Angaben über sportliche Aktivität. In folgenden Bereichen werden daher zusätzliche Parameter erhoben:

- Anthropometrischen Daten.
- Schulbildung.
- Vorerkrankungen.
- Hilfe beim Fragebogen ausfüllen.
- Sportartaktivitäten.
- Aktuelle körperliche Beschwerden.
- Emotionaler Status.
- Alltagszufriedenheit.

¹⁵ Gesundheitsskala mit Werten von 0 (schlecht) – 100 (super)

3.8 Sport und seine psychologisch wirksamen Eigenschaften

Eine systematische Überprüfung von 14 elektronischen Datenbanken wurde im Juni 2012 durchgeführt. Es wurden Studien betrachtet, welche sich seit 1990 mit dem psychischen und/oder sozialen Nutzen einer sportlichen Betätigung befassen. Insgesamt wurden zunächst 3668 Publikationen identifiziert, von denen 30 die Auswahlkriterien erfüllten. Neben den häufigsten Ergebnissen, ein verbessertes Selbstwertgefühl und eine soziale Interaktion, konnte erkannt werden, dass es zu einer Verringerung depressiver Symptome kommt. Sport kann, so das Fazit, mit einer verbesserten psychosozialen Gesundheit in Verbindung stehen. Gerade bei Mannschaftssportarten kommt es aufgrund der sozialen Interaktion zu einer verbesserten Gesundheitssituation als bei Einzelsportarten (Eime *et al.* 2013).

Dale *et al.* (2019) stimmen mit ihrer Metaanalyse den Erkenntnissen von Eime zu. Auch hier konnte aufgezeigt werden, dass sich allgemeine körperliche Aktivität positiv auf die psychische Gesundheit der Kinder und Jugendlichen im Alter zwischen 5 und 17 Jahren auswirkt. Hierbei wurde ebenfalls speziell dargelegt, dass es vor allem neben einer Steigerung des Selbstwertgefühls zu einer Reduktion von depressiven Phasen kommt. Sport ist somit immer positiv mit der psychischen Gesundheit assoziiert, sowohl präventiv als auch gesundheitsfördernd (Poitras *et al.* 2016).

3.9 Zwischenfazit und Hinführung zur Fragestellung

Wie in Kapitel 3.6 dargestellt, kann eine wissenschaftlich haltbare Diagnostik mittels MRT ohne Bedenken erhoben werden. Dem gegenüber stehen hohe Kosten, zeitlicher Aufwand und eine zwingend nötige Patientencompliance. Die Sonographie scheint objektiv ebenfalls ein gutes Messinstrument zu sein, welche gerade bei Kindern aufgrund der schnellen, strahlenfreien und einfachen Anwendbarkeit gut geeignet wäre. Allerdings kann an einigen beschriebenen Studien gezeigt werden, dass diese Art der Messungen noch nicht ausreichend validiert wurde. Gerade die Wahl der richtigen Sportart kann für eine knorpelprotektive und gesunde Knorpelentwicklung von entscheidender Bedeutung sein. Unterschiedliche Autoren kommen zu unterschiedlichen Ergebnissen, welche es hier gilt, nochmals anhand der Sonographiemessungen aufzuarbeiten. Dass Sport mit einer besseren psychosozialen Gesundheit in Verbindung gebracht wird, konnte im theoretischen Teil dargelegt werden. Anhand standardisierter und selbsterstellter Fragebögen wird dieser Bereich in folgenden Fragestellungen als separater Gliederungspunkt mit aufgenommen.

3.10 Ziele der Arbeit/ Fragestellungen

Diese Arbeit ist in drei Themenbereiche gegliedert, welche der Erhebung des Wohlergehens sportlich aktiver Kinder und Jugendlicher dienen.

Methodenevaluierung

Dieser Teil der Arbeit beschäftigt sich mit der Möglichkeit, eine Sonographieuntersuchung der Kniegelenkknorpeldicke an gesunden Kindern und Jugendlichen zu evaluieren, um jederzeit mit geringem Aufwand und geringen Kosten eine Diagnostik des Knorpels ermöglichen zu können.

Eine valide, sonographiegestützte Untersuchung jugendlicher Kniegelenke würde eine kostenarme, schnelle und risikolose Diagnostik bedeuten und kann in der pädiatrischen, aber auch in der orthopädischen Diagnostik eingesetzt werden.

Fragestellung 1:

Ist eine wiederholte Messung mittels Sonographie am Kniegelenkknorpel des medialen Femurcondylus reliabel?

Vergleichende Analysen der Knorpeldicken

Ein weiteres Ziel dieser Arbeit ist es, aus den Ergebnissen ableiten zu können, ob sich sportartabhängige, geschlechtsabhängige und altersabhängige Unterschiede in der Knorpelentwicklung darstellen lassen.

Da die hier aufgezeigten Studien durch unterschiedliche Methoden und Probandkohorten geprägt sind, lassen sich die Ergebnisse häufig nicht direkt miteinander vergleichen oder ergänzen. Durch Berücksichtigung spezifischer Probandenmerkmale und Standardisierung der Methodik würde die Erforschung gesunder kindlichen Kniegelenkknorpeln enorm profitieren. Neben den Kenntnissen über dessen Entwicklung wäre es von Vorteil, auch die Folgen von sportlichen Interventionen auf lange Sicht zu kennen. So ist es denkbar, dass Leistungssport mit zu hoher Druckbelastung auf den noch in der Wachstumsphase befindlichen Knorpel spätere Schäden oder arthrotische Veränderungen auslösen kann. Eindeutige Studien hierzu sind bisher nicht zu finden. Diese Studie soll daher Knorpeldicken-Referenzwerte gesunder, sportlich aktiver Kinder und Jugendlicher für künftige Vergleichsuntersuchungen bereitstellen.

Fragestellung 2:

Wie groß sind die geschlechts-, sportart- und altersspezifischen Unterschiede der Knorpeldicke des medialen Femurcondyls?

Fragestellung 3:

Verändern 30 Kniebeugen mit eigenem Körpergewicht die Knorpeldicke des medialen Femurcondyls unterschiedlich stark in Abhängigkeit von Alter, intensiv betriebener Sportart oder Geschlecht?

Fragebogenauswertung

Um einen Überblick zum psychischen Befinden der Teilnehmer zu erhalten, werden zwei Fragebögen ausgeteilt, welche abschließend statistisch ausgewertet, dargestellt und diskutiert werden.

Fragestellung 4:

Wie nehmen die Teilnehmer ihr eigenes aktuelles körperliches und mentales Befinden in Abhängigkeit von Alter, intensiv betriebener Sportart, Schultyp und Jahrgangsstufe wahr?

4. Methodik und Material

Um im Rahmen der vorliegenden Arbeit die Sonographiemethode validieren zu können, wurden sonographiegestützt drei aufeinanderfolgende Dickenmessungen am medialen Femurkondyl des dominanten Beins jeweils vor (Prä) und nach (Post) 30 Kniebeugen (Intervention)¹⁶ mit eigenem Körpergewicht vorgenommen. Dabei wurde die Dicke des medialen Kniegelenkknorpels ohne direkten mechanischen Einfluss und nach mechanischem Einfluss untersucht. Es sollte festgestellt werden, inwieweit 30 aufeinanderfolgende Kniebeugen den Knorpel Heranwachsender komprimieren können. Weiterhin konnten Durchschnittsknorpeldicken errechnet werden und die Reliabilität der Sonographiemethode aufgezeigt werden. Für die weitere statistische Auswertung wurde der arithmetische Mittelwert verwendet. Zusätzlich wurden Fragebögen ausgeteilt, um die individuelle aktuelle Gesundheit und sportliche Aktivität auswerten zu können.

4.1 Studienplanung

Im folgenden Kapitel werden Studiendesign und Therapiesetting beschrieben. Anschließend folgen die Abschnitte über Teilnehmer, Datenerhebung, Material sowie Datenauswertung.

4.2 Studiendesign

Da sich die hier vorliegende Arbeit aufgrund nur ungenügender wissenschaftlicher Kenntnisse nicht auf zuvor erstellte Studien berufen kann, wurde diese als explorative Querschnittsstudie angelegt. Die Ergebnisse basieren auf Datenerhebungen von 160 teilnehmenden Kindern und Jugendlichen im Alter zwischen 6 und 17 Jahren, welche in definierten Sportvereinen aktiv sind. Neben den Dickenmessungen des medialen Kniegelenkknorpels konnten die Teilnehmer zwei Fragebögen ausfüllen. Die Fragebögen betreffen die Lebensqualität sowie die körperliche Fitness.

Nach dreimaliger Knorpeldickenmessungen am medialen Femurkondylus des vom Teilnehmer bestimmten dominanten Kniegelenks werden vom Teilnehmer 30 Kniebeugen mit eigenem Körpergewicht durchgeführt. Um mögliche Dickendifferenzen erkennen zu können, werden anschließend drei weitere Sonographiedickenmessung analog zu den ersten Messungen ausgeführt.

¹⁶ Die Bezeichnung „Prä“ und „Post“ für die Messungen jeweils vor und nach den 30 Kniebeugen sowie „Intervention“ als Hinweis für Kniebeugen werden zur einfacheren Beschreibung im laufenden Text eingeführt.

Der Ethikantrag zur Durchführung der hier vorliegenden Studie wurde von der Ethikkommission der Ärztekammer des Saarlandes am 02.10.2019 mit der Kennnummer Ha 191/19 genehmigt (vgl. Anhang 1, S. 110).

4.3 Teilnehmerrekrutierung

In einem ersten persönlichen Gespräch wurden den interessierten Teilnehmern die Methodik, die Ziele der Studie, mögliche Nutzen und Risiken der unentgeltlichen Teilnahme erläutert sowie die Einwilligungserklärung zur Unterschrift ausgehändigt (vgl. Anhang 2, S. 113). Die Einwilligungserklärung musste spätestens zu Beginn der Datenerhebung unterschrieben dem Studienleiter vorliegen. Die Teilnehmer wurden auf den rein experimentellen Charakter der Studie, die ergebnisoffen ausfallen kann, hingewiesen.

Für Rückfragen oder weitere Informationen stand der Studienleiter jederzeit zur Verfügung.

Die Rekrutierung der Sportler erfolgte an entsprechenden Leistungszentren und Sportvereinen. Alle Daten wurden in pseudonymisierter Form mittels Eingangsnummer erhoben. Es wurden Kinder und Jugendliche, Mädchen wie Jungen, untersucht, die einen definierten Leistungs- bzw. Vereinssport intensiv betreiben. Aus ausgewählten Aspekten des Interesses auf die Gelenksgesundheit und der Machbarkeit der Rekrutierung wurden Teilnehmer aus den Bereichen Fußball, Handball, Karate, Leichtathletik und dem Schützensport eingeschlossen.

4.3.1 Ein- und Ausschlusskriterien

Als Voraussetzung zur Studienteilnahme wurden verschiedene Ausschlusskriterien abgefragt.

Es durften weder eine

- fehlende Einwilligung des Teilnehmers bzw. Sorgeberechtigten zur Studienteilnahme,
- eine unvollständige Diagnostik der unteren Extremität bei aktueller Symptomatik,
- bekannte Knorpelopathologien im zu untersuchenden Gelenk,
- Fehlstellung oder Lähmung der unteren Extremitäten, noch
- Aufmerksamkeitsdefizit / Hyperaktivitätsstörung

vorhanden sein.

4.3.2 Datenschutz und Teilnehmerklärung

Alle erhobenen Daten wurden in pseudonymisierter Form erhoben, indem den Teilnehmer eine Eingangsnummer zugeteilt wurde. Ebenso erfolgte die statistische Datenerfassung sowie Auswertung streng anonymisiert. Die Vorratshaltung der Daten erfolgte im Rahmen des Datenschutzgesetzes §9 und Anlagen §9.

Die Teilnehmer wurden auf den rein experimentellen Charakter der Studie, die ergebnisoffen ausfallen kann, hingewiesen. Sie wurden darüber hinaus informiert, dass sie jederzeit ohne Angabe von Gründen und ohne negative Konsequenzen die Teilnahme an der vorliegenden Studie beenden können.

4.4 Fragebogen

Um einen Überblick über den Gesundheitszustand sowie die individuelle sportliche Aktivität der Studienteilnehmer erhalten zu können, wurden mit der Einverständniserklärung zwei Fragebögen ausgeteilt, welche ausgefüllt zur sonographiegestützten Knorpelmessung mitgebracht werden sollten. Für die Teilnahme an der Knorpelmessung war das Ausfüllen des Fragebogens nicht verpflichtend.

4.4.1 Konzeption der Fragebögen

Wie unter Kapitel 2.7.3 erläutert, stellt der EQ-5D-Y eine valide Möglichkeit zur Datenerhebung an Kindern und Jugendlichen dar.

Anhand dessen kann man Items mit kurzen Fragen und klaren Antwortmöglichkeiten abfragen. Der kurze EQ-5D-Y Fragebogen besteht aus fünf psychometrischen Parametern, die als Einflussgröße einer gesundheitsbezogenen Lebensqualität betrachtet werden (Group, 1990).

Diese sind:

- Bewegung/ Mobilität.
- Für mich selbst sorgen.
- Was ich normalerweise tue.
- Schmerzen oder körperliche Beschwerden.
- Sich unglücklich, traurig oder besorgt fühlen.

Die Teilnehmer haben bei allen Fragen jeweils drei Antwortmöglichkeiten, welche in ihrer Art eine Steigerung des Empfindens oder Missempfindens enthalten. Die Antworten werden ohne die Möglichkeit der freien Texteingabe durch Ankreuzen eines einzelnen Antwortfeldes beantwortet. Ein beispielhafter Auszug aus dem EQ-5D-Y ist folgend in Abbildung 4 exemplarisch dargestellt:

BEWEGUNG (herumlaufen)

Ich habe keine Schwierigkeiten herumzulaufen

Ich habe einige Schwierigkeiten herumzulaufen

Ich habe große Schwierigkeiten herumzulaufen

Abbildung 4: Beispielhafter Auszug aus dem EQ-5D-Y
Quelle: Group (1990).

4.4.2 Fragebogen zur sportlichen Aktivität

Neben dem EQ-5D-Y Fragebogen wurde ein ergänzender Fragebogen zur Erfassung weiterer Daten erstellt, welcher sowohl über die sportliche Aktivität als auch über weitere teilnehmerspezifische Informationen Auskunft gibt. Die Antwortmöglichkeiten variierten zwischen Ankreuzmöglichkeiten und freier Texteingabe. Die Fragestellung war sprachlich altersentsprechend einfach gehalten. Neben anthropometrischen Daten wie dem Geschlecht, Körpergröße und Gewicht, wurden in einem ersten Schritt mögliche Vorerkrankungen der Knie- und Hüftregion sowie das Alter abgefragt. Weiterführend war von Interesse, wer den Fragebogen mit ausfüllt, welche Jahrgangsstufe in welcher Schule besucht wurde und ob es sich dabei um eine Ganztagschule handelt. Zur Sporthäufigkeit wurden gezielt Fragen bezüglich der wöchentlichen Anzahl an Sportunterricht in der Schule und in der Freizeit separat gestellt. Auf die Fragen, welche Sportarten innerhalb und außerhalb eines Sportvereines betrieben werden, folgten Fragen über körperliche Beschwerden und daraus resultierender Beeinflussung im Sport. Weiterhin wurden Fragen zu emotionalen Zuständen wie Angst, Niedergeschlagenheit, Traurigkeit, Depression und Zufriedenheiten formuliert, welche durch Ankreuzen in vier Ausprägungen¹⁷ beantwortet werden konnten. Der Fragebogen schloss mit der Frage zu persönlichen Empfindungen ab.

4.5 Durchführung der Sonographiemessung

Folgend wird die verwendete Methodik mittels Sonographiemessung beschrieben und erläutert.

Um die Reliabilität der Sonographiemessung ermitteln zu können, wurden in der hier vorliegenden Arbeit Korrelationen zwischen einzelnen und aufeinanderfolgenden Messungen am medialen Kniegelenkknorpel durchgeführt. Diese wurden jeweils dreimal nacheinander auf gleiche Weise am gleichen Teilnehmer angewandt und die Ergebnisse anschließend miteinander verglichen.

¹⁷ Häufig, zeitweise, selten, nie.

4.5.1 Persönliche Voraussetzungen zur Sonographiemessung

Um die Sonographiemessungen fachlich geschult durchführen zu können, musste vor Studienbeginn vom Studienleiter ein Fortbildungsnachweis erbracht werden. Dieser konnte anhand einer Fortbildung nach § 6 gemäß § 135 Abs. 2 SGB V zur Durchführung von Untersuchungen in der Sonographiediagnostik (Sonographie-Vereinbarung) der Kassenärztlichen Bundesvereinigung in der Fassung vom 23.06.2009 bei der DEGUM e.V.¹⁸ erfolgen. (siehe Anhang 3, S.114).

4.5.2 Materielle Voraussetzungen zur Studiendurchführung

Nach Rücksprache mit Fachleuten der Klinik für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie der Universität des Saarlandes wurde für alle Messungen ein transportables Sonographiegerät *Clarius L7 BW Scanner, Color and Power Doppler* (Clarius Mobile Health Corp., Livingston, Vereinigtes Königreich) verwendet (Abbildung 5).



Abbildung 5: Sonographiegerät Clarius L7
Quelle: Clarius.com. Abrufdatum: 01.04.2023.

Das Clarius L7 stellt eine kabellose, verlässliche Verbindung mittels Bluetooth über ein iPad her. Es beinhaltet eine Cloudspeichermöglichkeit, welche eine zweite Datenabsicherung neben dem iPad Speicher ermöglicht. Mit einer Frequenz von bis zu 13 MHz erreicht es eine maximale Scantiefe von 11 cm. Die Reinigung mittels Desinfektionsmittel war nach jedem einzelnen Teilnehmer einfach und schnell durchzuführen. Mit geringen Objektausmaßen ist es als kompaktes Gerät leicht zu transportieren und zu bedienen.

¹⁸ Die Deutsche Gesellschaft für Sonographie in der Medizin e.V. wurde 1972 und ist mit ca. 11000 Mitgliedern, einer der bedeutendsten Sonographieverbände der Welt.

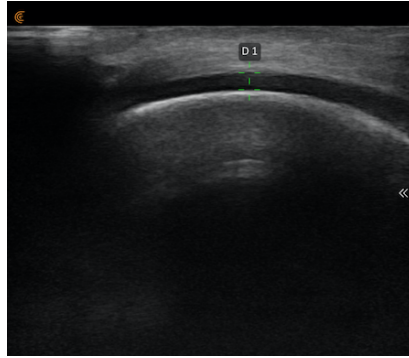


Abbildung 6: Beispielhaftes Sonogramm des Kniegelenkknorpels.
Quelle: eigene Abbildung.

Die Bildqualität in der relevanten Scantiefe kann auf Abbildung 6 erkannt werden. Es hat eine gute Auflösung und Bildschärfe.

Zur optischen Darstellung der durch den Clarius L7 erzeugten Bilder wurde eine handelsübliche Apple iPad Pro Version 16.1.1 (20B101) 7.Generation (10,2" Multi-Touch Display (25,91 cm Bildschirmdiagonale) verwendet. Zur Markierung der Knorpeldimensionen wurde ein Apple Pencil der 2. Generation eingesetzt.

4.5.3 Konzeption und Ablauf der Datenerhebung

Der Proband wurde in Rückenlage auf einer Therapieliege platziert, wobei das vom Teilnehmer angegebene dominante Bein maximal angewinkelt aufgestellt wurde. Als Kontaktmittel zwischen Körperoberfläche und Schallkopf wurde ein kommerzielles Kontaktgel für Sonographietherapie (ENRAF NONIUS, Sitz, Niederlande) verwendet. Folgend wurde die Sonographieschallkopfanlage anlehnend an die publizierte Standardebene der DEGUM e.V. des „suprapatellaren Transversalschnitts“ modifiziert und horizontal um 90° gedreht am medialen Femurkondyl des angewinkelten Beines angelegt (Gruber *et al.* 2018). Der Schallkopf wurde wie in Abbildung 7 zu erkennen, in linearer Richtung kommend vom *Tuberculum adductorium* im 90° Winkel auf den medialen Femurkondylus aufgesetzt und die Dicke des Knorpels bestimmt.



Abbildung 7: Schallkopfpositionierung.
Quelle: eigene Aufnahme.

Hierbei lag der Schallkopf am Rand der Patella an, wodurch bei wiederholter Messung dieser als Referenzpunkt gegeben war. Geschallt wurde im B-Modus.

Es folgten drei aufeinanderfolgende Messungen der Knorpeldicke. Nach Durchführung dieser ersten drei Messungen wurde der Teilnehmer aufgefordert, 30 Kniebeugen mit eigenem Körpergewicht durchzuführen (vgl. Eckstein *et al.* 2005). Abgeschlossen wurde die Datenerhebung durch eine weitere dreifache Messung des medialen Femurkondylus in selbiger Ausgangsposition.

4.6 Statistische Analyse

4.6.1 Statistische Auswertung der Sonographiedaten

Alle statistischen Tests wurden zweiseitig auf einem Signifikanzniveau von 5 % durchgeführt. Für die Berechnung wurde die SPSS-Version 27, IBM Inc. verwendet. Die Grafikerstellung erfolgt mit SPSS und Microsoft Excel (Version 1668). Stetige Merkmale wurden als Mittelwert (MW) und Standardabweichung (SD) angegeben, kategoriale Merkmale als absolute (n) und relative Häufigkeiten (%). Die Beurteilung der Verteilungsform wurde als Schiefe und Kurtosis (Wölbung) bewertet (Brosius, 2012). Eine unbedenkliche Einstufung der Abweichung zur Normalverteilung erfolgte dann, wenn die absoluten Werte unter 1 lagen (Miles & Shevlin, 2001). Falls die Präsenz einer Normalverteilung angenommen wurde, wurde um zwischen zwei Gruppen Unterschiede in metrischen Variablen statistisch festzustellen, ein t-Test bzw. Mann-Whitney U Test als Rangtest für ordinalskalierte Daten angewandt.

Der Kolmogorow-Smirnow-Test wurde zur Überprüfung einer Übereinstimmung zweier Wahrscheinlichkeitsverteilungen genutzt, mit dessen Hilfe anhand von Zufallsstichproben überprüft werden konnte, ob zwei Zufallsvariablen eine identische Verteilung hatten oder einer

zuvor angenommenen Verteilung folgten (Sachs & Hedderich, 2006). Zur weiteren Bestätigung einer Normalverteilung eines Merkmals wurden Quantil-Quantil-Diagramme erstellt (Eckstein, 2006). Bei keiner Normalverteilung wurde ein nicht-parametrischer Test (Wilcoxon Test) angewendet (Hartung *et al.* 2009). Boxplots und weitere Quantil-Quantil-Diagramme dienen zur optischen Darstellung der Lage- und Streumaße. Als Signifikanzniveau wurde α (α) = 0,05 gewählt. Ungerade Werte wurden in den Beschreibungen auf die zweite Nachkommastelle gerundet.

Die Test-Retest- Reliabilität wurde unter Verwendung statistischer Korrelationstests (Traub & Rowley, 1991) berechnet, wobei es anhand der Cronbach's Alpha Berechnung zu drei unterschiedlichen Berechnungen mit weglassen jeweils eines Items (einer der drei Messungen) kam. Die Ergebnisse dieser Item- Berechnung wurden anschließend automatisch als Korrelationswert zusammengefasst angezeigt. Die Faustregel zur Interpretation besagt, dass eine Reliabilität größer als 0,8 als hoch anzusehen ist (Downing, 2004). In Tabelle 1 galten für die Beurteilung des jeweiligen Reliabilitätskoeffizienten folgende Richtwerte (Cortina, 1993):

Tabelle 1: Richtwerte zur Bestimmung der Korrelation

Cronbach's Alpha	Bewertung der internen Konsistenz
0,95+	Möglicherweise überflüssige Items
0,90 bis 0,95	Hervorragend
0,80 bis 0,89	Gut
0,70 bis 0,79	Akzeptabel
0,60 bis 0,69	Fragwürdig
0,59 oder weniger	Schlecht

Quelle: Modifiziert nach Blanz, 2015.

Geschlechtsspezifische, altersspezifische und sportartspezifische Unterschiede in den Sonographiemessungen wurden mittels Boxplot gegenübergestellt und anhand des t-Tests für unverbundene Stichproben mit dem Kruskal-Wallis-H Test (Montgomery, 2017) überprüft.

Altersspezifische Unterschiede in den Sonographiemessungen wurden zusätzlich anhand einer Bonferroni-Korrektur für multiple Tests dargestellt (Abdi, 2007). Bei Verletzung der Voraussetzungen wurde der Kruskal-Wallis Test verwendet. Post-hoc t-Tests bzw. Mann-Whitney-U Tests wurden durchgeführt, um die Altersgruppen paarweise zu vergleichen.

4.6.2 Statistische Auswertung der Fragebögen

Die Auswertung des EQ-5D-Y Fragebogens erfolgte wie folgend beschrieben.

Es gab pro Frage drei Antwortmöglichkeiten, welche bei den ersten vier Fragen von „ich habe keine (1)“, „ich habe einige (2)“ zu „ich habe große Schwierigkeiten/ Schmerzen (3)“ gehen. Bei der fünften Frage konnte zwischen "ich bin nicht unglücklich (1)", „etwas unglücklich (2)", „sehr unglücklich (3)“ ausgewählt werden. Je näher der Wert der Zahl drei kam, desto schlechter fiel die Antwort aus. Alle Daten wurden durch den Median und 1./3. Quartil dargestellt.

Die Auswertung des selbsterstellten Fragebogens verlief nach zwei Gesichtspunkten getrennt: Zum einen wird nach Bekanntsein der Emotionen (Angst, Niedergeschlagenheit, Traurigkeit, Depression, Zufriedenheit) befragt. Hierzu konnte man mit „häufig (1)", „zeitweise (2)", „selten (3)" und „nie (4)" antworten. Je näher die Ergebnisse der Zahl eins kamen, desto schlechter war die Empfindung.

Zum anderen wird beim zweiten Teil des selbsterstellten Fragebogens zum persönlichen Empfinden (Alltagszufriedenheit, bist du glücklich, fühlst du dich wertgeschätzt, fühlst du dich wohl, fühlst du dich fit und gesund) gefragt. Hierzu konnte man mit „häufig (1)", „zeitweise (2)", „selten (3)" und „nie (4)" antworten.

Je näher die Ergebnisse der Zahl eins kamen, desto besser war die Empfindung. Alle Daten wurden durch den Median und 1./3. Quartil dargestellt.

Sollte es zu ungültigen oder fehlenden Fällen/ Zahlen kommen, werden diese statistisch weder berücksichtigt noch tabellarisch dargestellt.

Freitextangaben konnten aufgrund der Heterogenität und Stichprobengröße nicht weiter analysiert werden.

5. Ergebnisse

5.1 Auswertung der erhobenen Sonographiedaten

Im folgenden Kapitel werden zunächst eine Beschreibung und Prüfung des vorliegenden Datensatzes vorgenommen sowie das im Methodenteil beschriebene Sonographiegerät auf die Reliabilität überprüft. Wie in Kapitel 4.6.1 beschrieben, wird ein Messinstrument als reliabel bezeichnet, wenn es einen Reliabilitätskoeffizienten von mindestens $r = 0,80$ aufweist (Downing, 2004; Bös, 1987). Fortlaufend wird eine Übersicht der verschiedenen betrachteten Parameter (Geschlecht, Alter, Sportartzugehörigkeit, Knorpeldicken) und deren Bezug zu Knorpeldicken sowie deren Auswertung gegeben.

5.2 Dropouts

Im Rahmen der Studie wurden 3 *Dropouts* (Studienausscheider) identifiziert. Davon wurden zwei aufgrund eines nicht im Saarland vorhandenen Wohnsitzes und einer aufgrund einer fehlenden Unterschrift auf der Einwilligungserklärung der Eltern ausgeschlossen. Abzüglich der drei *Dropouts* konnten Daten von 157 Teilnehmer gewonnen werden.

5.3 Explorative Analyse

Die explorative Datenanalyse (EDA) bezieht sich auf eine deskriptive und explorative Analyse aller ausgewählten Variablen. Zuerst werden die Teilnehmerzuteilungen innerhalb der einzelnen Sportarten dargestellt. Es folgen die Altersstruktur der teilnehmenden Teilnehmer sowie die Altersstruktur innerhalb der Sportarten. Abschließend werden Daten dargestellt, welche die Geschlechterverteilung innerhalb dieser Studie generell und speziell auf die Sportarten beziehen.

5.3.1 Ergebnisse zur Sportartzugehörigkeit

Tabelle 2: Sportartzugehörigkeit der Teilnehmer

		Häufigkeit absolut	Relative Häufigkeit Prozent
Gültig	Handball	54	34,40
	Karate	45	28,70
	Fußball	40	25,50
	Schützensport	10	6,40
	Leichtathletik	8	5,10
	Gesamt	157	100,00

Wie in Tabelle 2 ersichtlich, wurden auf die Sportart bezogen, die meisten Daten mit einem Gesamtanteil von 34,40 % (n= 54) an Handballern erhoben. Es folgten Karatesportler mit 28,70 % (n= 45) und Fußballer mit 25,50 % (n= 40). Zehn Teilnehmer stammten aus dem Schützensport und nehmen mit 6,50 % den zweitniedrigsten Anteil ein. Die wenigsten Teilnehmer stammten aus der Leichtathletik. Hier konnten 5,10 % (n= 8) der Gesamtteilnehmer rekrutiert werden.

Tabelle 3 zeigt die Altersstrukturen mit Anzahl (N), Minimum (Min), Maximum (Max), Mittelwert (MW) und Standardabweichung (SD) aller teilgenommenen Teilnehmer an.

Tabelle 3: Darstellung der Altersstrukturen aller Teilnehmer

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	SD
Alter	157	6,00	17,00	12,31	2,84

Das mittlere Alter aller 157 an der Studie teilgenommenen Teilnehmer lag bei 12,31 (\pm 2,84) Jahre bei einem Mindestalter von sechs Jahren und ein Höchstalter von 17 Jahren.

Die Altersstrukturen innerhalb der einzelnen Sportarten mit Anzahl, Minimum, Maximum, Mittelwert und Standardabweichung werden in Tabelle 4 dargestellt. Die Tabelle ist chronologisch nach absteigendem Mittelwert geordnet.

Tabelle 4: Darstellung der Altersstruktur nach Sportart

Sportart	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	SD
FS Schützensport	10	14,00	16,00	14,90	0,74
FB Fußball	40	10,00	16,00	13,35	1,89
HB Handball	54	8,00	17,00	12,53	2,88
LA Leichtathletik	8	10,00	13,00	11,25	1,28
KA Karate	45	6,00	17,00	10,73	3,15

Die Altersspanne aller gemessener Teilnehmer lag zwischen 6 und 17 Jahren. Weiterhin wird aufgezeigt, dass die Schützensportler mit $14,90 \pm 0,74$ Jahren die älteste Sportgruppe stellten. Das Durchschnittsalter der Fußballer betrug 13,50 Jahre (SD \pm 1,89), gefolgt von den Handballern mit 12,53 Jahren (SD \pm 2,88). Die beiden Gruppen mit den jüngsten Teilnehmern waren bei der Leichtathletik (MW= 11,25; SD \pm 1,28) und bei dem Karate mit (MW= 10,73; SD \pm 3,15) zu finden.

In Tabelle 5 wird die Geschlechterverteilung innerhalb der gesamten Studienpopulation dargelegt.

Tabelle 5: Darstellung der Geschlechterverteilung aller Teilnehmer

	Häufigkeit	Prozent	Relativer Anteil an der Gesamtteilnehmerzahl in Prozent
Gültig männlich	106	67,5 %	67,5 %
Gültig weiblich	51	32,5 %	32,5 %
Gesamt	157	100,0 %	

Mit einer Häufigkeit von 106 Teilnehmer (67,50 %) stellen die männlichen Teilnehmer einen größeren Anteil als die weiblichen dar. Diese konnten mit 51 Teilnehmern 32,50 % der gesamten Studienpopulation darstellen.

Die 157 Teilnehmer teilten sich je nach Sportartzugehörigkeit folgendermaßen in Geschlechter auf.

Tabelle 6: Geschlechterverteilung in einzelnen Sportarten

Sportart	männlich	weiblich	N= Gesamt	Relativer Anteil Prozent	
				männlich	weiblich
Schützensport	5	5	10	50	50
Fußball	39	1	40	97,50	2,50
Handball	35	19	54	64,81	35,18
Leichtathletik	0	8	8	0	100
Karate	28	17	45	62,22	37,77

Tabelle 6 zeigt auf, dass es bei jeweils fünf männlichen und fünf weiblichen Teilnehmern eine homogene Verteilung beider Geschlechter innerhalb des Schützensports (50 % / 50 %) gab. Bei den Fußballern dominierten in Anzahl der Teilnehmer die 39 männlichen (97,50 %) deutlich gegenüber der einen weiblichen (2,50 %) Teilnehmerin. 35 männliche (64,81 %) Handballer standen numerisch 19 (35,18 %) weiblichen gegenüber. Die Sportart Leichtathletik wurde nur von weiblichen Teilnehmern (n= 8) repräsentiert. In der Sportart Karate konnten 28 männliche Teilnehmer (62,22 %) und 17 weiblichen Teilnehmer (37,77 %) rekrutiert werden.

5.4 Methodenevaluierung Sonographiemessung

5.4.1 Test-Retest Reliabilität Sonographiemessung

Im folgenden Kapitel werden separat die Ergebnisse der Sonographiereliabilitätsprüfung sowohl für die Prä- (vor Kniebeugen) als auch die Postmessung (nach Kniebeugen) dargestellt und erläutert.

5.4.1.1 Reliabilitätsprüfung der Prämessungen

Nach Cronbach's Alpha Berechnung aller Teilnehmer, konnten die in der Prämessung ermittelten Ergebnisse eine sehr gute Reliabilität von $r = 0,99$ erzielen. Dies spricht für eine hervorragende Qualität innerhalb des Prämessverfahrens der Sonographiemessung.

Tabelle 7: Prämessungen nach Cronbach's Alpha aller Teilnehmer

	Skalenwert, wenn Item weggelassen	Skalenvarianz, wenn Item weggelassen	Korrigierte Item-Skala- Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item weggelassen
M1_davor	4,13	3,11	0,98	0,99
M2_davor	4,14	3,09	0,99	0,99
M3_davor	4,15	3,08	0,98	0,99

In Tabelle 7 ist zu erkennen, dass das Cronbach's Alpha einen Wert von $r = 0,99$ hatte, was darauf hindeutete, dass das Messinstrument eine hervorragende Qualität aufwies. Auch konnte anhand der korrigierten Item-Skala- Korrelation allen drei Messungen (M1 – M3), welche vor den Kniebeugen stattfanden, eine sehr gute Trennschärfe bestätigt werden.

5.4.1.2 Reliabilitätsprüfung der Postmessungen

Nach Cronbach's Alpha Berechnung aller Teilnehmer, konnten die in der Prämessung ermittelten Ergebnisse eine sehr gute Reliabilität von $r = 0,99$ erzielen. Dies spricht für eine hervorragende Qualität innerhalb des Postmessverfahrens der Sonographiemessung.

Wie in Tabelle 8 ersichtlich, haben die nach Kniebeugen ermittelten Ergebnisse eine Reliabilität von $r = 0,99$ ergeben. Dies spricht für eine hervorragende Qualität innerhalb der Postmessungen (M4 – M6).

Tabelle 8: Reliabilitätsberechnung aller Teilnehmer nach Kniebeugen

	Skalenwert, wenn Item weggelassen	Skalenvarianz, wenn Item weggelassen	Korrigierte Item-Skala- Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item weggelassen
M4_ danach	4,17	2,93	0,97	0,99
M5_ danach	4,16	2,96	0,99	0,98
M6_ danach	4,17	2,95	0,99	0,99

Das Cronbach's Alpha hatte einen Wert von $r = 0,99$, was darauf hindeutete, dass das Messinstrument eine hervorragende Qualität aufwies. Zusätzlich konnten anhand der korrigierten Item-Skala-Korrelation allen drei Messungen, welche nach den Kniebeugen stattfanden, eine sehr gute Trennschärfe bescheinigt werden.

5.5 Vergleichende Analysen der Knorpeldicken

5.5.1 Knorpeldicken vor und nach Kniebeugen aller Teilnehmer

Folgend werden die sechs Messdaten (M1 – M3 davor und M4 – M6 danach), welche mittels Sonographiegerät an allen Teilnehmern erhoben wurden, dargestellt und anhand von Anzahl, Minimum, Maximum, Mittelwert und der Standardabweichung beschrieben.

Tabelle 9: Knorpeldicken vor und nach Kniebeugen aller Teilnehmer

Deskriptive Statistiken					
	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	SD
M1_davor	157	0,42	4,83	2,08	0,88
M2_davor	157	0,44	4,87	2,07	0,88
M3_davor	157	0,42	4,79	2,06	0,89
Durchschnittsknorpeldicke davor	157	0,45	4,83	2,07	0,88
M4_danach	157	0,39	5,25	2,08	0,87
M5_danach	157	0,41	4,84	2,09	0,86
M6_danach	157	0,39	4,86	2,08	0,86
Durchschn_knorpeldick_danach	157	0,40	4,98	2,08	0,86

Wie in Tabelle 9 dargestellt, lagen alle Messergebnisse der 157 Teilnehmer sowohl vor als auch nach Kniebeugen bei einem Mittelwert ca. 2,08 mm (SD \pm 0,89). Die maximal ermittelte Knorpeldicke lag bei 5,25 mm und die geringste bei 0,39 mm.

5.5.2 Durchschnittsknorpeldicken nach Geschlecht

In folgender Tabelle 10 werden die durch Sonographie ermittelten Knorpeldicken aller Teilnehmer geschlechtsabhängig anhand der Mittelwerte, der Teilnehmeranzahl und der Standardabweichung dargestellt.

Tabelle 10: Durchschnittsknorpeldicke nach Geschlecht

Geschlecht		Durchschnittliche Knorpeldicke davor	Durchschnittliche Knorpeldicke danach
Männlich	Mittelwert	2,23	2,25
	N	106	106
	SD	0,92	0,90
Weiblich	Mittelwert	1,74	1,73
	N	51	51
	SD	0,67	0,64
Insgesamt	Mittelwert	2,07	2,08
	N	157	157
	SD	0,88	0,86

Es zeigte sich, dass die Knorpeldicken der in dieser Studie gemessenen männlichen Teilnehmer sowohl in der Prämessung (2,23mm; SD= ± 0,92) als auch in der Postmessung (2,25mm; SD= ± 0,90) fast gleiche Werte aufwiesen. Die Werte der weiblichen Teilnehmer lagen bei der Messung vor den Kniebeugen (1,74mm; SD= ± 0,67) und bei der Messung nach den Kniebeugen (1,73mm; SD= ± 0,64) auf ähnlichem Niveau. Die Ergebnisse der männlichen Teilnehmer zeigten gegenüber den weiblichen Teilnehmern sowohl vor als auch nach den Kniebeugen größere Knorpeldickenwerte.

5.5.3 Durchschnittsknorpeldicken nach Sportart

In Tabelle 11 werden die durch Sonographie ermittelten Knorpeldicken vor und nach Kniebeugen aller Teilnehmer und Sportartzugehörigkeit anhand von Mittelwerten, Teilnehmeranzahlen und Standardabweichungen dargestellt.

Tabelle 11: Durchschnittsknorpeldicken nach Sportart

Sportart		Durchschnittliche Knorpeldicke davor	Durchschnittliche Knorpeldicke danach
Karate	Mittelwert	2,46	2,40
	N	45	45
	SD	0,90	0,82
Handball	Mittelwert	2,14	2,19
	N	54	54
	SD	0,94	0,94
Leichtathletik	Mittelwert	2,08	2,06
	N	8	8
	SD	0,61	0,48
Fußball	Mittelwert	1,83	1,89
	N	40	40
	SD	0,52	0,60
Schützensport	Mittelwert	0,87	0,85
	N	10	10
	SD	0,34	0,34
Insgesamt	Mittelwert	2,10	2,10
	N	157	157
	SD	0,88	0,86

Die dargestellten Daten zeigten auf, dass Teilnehmer der Sportart Karate bei den Prämessungen (MW= 2,46 mm; SD= \pm 0,90) und auch bei den Postmessungen (MW= 2,40 mm; SD= \pm 0,829) die größten Werte aufwiesen. Die Handballer hatten vor den Kniebeugen eine mittlere Knorpeldicke von 2,14 mm (SD= \pm 0,94) und danach eine Dicke von 2,2 mm (SD= \pm 0,94). In den Prämessungen der Leichtathleten konnte ein Mittelwert von 2,08 mm (SD= \pm 0,61) ermittelt werden. Bei den Postmessungen erreichten die Werte der mittleren Dicke ebenso (MW= 2,06 mm; SD= \pm 0,48). Die Fußballer kamen in der Prämessung auf eine mittlere Dicke von 1,83 mm (SD= \pm 0,52) und in der Postmessung auf MW= 1,89 mm (SD= \pm 0,60). Die kleinsten Werte der Prämessungen (0,87 mm; SD= \pm 0,34) und Postmessung (0,86 mm; SD= \pm 0,34) wurden bei den Sportschützen ermittelt.

Tabelle 12: Knorpeldickendifferenz (nach Kniebeugen - vor Kniebeugen)

Sportart	Geschlecht	N	Mittelwert	SD
Fußball	Männlich	38	0,06	0,22
	Weiblich	2	0,09	0,09
	Gesamt	40	0,06	0,22
Schützensport	Männlich	5	-0,05	0,05
	Weiblich	5	0,02	0,20
	Gesamt	10	-0,01	0,14
Handball	Männlich	35	0,08	0,54
	Weiblich	19	0,01	0,24
	Gesamt	54	0,06	0,46
Karate	Männlich	28	-0,07	0,35
	Weiblich	17	-0,05	0,26
	Gesamt	45	-0,07	0,31
Leichtathletik	Weiblich	8	-0,03	0,27
	Gesamt	8	-0,03	0,27
Gesamt	Männlich	106	0,03	0,38
	Weiblich	51	-0,01	0,24
	Gesamt	157	0,01	0,34

Tabelle 12 zeigt, dass es bei den männlichen Fußballern (MW= 0,06 und SD= \pm 0,22) sowie den weiblichen Fußballerinnen (MW= 0,09 und SD= \pm 0,22) zu unterschiedlichen Ergebnissen kam. Die männlichen Handballer kamen auf (MW= 0,08; SD= \pm 0,54) und die weiblichen auf (MW= 0,01; SD= \pm 0,24). Männliche (MW= -0,05; SD= \pm 0,05) und weibliche Schützensportler (MW= 0,02; SD= \pm 0,20) sowie die männlichen (MW= -0,07; SD= \pm 0,35) und die weiblichen Karatesportler (MW= -0,05; SD= \pm 0,26) konnten im Mittelwert negative Ergebnisse erzielen. Auch die weiblichen Leichtathleten (MW= -0.03; SD= \pm 0,27) konnten negative Ergebnisse erzielen.

5.5.4 Durchschnittsknorpeldicken nach Alter

Im folgenden Abschnitt werden die Knorpeldicken nach einzelnen Altersstufen sortiert, angefangen bei sieben Jahren bis zum 17. Lebensjahr dargestellt.

Tabelle 13: Durchschnittsknorpeldicken vor und nach Kniebeugen nach Alter

Alter	N	Mittelwert Durchschnittliche		Mittelwert Durchschnittliche	
		Knorpeldicke davor	SD	Knorpeldicke danach	SD
6	3	2,86	0,61	2,80	0,35
7	2	2,69	1,94	2,99	1,50
8	13	3,40	0,96	3,48	0,62
9	12	3,32	0,39	3,19	0,39
10	15	2,39	0,49	2,40	0,62
11	17	2,27	0,51	2,42	0,48
12	15	1,93	0,86	2,00	0,74
13	25	1,77	0,34	1,81	0,47
14	16	1,38	0,44	1,38	0,44
15	13	1,31	0,42	1,20	0,39
16	14	1,47	0,45	1,44	0,39
17	12	1,63	0,48	1,57	0,42
Insgesamt	157	2,07	0,88	2,08	0,86

In Tabelle 13 zeigt sich, dass die achtjährigen Teilnehmer sowohl in der Prämessung (3,40 mm; SD= ± 0,96) als auch in der Postmessung (3,48 mm; SD= ± 0,62) die durchschnittlich dicksten Knorpel aufwiesen. Die fünfzehnjährigen Teilnehmer wiesen hingegen die geringste Knorpeldicke innerhalb der Prämessung (1,31 mm; SD= ± 0,42) und der Postmessung (1,20mm; SD= ± 0,39) auf.

5.5.5 Durchschnittsknorpeldickenvergleich vor und nach Kniebeugen

Im folgenden Kapitel werden die Durchschnittsknorpeldicken aller Teilnehmer vor und nach den 30 Kniebeugen verglichen.

Tabelle 14: Durchschnittsknorpeldicke aller Teilnehmer

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	SD
Mitt. Messung vor Kniebeugen	157	0,45	4,83	2,07	0,88
Mitt. Messung nach Kniebeugen	157	0,40	4,98	2,08	0,86
Differenz_Messungen (nach – vor)	157	-0,60	2,67	0,01	0,34

Tabelle 14 zeigt, dass die ermittelten durchschnittlichen Knorpeldicken aller Teilnehmer vor den Kniebeugen (2,07 mm; SD= +/- 0,88) und nach den Kniebeugen (2,08 mm; SD= +/- 0,86) bei einem ähnlichen Wert lagen.

Schiefe und Kurtosis wiesen Werte auf, die auf nicht normal verteilte Daten hinwiesen (siehe Anhang 4, S. 115). Für den Differenzvergleich wurde folglich ein nicht-parametrischer Test durchgeführt. Der P-Wert (0,597) war größer als das Signifikanzniveau ($\alpha = 0,05$).

5.5.5.1 Teilnehmer der Sportart Fußball

Tabelle 15: Durchschnittsknorpeldicke der Fußballer

	N	Min	Max	Mittelwert	SD	Schiefe	Kurtosis
Mitt. Messungen vor Kniebeugen	40	1,21	3,26	1,83	0,52	1,21	0,74
Mitt. Messungen nach Kniebeugen	40	1,12	3,47	1,89	0,60	0,89	0,01
Differenz_Messungen (nach – vor)	40	-0,34	0,74	0,06	0,22	1,08	1,67

Tabelle 15 zeigt, dass im Schnitt die Messungen nach den Kniebeugen (1,89 mm; SD= ± 0,60) etwas höher als die Durchschnittswerte vor den Kniebeugen (1,83 mm; SD= ± 0,52) lagen. Schiefe und Kurtosis wiesen Werte auf, die auf nicht normal verteilte Daten hinwiesen (siehe Anhang 5, S. 116). Der Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung belegte dies. Der P-Wert (0,19) war größer als das Signifikanzniveau (alpha = 0,05).

5.5.5.2 Teilnehmer der Sportart Schützensport

Tabelle 16: Durchschnittsknorpeldicken der Schützensportler

	N	Min	Max	Mittelwert	SD	Schiefe	Kurtosis
Mitt. Messungen vor Kniebeugen	10	0,45	1,45	0,87	0,34	0,88	-0,51
Mitt. Messungen nach Kniebeugen	10	0,4	1,38	0,85	0,34	0,42	-1,06
Differenz_Messungen (nach – vor)	10	-0,14	0,37	-0,01	0,14	2,37	6,47

Wie in Tabelle 16 ersichtlich, lagen im Schnitt die Messungen nach den Kniebeugen (0,85 mm; SD= 0,34) etwas niedriger als die Durchschnittswerte vor Durchführung der Kniebeugen (0,87 mm; SD= 0,34). Schiefe und Kurtosis wiesen Werte auf, die auf nicht normal verteilte Daten hinwiesen (siehe Anhang 6, S. 116). Der Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung belegte dies. Der P-Wert (0,20) war größer als das Signifikanzniveau (alpha= 0,05).

5.5.5.3 Teilnehmer der Sportart Handball

Tabelle 17: Durchschnittsknorpeldicken der Handballer

	N	Min	Max	Mittelwert	SD	Schiefe	Kurtosis
Mitt. Messungen vor Kniebeugen	54	0,71	4,83	2,14	0,93	0,99	0,47
Mitt. Messungen nach Kniebeugen	54	0,97	4,98	2,19	0,94	0,98	0,37
Differenz_Messungen (nach – vor)	54	-0,55	2,67	0,05	0,46	3,71	20,27

In Tabelle 17 werden die Durchschnittsknorpeldicken der Handballer aufgezeigt. Im Schnitt lagen die Messungen vor den Kniebeugen mit 2,14 mm (SD= ± 0,93), etwas niedriger als nach den Kniebeugen mit 2,19 mm (SD= ±0,94) bei gleicher Standardabweichung (SD= 0,94). Schiefe und Kurtosis wiesen Werte auf, die auf nicht normal verteilte Daten hinwiesen (siehe Anhang 7, S. 117). Der Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung belegte dies.

Der P-Wert (0,94) war größer als das Signifikanzniveau ($\alpha = 0,05$).

5.5.5.4 Teilnehmer der Sportart Karate

Tabelle 18: Durchschnittsknorpeldicken beim Karate

	N	Min	Max	Mittelwert	SD	Schiefe	Kurtosis
Mitt. Messungen vor Kniebeugen	45	0,63	4,07	2,47	0,90	0,11	-1,08
Mitt. Messungen nach Kniebeugen	45	1,02	4,12	2,40	0,82	0,11	-0,90
Differenz_Messungen (nach – vor)	45	-0,6	0,61	-0,07	0,31	0,29	-0,66

Wie in Tabelle 18 ersichtlich, liegen die Werte der durchschnittlichen Messungen an Karatesportlern nach den Kniebeugen (2,40 mm; $SD = \pm 0,82$) etwas niedriger als die Durchschnittswerte vor den Kniebeugen (2,47 mm; $SD = \pm 0,90$). Schiefe und Kurtosis wiesen Werte auf, die auf normal verteilte Daten hinwiesen (siehe Anhang 8, S. 118). Der Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung belegte dies. Der p-Wert (0,17) war größer als das Signifikanzniveau ($\alpha = 0,05$).

5.5.5.5 Teilnehmer der Sportart Leichtathletik.

Tabelle 19: Durchschnittsknorpeldicken der Leichtathleten

	N	Min	Max	Mittelwert	SD	Schiefe	Kurtosis
Mitt. Messungen vor Kniebeugen	8	1,24	2,98	2,08	0,61	0,27	-1,17
Mitt. Messungen nach Kniebeugen	8	1,57	2,9	2,06	0,48	0,64	-0,57
Differenz_Messungen (nach – vor)	8	-0,51	0,33	-0,03	0,27	-0,36	0,53

Tabelle 19 zeigt die Durchschnittsknorpeldicken der Leichtathleten mit Schiefe und Kurtosis auf. Im Schnitt lagen die Messungen aller Leichtathleten nach den Kniebeugen mit 2,06 mm ($SD = \pm 0,48$) etwas niedriger als die Durchschnittswerte vor den Kniebeugen (2,08 mm; $SD = \pm 0,61$). Schiefe und Kurtosis wiesen Werte auf, die auf nicht normal verteilte Daten hinwiesen (siehe Anhang 9, S. 118). Der Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung belegte dies. Der P-Wert (0,79) war größer als das Signifikanzniveau ($\alpha = 0,05$).

5.6 Teilnehmerspezifische Vergleiche

Unter folgendem Kapitel finden sich die Ergebnisse der geschlechtsspezifischen Knorpeldicken. Beginnend mit den männlichen Teilnehmern werden anschließend die weiblichen Teilnehmer dargestellt und beschrieben.

5.6.1 Männliche Teilnehmer

Tabelle 20: Deskriptive Statistik der männlichen Teilnehmer

	N	Min	Max	Mittelwert	SD	Schiefe	Kurtosis
Mitt. Messungen vor Kniebeugen	106	0,63	4,83	2,23	0,92	0,62	-0,37
Mitt. Messungen nach Kniebeugen	106	0,67	4,98	2,25	0,90	0,56	-0,30
Differenz_Messungen (nach – vor)	106	-0,60	2,67	0,03	0,38	3,25	21,08

In Tabelle 20 ist zu erkennen, dass die an 106 männlichen Teilnehmer errechneten Mittelwerte nach den Kniebeugen (2,25 mm; SD= ± 0,90) etwas höher waren als die Durchschnittswerte vor den Kniebeugen (2,23 mm; SD= ± 0,92). Schiefe und Kurtosis wiesen Werte auf, die auf nicht normal verteilte Daten hinwiesen (siehe Anhang 10, S. 119). Der Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung belegte dies. Der P-Wert (0,78) war größer als das Signifikanzniveau (alpha = 0,05).

5.6.2 Weibliche Teilnehmer

Tabelle 21: Deskriptive Statistik der weiblichen Teilnehmer

	N	Min	Max	Mittelwert	SD	Schiefe	Kurtosis
Mitt. Messungen vor Kniebeugen	51	0,45	3,52	1,74	0,67	0,54	0,18
Mitt. Messungen nach Kniebeugen	51	0,40	3,19	1,73	0,64	0,26	-0,29
Differenz_Messungen (nach – vor)	51	-0,51	0,60	-0,01	0,24	0,29	-0,26

In Tabelle 21 ist zu erkennen, dass die Messungen nach den Kniebeugen (1,73mm; SD= ± 0,64) etwas niedriger waren als die Durchschnittswerte vor den Kniebeugen (1,74 mm; SD= ± 0,67). Schiefe und Kurtosis wiesen Werte auf, die auf nicht normal verteilte Daten hinwiesen (siehe Anhang 11, S. 119). Der Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung belegte dies. Der p-Wert des Tests bei p= 0,78 lag und war somit größer als das Signifikanzniveau (alpha = 0,05). Es gab im Schnitt keinen Unterschied zwischen den Messungen vor den Kniebeugen und den Messungen nach den Kniebeugen. Der P-Wert (0,73) war größer als das Signifikanzniveau (alpha= 0,05).

Tabelle 22: Knorpeldickendifferenzen geschlechtsübergreifend

Geschlecht	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	SD
männlich Differenz_Messungen	106	-0,60	2,67	0,03	0,38
weiblich Differenz_Messungen	51	-0,51	0,60	-0,01	0,24

Tabelle 22 zeigt, dass die männlichen Teilnehmer (n= 106) eine minimale Differenz von -0,60 mm und eine maximale Differenz von 2,67 mm bei einem Mittelwert von 0,03 mm und einer SD von ± 0,38 hatten. Alle weiblichen Teilnehmer (n= 51) hatten eine minimale Differenz

innerhalb der Messungen von -0,51 mm und eine maximale Differenz von 0,60 mm bei einem Mittelwert von -0,01 mm und einer SD von $\pm 0,24$. Der P-Wert (0,71) war größer als das Signifikanzniveau ($\alpha = 0,05$).

5.6.3 Vergleich der Durchschnittsknorpeldickendifferenz

Folgend werden die Ergebnisse der Knorpeldickendifferenzen im Bezug zum Alter, Geschlecht und der Sportart dargestellt.

5.6.3.1 Altersübergreifend

Tabelle 23: Knorpeldickendifferenz im Altersvergleich

Alter		N	Minimum	Maximum	Mittelwert	SD
6	Differenz_Messungen	3	-0,32	0,36	-0,07	0,37
7	Differenz_Messungen	2	-0,01	0,61	0,30	0,44
8	Differenz_Messungen	13	-0,54	2,67	0,08	0,84
9	Differenz_Messungen	12	-0,60	0,35	-0,13	0,32
10	Differenz_Messungen	15	-0,51	0,36	0,00	0,25
11	Differenz_Messungen	17	-0,28	0,60	0,15	0,23
12	Differenz_Messungen	15	-0,33	0,74	0,07	0,34
13	Differenz_Messungen	25	-0,55	0,77	0,04	0,25
14	Differenz_Messungen	16	-0,45	0,64	-0,00	0,23
15	Differenz_Messungen	13	-0,36	0,37	-0,10	0,18
16	Differenz_Messungen	14	-0,39	0,34	-0,03	0,19
17	Differenz_Messungen	12	-0,59	0,31	-0,05	0,24

In Tabelle 23 wurden die Knorpeldickendifferenzen im Altersvergleich dargestellt. Die Daten der achtjährigen Studienteilnehmer zeigten die größte Streuung ($SD = \pm 0,84$), die geringste die der fünfzehnjährigen ($SD = \pm 0,18$). Der P-Wert (0,16) war größer als das Signifikanzniveau ($\alpha = 0,05$).

5.6.3.2 Sportartübergreifend

Tabelle 24: Bericht Knorpeldickendifferenz Sportartübergreifend

Sportart		N	Minimum	Maximum	Mittelwert	SD
Fußball	Differenz_Messungen	40	-0,34	0,74	0,60	0,22
Schützensport	Differenz_Messungen	10	-0,14	0,37	-0,01	0,14
Handball	Differenz_Messungen	54	-0,55	2,67	0,06	0,46
Karate	Differenz_Messungen	45	-0,60	0,61	-0,07	0,31
Leichtathletik	Differenz_Messungen	8	-0,51	0,33	-0,03	0,27

Anhand Tabelle 24 ist ersichtlich, dass die Teilnehmer aus dem Schützensport (FS) (n= 10) die geringste Differenz (-0,14 mm) und die teilgenommenen Handballer (n= 54) die größte Differenz (2,67 mm) aufwiesen. Die Mittelwerte befanden sich zwischen -0,07 mm (Karate) und 0,60 mm beim Fußball. Die erhobenen Daten streuten am beim Schützensport am geringsten (SD= \pm 0,14) und am meisten beim Handball (SD= 0,46). Der P-Wert (0,22) war größer als das Signifikanzniveau ($\alpha = 0,05$).

5.7 Auswertung der Fragebögen

Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse der beiden Fragebögen, beginnend mit dem EQ-5D-Y, dargestellt. Die hierbei betrachteten Aspekte der gesundheitsspezifischen Lebensqualität sind: *Bewegung* (5.7.1.1); *Für mich selbst sorgen* (5.7.1.2); *Was ich normalerweise tue* (5.7.1.3); *Schmerzen oder körperliche Beschwerden* (5.7.1.4) sowie *Sich unglücklich, traurig oder besorgt fühlen* (5.7.1.5).

Abschließend wurden die Werte, welche anhand einer VAS die aktuell eigene Gesundheit bewerteten, dargestellt (5.7.1.6).

5.7.1 Auswertung des EQ-5D-Y

Alle Daten wurden durch den Mittelwert, Median und Standardabweichung dargestellt. Je näher der Wert der Zahl drei kam, desto schlechter und je näher der Zahl 1 desto besser fiel die Antwort aus (*) Je näher die Zahl an 100 kam, desto besser viel die Antwort aus (+).

Folgende Variablen wurden erhoben:

Tabelle 25: Deskriptive Statistik des EQ-5D-Y Fragebogens alle Teilnehmer

	N gültige Werte	Minimum	Maximum	Mittelwert	SD
Mobilität/ Bewegung*	85	1,00	2,00	1,08	0,28
Für mich selbst sorgen*	84	1,00	2,00	1,01	0,11
Was ich normalerweise tue*	85	1,00	2,00	1,06	0,24
Schmerzen oder körperliche Beschwerden*	85	1,00	2,00	1,27	0,45
Sich unglücklich, traurig, besorgt fühlen*	85	1,00	3,00	1,18	0,41
Aktuelle Gesundheit+	77	45,00	100,00	85,81	11,48

Anhand Tabelle 25 ist ersichtlich, dass von 157 ausgegebenen Fragebögen zur Frage der aktuell empfundenen Gesundheit 77 ausgewertet werden (VAS- Skala) konnten. Alle anderen Fragen konnten anhand von 85 Fragebögen ausgewertet und dargestellt werden. Alle Fragen konnten mit einem sehr niedrigen Mittelwert (1,08 – 1,27) beantwortet werden, folglich berichteten die überwiegende Mehrheit der Teilnehmer von keinen Problemen.

5.7.1.1 Bewegung

nach Sportart

Zur Frage der „Bewegung“ innerhalb der Kategorie Sportart konnten keine Unterschiede gemessen werden. Die Angaben lagen sowohl im 1. Quartil, Median und 3. Quartil ohne Abweichungen bei 1,00 (siehe Anhang 12, S.120).

Nach Schularart

Zur Frage der „Bewegung“ innerhalb der Kategorie Schularart konnten keine Unterschiede gemessen werden. Die Angaben lagen sowohl im 1. Quartil, Median und 3. Quartil ohne Abweichungen bei 1,00 (siehe Anhang 13, S. 120).

Nach Jahrgangsstufe

Zur Frage der „Bewegung“ innerhalb der Kategorie Jahrgangsstufe konnten keine Unterschiede gemessen werden. Die Angaben lagen sowohl im 1. Quartil, Median und 3. Quartil ohne Abweichungen bei 1,00 (siehe Anhang 14, S.121).

Nach Geschlecht

Zur Frage der „Bewegung“ innerhalb der Kategorie Geschlecht lagen die Angaben sowohl im 1. Quartil, Median und 3. Quartil ohne Abweichungen bei 1,00 (siehe Anhang 15, S. 121).

5.7.1.2 Für mich selbst sorgen

Nach Sportart

Zur Frage der „Für mich selbst sorgen“ innerhalb der Kategorie Sportart lagen die Angaben sowohl im 1. Quartil, Median und 3. Quartil ohne Abweichungen bei 1,00 (siehe Anhang 16, S 122).

Nach Schularart

Zur Frage der „Für mich selbst sorgen“ innerhalb der Kategorie Schularart lagen die Angaben sowohl im 1. Quartil, Median und 3. Quartil ohne Abweichungen bei 1,00 (siehe Anhang 17, S. 122).

Nach Jahrgangsstufe

Zur Frage der „Für mich selbst sorgen“ innerhalb der Kategorie Klasse lagen die Angaben sowohl im 1. Quartil, Median und 3. Quartil ohne Abweichungen bei 1,00 (siehe Anhang 18, S. 123).

Nach Geschlecht

Zur Frage der „Für mich selbst sorgen“ innerhalb der Kategorie Geschlecht lagen die Angaben sowohl im 1. Quartil, Median und 3. Quartil ohne Abweichungen bei 1,00 (siehe Anhang 19, S. 123).

5.7.1.3 Was ich normalerweise tue

Nach Sportart

Zur Frage der „was ich normalerweise tue“ innerhalb der Kategorie Sportart lagen die Angaben sowohl im 1. Quartil, Median und 3. Quartil ohne Abweichungen bei 1,00 (siehe Anhang 20, S. 124).

Nach Schulart

Zur Frage der „was ich normalerweise tue“ innerhalb der Kategorie Sportart lagen die Angaben sowohl im 1. Quartil, Median und 3. Quartil ohne Abweichungen bei 1,00 (siehe Anhang 21, S. 124). Lediglich die Angaben Schüler der sonstigen Schulen lagen im 3. Quartil bei 1,25.

Nach Jahrgangsstufe

Zur Frage der „was ich normalerweise tue“ innerhalb der Kategorie Jahrgangsstufe lagen die Angaben sowohl im 1. Quartil, Median und 3. Quartil ohne Abweichungen bei 1,00 (siehe Anhang 22, S. 125).

Nach Geschlecht

Zur Frage der „was ich normalerweise tue“ innerhalb der Kategorie Geschlecht lagen die Angaben sowohl im 1. Quartil, Median und 3. Quartil ohne Abweichungen bei 1,00 (siehe Anhang 23, S. 125).

5.7.1.4 Schmerzen oder körperliche Beschwerden

Nach Sportart

Tabelle 26: EQ-5D-Y, Schmerzen oder körperliche Beschwerden nach Sportart

Schmerzen	Sportart	N	1. Quartil	Median	3. Quartil
	Schützensport	10	1,00	1,00	2,00
	Handball	51	1,00	1,00	2,00
	Karate	15	1,00	1,00	1,00
	Leichtathletik	8	1,00	1,00	1,00

Tabelle 26 legt dar, dass die Zufriedenheit von den Teilnehmern der Schützensport-Gruppe im Median mit 1 angegeben [1. Quartil 3. Quartil: 1,00; 2,00], ebenso von Handballern [1,00; 2], Karatekämpfern [1,00; 1,00] und Leichtathleten [1,00, 1,00] wurde.“ Der P-Wert (0,13) war größer als das Signifikanzniveau ($\alpha = 0,05$).

Nach Schulart

Tabelle 27: EQ-5D-Y, Schmerzen oder körperliche Beschwerden nach Schulart

Schmerzen	Schulart	N	1. Quartil	Median	3. Quartil
	Gemeinschaftsschule	8	1,00	1,00	2,00
	Realschule	3	1,00	1,00	.
	Gymnasium	47	1,00	1,00	1,00
	Sonstige Schule	10	1,00	2,00	2,00
	Grundschule	15	1,00	1,00	1,00

Tabelle 27 zeigt auf, dass die Zufriedenheit mit Ausnahme der Schüler der Gemeinschaftsschüler (3. Quartil: 2,00) und Schüler der sonstigen Schulen (Median; 3. Quartil: 2,00; 2,00) im 1. Quartil, Median und 3. Quartil bei 1,00 liegt. Der P-Wert (0,06) war größer als das Signifikanzniveau ($\alpha = 0,05$).

Nach Jahrgangsstufe

Tabelle 28: EQ-5D-Y, Schmerzen oder körperliche Beschwerden nach Jahrgangsstufe

Schmerzen	Jahrgangsstufe	N	1. Quartil	Median	3. Quartil
	2	2	1,00	1,00	1,00
	3	8	1,00	1,00	2,00
	4	6	1,00	1,00	1,25
	5	8	1,00	1,00	1,00
	6	8	1,00	1,00	2,00
	7	9	1,00	1,00	1,50
	8	15	1,00	1,00	1,00
	9	14	1,00	1,00	2,00
	11	8	1,00	1,50	2,00
	12	3	1,00	1,00	1,00

In Tabelle 28 ist die Schmerzsituation nach Jahrgangsstufe geordnet angezeigt. Die Schmerzsituation wurde mit Ausnahme der Schüler der Jahrgangsstufe 3 (3. Quartil: 2,0) und Jahrgangsstufe 4 (3. Quartil: 1,25), Jahrgangsstufe 6 und 9 (3. Quartil: 2) sowie Jahrgangsstufe 9 (3. Quartil: 2,0) von allen Teilnehmern im Median mit 1 angegeben [1. Quartil; Median*: 1; 1]. Der P-Wert (0,46) war größer als das Signifikanzniveau ($\alpha = 0,05$).

Nach Geschlecht

Tabelle 29: EQ-5D-Y, Schmerzen oder körperliche Beschwerden nach Geschlecht

Schmerzen	Geschlecht	N	1. Quartil	Median	3. Quartil
	männlich	48	1,00	1,00	1,75
	Weiblich	37	1,00	1,00	2,00

Tabelle 29 zeigt die Schmerzen nach Geschlecht an. Die Schmerzen wurden bei den männlichen Schülern (1. Quartil: 1,00; Median: 1,00; 3. Quartil: 1,75) und weiblichen Schülern (1. Quartil: 1,00; Median: 1,00; 3. Quartil: 2,00) angegeben. 1. Quartil und Median wurden bei beiden Geschlechtern mit 1,00 angegeben. Der P-Wert (0,81) war größer als das Signifikanzniveau ($\alpha = 0,05$).

5.7.1.5 Sich unglücklich, traurig oder besorgt fühlen

Nach Sportart

Zur Frage der „Sich unglücklich, traurig oder besorgt fühlen“ innerhalb der Kategorie Sportart lagen sowohl der 1. Quartil, Median und 3. Quartil ohne Abweichungen bei 1,00 (siehe Anhang 24, S. 126). Der P-Wert (0,34) und war größer als das Signifikanzniveau ($\alpha = 0,05$).

Nach Schulart

Tabelle 30: EQ-5D-Y, sich glücklich, traurig oder besorgt fühlen nach Schulart

Gefühl	Schulart	N	1. Quartil	Median	3. Quartil
	Gemeinschaftsschule	8	1,00	1,00	1,75
	Realschule	3	1,00	1,00	1,00
	Gymnasium	47	1,00	1,00	1,00
	Sonstige Schule	10	1,00	1,00	2,00
	Grundschule	15	1,00	1,00	1,00

Tabelle 30 zeigt „Sich unglücklich, traurig oder besorgt fühlen“ nach Schulart an. Das Gefühl wurde mit Ausnahme der Schüler der Gemeinschaftsschule (3. Quartil: 1,75) und sonstigen Schulen (3. Quartil: 2,00) von allen Teilnehmern im Median mit 1,00 angegeben [1. Quartil; Median, 3. Quartil: 1,00; 1,00; 1,00]. Der P-Wert (0,34) war größer als das Signifikanzniveau ($\alpha = 0,05$).

Nach Jahrgangsstufe

Zur Frage der „Sich unglücklich, traurig oder besorgt fühlen“ innerhalb der Kategorie Jahrgangsstufe lagen mit Ausnahme der Schüler der 11. Klasse (Median und 3. Quartil 2,00; 2,00) alle Werte bei 1,00 (siehe Anhang 25, S. 126).

Nach Geschlecht

Zur Frage der „Sich unglücklich, traurig oder besorgt fühlen“ innerhalb der Kategorie Geschlecht hatten die weiblichen Teilnehmer im 3. Quartil einen Wert von 2,00. 1. Quartil und Median sowie 1. Bis 3. Quartil der männlichen Teilnehmer lagen bei 1,00 (siehe Anhang 26, S. 127).

5.7.1.6 VAS- Skala zur aktuell empfundenen Gesundheit

Nach Sportart

Tabelle 31: EQ-5D-Y, aktuell empfundene Gesundheit nach Sportart

Gesund	Sportart	N	MW	Median	SD
	Schützensport	10	85,50	87,50	3,532
	Handball	48	83,65	85,00	1,754
	Karate	10	92,90	95,00	2,273
	Leichtathletik	8	88,50	90,00	2,970

Tabelle 31 zeigt die aktuell empfundene Gesundheit nach Sportarten. Die aktuell empfundene Gesundheit lag im Mittelwert bei den Karatesportlern bei 92,90, bei den Leichtathleten bei 88,50, bei den Sportschützen bei 85,50 und bei den Handballern bei 83,65.

Nach Schularart

Tabelle 32: EQ-5D-Y, aktuell empfundene Gesundheit nach Schularart

Gesund	Schularart	N	MW	Median	SD
	Gemeinschaftsschule	7	84,29	85,00	4,93
	Realschule	3	91,67	90,00	4,41
	Gymnasium	42	85,79	89,50	1,42
	Sonstige Schule	10	78,60	86,00	5,69
	Grundschule	13	89,08	95,00	2,98

Tabelle 32 zeigt die aktuell empfundene Gesundheit nach Schularart. Zu sehen ist, dass die empfundene Gesundheit im Mittelwert bei Realschülern mit 91,67, bei Grundschulern mit 89,08, bei Gymnasiasten mit 85,79, Gemeinschaftsschülern mit 84,29 und Schülern sonstiger Schulen mit 78,60 angegeben wurde.

Nach Jahrgangsstufe

Tabelle 33: EQ-5D-Y, aktuell empfundene Gesundheit nach Jahrgangsstufe

Gefühl	Klasse	N	MW	Median	SD
	3	8	88,00	91,50	4,24
	4	5	88,80	90,00	4,17
	5	5	88,00	90,00	4,63
	6	7	86,29	90,00	5,14
	7	9	89,00	90,00	2,67
	8	15	81,87	82,00	2,20
	9	14	90,36	90,00	2,25
	11	6	73,17	72,50	5,54
	12	3	90,00	90,00	0,00

Tabelle 33 zeigt die aktuell empfundene Gesundheit nach Jahrgangsstufe. Die angegebenen Mittelwerte sind wie folgt: 3. Klasse 88,00, 4. Klasse 88,80, 5. Klasse 88,00, 6. Klasse 86,29, 7. Klasse 89,00, 8. Klasse 81,87, 9. Klasse 90,36, 11. Klasse 73,17 und 12. Klasse 90,00.

Nach Geschlecht

Tabelle 34: EQ-5D-Y, aktuell empfundene Gesundheit nach Geschlecht

Gesund	Geschlecht	N	MW	Median	SD
	Männlich	45	85,36	85,00	1,56
	Weiblich	32	86,44	90,00	2,27

Tabelle 34 zeigt die aktuell empfundene Gesundheit nach Geschlecht an. Die männlichen Teilnehmer (MW = 85,36) empfanden ihre eigene Gesundheit anders als die weiblichen Teilnehmer (MW = 86,44).

5.7.2 Fragebogenauswertung: Kennen von Emotionen

Folgend werden die Ergebnisse des im Rahmen dieser Arbeit erstellten Fragebogens veranschaulicht. Zuerst wird nach Bekanntsein der Emotionen: Angst (5.7.2.1), Niedergeschlagenheit (5.7.2.2), Traurigkeit (5.7.2.3), Depression (5.7.2.4), Zufriedenheit (5.7.2.5) befragt. Hierzu konnte man mit „häufig (1)“, „zeitweise (2)“, „selten (3)“ und „nie (4)“ antworten. Je näher die Ergebnisse, welche in Mittelwert, Median und Standardabweichung angegeben sind, der Zahl eins kamen, desto häufiger war die Empfindung.

Tabelle 35: Übersicht emotionaler Zustände alle Teilnehmer (1: häufig; 4: nie)

Kennst du folgende Emotionen	Deskriptive Statistiken				
	N gültige Werte	Minimum	Maximum	Mittelwert	SD
Angst	85	1	4	2,98	0,75
Niedergeschlagenheit	84	1	4	2,95	0,79
Traurigkeit	85	1	4	2,98	0,72
Depression	83	2	4	3,81	0,52
Zufriedenheit	85	1	4	1,38	0,65

Tabelle 35 zeigt Antworten über die Frage von emotionalen Zustände auf. Angst und Traurigkeit konnte mit einem Mittelwert von 2,98 in gleicher Häufigkeit empfunden werden. Etwas seltener wurde beim Betrachten aller Teilnehmer Niedergeschlagenheit (MW = 2,95) und fast nie Depression (MW = 3,81) empfunden. Mit einem Mittelwert von 1,38 kannten die meisten Teilnehmer das Empfinden der Zufriedenheit.

5.7.2.1 Angst Nach Sportart

Tabelle 36: Übersicht Angst nach Sportarten (1 : häufig; 4: nie)

Angst	Sportart	N	1. Quartil	Median	3. Quartil
	Schützensport	10	3,00	3,50	4,00
	Handball	52	3,00	3,00	3,75
	Karate	14	2,00	3,00	3,00
	Leichtathletik	8	2,00	3,00	3,00

Tabelle 36 legt dar, dass die Angst von den Teilnehmern der Schützensportler im Median mit 3,50 angegeben [1. Quartil; 3. Quartil: 3,00; 4,00] wurde. Ebenso werden die Daten von den Handballern [1. Quartil; Median; 2. Quartil: 3,00; 3,00; 3,75], Karatekämpfern [2,00; 3,00; 3,00] und Leichtathleten [2,00; 3,00; 3,00] dargestellt. Der P-Wert (0,02) war kleiner als das Signifikanzniveau ($\alpha = 0,05$).

Nach Schulart

Tabelle 37: Übersicht Angst nach Schulart (1 : häufig; 4: nie)

Angst	Schulart	N	1. Quartil	Median	3. Quartil
	Gemeinschaftsschule	8	2,00	3,00	3,00
	Realschule	3	3,00	3,00	.
	Gymnasium	48	3,00	3,00	4,00
	Sonstige Schule	11	2,00	3,00	3,00
	Grundschule	14	2,00	3,00	3,00

a. Es gibt keine gültigen Fälle für Angst, wenn Schulart = 1,000. Für dieses Niveau können keine Statistiken berechnet werden.

Tabelle 37 zeigt Angst nach Schularten sortiert. Das Gefühl der Angst wurde im Median bei allen Schularten mit 3,00 angegeben. Die unterschiedlichen Angaben im 1. und 3.Quartil sind wie folgt zu gruppieren: Gemeinschaftsschüler, Grundschüler und Schüler sonstiger Schulen [2,00; 3,00]; Gymnasiasten [3,00; 4,00] und Realschüler [3,00]. Der P-Wert (0,22) war größer als das Signifikanzniveau ($\alpha = 0,05$).

Nach Jahrgangsstufe

Tabelle 38: Übersicht Angst nach Jahrgangsstufe (1 : häufig; 4: nie)

Angst	Jahrgangsstufe	N	1. Quartil	Median	3. Quartil
	2	2	2,00	2,50	.
	3	9	2,00	3,00	3,50
	4	5	2,50	3,00	3,00
	5	8	2,25	3,00	3,00
	6	9	3,00	3,00	3,50
	7	9	2,50	3,00	3,50
	8	15	3,00	3,00	4,00
	9	14	2,75	3,00	4,00
	11	8	1,25	3,00	3,00
	12	3	3,00	3,00	3,00

Tabelle 38 zeigt Angst nach Jahrgangsstufen sortiert. Der Median liegt mit Ausnahme der 2. Klasse (2,50) bei 3,00. Der P-Wert (0,20) war größer als das Signifikanzniveau ($\alpha = 0,05$).

Nach Geschlecht

Tabelle 39: Übersicht Angst nach Geschlecht (1 : häufig; 4: nie)

Angst	Geschlecht	N	1. Quartil	Median	3. Quartil
	männlich	48	3,00	3,00	4,00
	weiblich	37	2,00	3,00	3,00

Tabelle 39 zeigt Angst nach Geschlecht sortiert. Die Daten männlicher [1. Quartil: 3,00; Median: 3,00; 3. Quartil:4,00] und weiblicher [1. Quartil: 2,00; Median: 3,00; 3. Quartil:3,00] Teilnehmer werden gezeigt.

5.7.2.2 Niedergeschlagenheit

Nach Sportart

Tabelle 40: Niedergeschlagenheit nach Sportarten (1 : häufig; 4: nie)

Niedergeschlagenheit	Sportart	N	1. Quartil	Median	3. Quartil
	Schützensport	10	2,75	3,00	3,25
	Handball	52	2,00	3,00	3,00
	Karate	14	3,00	3,00	4,00
	Leichtathletik	8	2,25	3,00	3,75

Tabelle 40 legt die Daten der Karateguppe [1. Quartil: 3,00; Median: 3,00; 3. Quartil:4,00], der Schützensportgruppe [1. Quartil: 2,75; Median: 3,00; 3. Quartil: 3,25], der Handballgruppe [1. Quartil: 2,00; Median: 3,00; 3. Quartil: 3,00], und Leichtathletikgruppe [1. Quartil: 2,25; Median:

3,00; 3. Quartil: 3,75] dar. Der P-Wert (0,37) war größer als das Signifikanzniveau ($\alpha = 0,05$).

Nach Schulart

Tabelle 41: Übersicht Niedergeschlagenheit nach Schulart (1 : häufig; 4: nie)

Niedergeschlagenheit	Schulart	N	1. Quartil	Median	3. Quartil
	Gemeinschaftsschule	8	2,25	3,00	3,00
	Realschule	3	2,00	3,00	.
	Gymnasium	48	2,00	3,00	3,00
	Sonstige Schule	11	2,00	3,00	4,00
	Grundschule	14	3,00	3,00	4,00

Tabelle 41 zeigt Niedergeschlagenheit nach Schulart sortiert. Alle Mediane lagen bei 3,00. Der P-Wert (0,17) war größer als das Signifikanzniveau ($\alpha = 0,05$).

Nach Jahrgangsstufe

Tabelle 42: Übersicht Niedergeschlagenheit nach Jahrgangsstufe (1 : häufig; 4: nie)

Niedergeschlagenheit	Jahrgangsstufe	N	1. Quartil	Median	3. Quartil
	2	2	2,00	2,50	.
	3	9	3,00	3,00	4,00
	4	5	3,00	3,00	4,00
	5	8	3,00	3,00	3,00
	6	9	3,00	3,00	4,00
	7	9	2,50	3,00	3,50
	8	15	2,00	3,00	3,00
	9	14	2,00	3,00	4,00
	11	8	2,00	3,00	3,00
	12	3	2,00	2,00	2,00

Tabelle 42 zeigt Niedergeschlagenheit nach Jahrgangsstufen sortiert. Die Angaben der Daten erfolgt je nach Jahrgangsstufe mit 1.Quartil, Median und 3.Quartil: 2. Jahrgang [2,00; 2,50], 3. Jahrgangsstufe [3,00; 3,00; 4,00], 4. Jahrgangsstufe [3,00; 3,00; 4,00], 5. Jahrgangsstufe [3,00; 3,00; 3,00], 6. Jahrgangsstufe [3,00; 3,00; 4,00], 7. Jahrgangsstufe [2,50; 3,00; 3,50], 8. Jahrgangsstufe [2,00; 3,00; 3,00], 9. Jahrgangsstufe [2,00; 3,00; 4,00] und 11. Jahrgangsstufe [2,00; 3,00; 3,00]. Der P-Wert (0,29) war größer als das Signifikanzniveau ($\alpha = 0,05$).

Nach Geschlecht

Tabelle 43: Übersicht Niedergeschlagenheit nach Geschlecht

Niedergeschlagenheit	Geschlecht	N	1. Quartil	Median	3. Quartil
	männlich	48	3,00	3,00	4,00
	weiblich	37	2,00	3,00	3,50

Tabelle 43 zeigt Niedergeschlagenheit nach Geschlecht sortiert. Die Niedergeschlagenheit wurde von den männlichen Teilnehmern [1. Quartil: 3,00; Median 3,00; 3. Quartil: 4,00] und den weiblichen Teilnehmern [1. Quartil: 2,00; Median 3,00; 3. Quartil: 3,50] angegeben. Der P-Wert (0,90) war größer als das Signifikanzniveau ($\alpha = 0,05$).

5.7.2.3 Traurigkeit

Nach Sportart

Tabelle 44: Übersicht Traurigkeit nach Sportart (1 : häufig; 4: nie)

Traurigkeit	Sportart	N	1. Quartil	Median	3. Quartil
	Schützensport	10	3,00	3,00	3,25
	Handball	52	2,00	3,00	3,75
	Karate	14	3,00	3,00	3,00
	Leichtathletik	8	2,25	3,00	3,00

Tabelle 44 stellt die Daten der Karategruppe [1./3. Quartil: 3,00; Median: 3,00] dar. Die Schützensport -Gruppe lag im Median mit 3,00 angegeben [1. Quartil: 3,00; 3. Quartil: 3,25]. Teilnehmer der Handballgruppe [1. Quartil: 2,00; Median: 3,00; 3. Quartil: 3,75] und der Leichtathletikgruppe [1. Quartil: 2,25; Median: 3,00; 3. Quartil: 3,00] konnten abgebildet werden. Der P-Wert (0,32) war größer als das Signifikanzniveau ($\alpha = 0,05$).

Nach Schulart

Tabelle 45: Übersicht Traurigkeit nach Schulart (1 : häufig; 4: nie)

Traurigkeit	Schulart	N	1. Quartil	Median	3. Quartil
	Gemeinschaftsschule	8	2,00	2,50	3,00
	Realschule	3	3,00	4,00	.
	Gymnasium	48	3,00	3,00	3,00
	Sonstige Schule	11	2,00	3,00	4,00
	Grundschule	14	3,00	3,00	3,00

Tabelle 45 zeigt Traurigkeit nach Schulart sortiert. Das Empfinden von Traurigkeit wurde mit Ausnahme der Schüler der Gemeinschaftsschule (Median: 2,50) und der Realschule (Median: 4,00) an allen anderen Schulen im Median mit 3,00 angegeben. Der P-Wert (0,08) war größer als das Signifikanzniveau ($\alpha = 0,05$).

Nach Jahrgangsstufe

Tabelle 46: Übersicht Traurigkeit nach Jahrgangsstufe (1 : häufig; 4: nie)

Traurigkeit	Jahrgangsstufe	N	1. Quartil	Median	3. Quartil
	2	2	2,00	2,50	.
	3	9	2,50	3,00	3,50
	4	5	2,50	3,00	3,50
	5	8	3,00	3,00	4,00
	6	9	2,50	3,00	4,00
	7	9	2,00	3,00	3,00
	8	15	3,00	3,00	4,00
	9	14	3,00	3,00	4,00
	11	8	2,25	3,00	3,00
	12	3	2,00	3,00	.

Tabelle 46 zeigt Traurigkeit nach Jahrgangsstufen sortiert. Die Angaben der Daten erfolgt je nach Jahrgangsstufe mit 1.Quartil, Median und 3.Quartil: 2. Jahrgangsstufe [2,00; 2,50], 3. Jahrgangsstufe [2,50; 3,00; 3,50], 4. Jahrgangsstufe [2,50; 3,00; 3,50], 5. Jahrgangsstufe [3,00; 3,00; 4,00], 6. Jahrgangsstufe [2,50; 3,00; 4,00], 7. Jahrgangsstufe [2,00; 3,00; 3,00], 8. Jahrgangsstufe [3,00; 3,00; 4,00], 9. Jahrgangsstufe [3,00; 3,00; 4,00], 11. Jahrgangsstufe [2,25; 3,00] und 12. Jahrgangsstufe [2,00; 3,00]. Der P-Wert (0,67) war größer als das Signifikanzniveau ($\alpha = 0,05$).

Nach Geschlecht

Tabelle 47: Übersicht Traurigkeit nach Geschlecht (1 : häufig; 4: nie)

Traurigkeit	Geschlecht	N	1. Quartil	Median	3. Quartil
	männlich	48	3,00	3,00	3,00
	weiblich	37	2,00	3,00	3,50

Tabelle 47 zeigt Traurigkeit nach Geschlecht sortiert. Die Traurigkeit wurde von beiden Geschlechtern im Median mit 3,00 angegeben. Die männlichen Teilnehmer [1. Quartil; 3. Quartil: 3,00; 3,00] und die weiblichen Teilnehmer [1. Quartil; 3. Quartil: 2,00; 3,50] hatten unterschiedliche Werte. Der P-Wert (0,94) war größer als das Signifikanzniveau ($\alpha = 0,05$).

5.7.2.4 Depression

Nach Sportart

Zur Frage der „Depression“ innerhalb der Kategorie Sportart lagen sowohl der 1. Quartil, Median und 3. Quartil ohne Abweichungen bei 4,00 (siehe Anhang 27, S. 127).

Nach Schulart

Zur Frage der „Depression“ innerhalb der Kategorie Sportart lagen sowohl der 1. Quartil, Median und 3. Quartil ohne Abweichungen bei 4,00 (siehe Anhang 28, S. 127).

Nach Jahrgangsstufe

Tabelle 48: Übersicht Depression nach Jahrgangsstufe (1 : häufig; 4: nie)

Depression	Jahrgangsstufe	N	1. Quartil	Median	3. Quartil
	2	2	3,00	3,50	.
	3	9	4,00	4,00	4,00
	4	5	4,00	4,00	4,00
	5	8	4,00	4,00	4,00
	6	9	4,00	4,00	4,00
	7	9	4,00	4,00	4,00
	8	15	4,00	4,00	4,00
	9	14	4,00	4,00	4,00
	11	8	3,00	3,50	4,00
	12	3	2,00	4,00	.

Tabelle 48 zeigt Depression nach Jahrgangsstufe sortiert. Mit Ausnahme der 2. [1. Quartil: 3,00; Median: 3,50] und 11. Jahrgangsstufe [1. Quartil: 3,00; Median: 3,50] hatten die Angaben alle anderen Jahrgangsstufen gleiche Lagemaße [1. Quartil: 4,00; Median: 4,00; 3. Quartil: 4,00].

Nach Geschlecht

Zur Frage der „Depression“ innerhalb der Kategorie Geschlecht lagen sowohl der 1. Quartil, Median und 3. Quartil ohne Abweichungen bei 4,00 (siehe Anhang 29, S. 127).

5.7.2.5 Zufriedenheit

Nach Sportart

Tabelle 49: Übersicht Zufriedenheit nach Sportart (1 : häufig; 4: nie)

Zufriedenheit	Sportart	N	1. Quartil	Median	3. Quartil
	Schützensport	10	1,00	1,00	2,00
	Handball	52	1,00	1,00	2,00
	Karate	14	1,00	1,00	1,25
	Leichtathletik	8	1,00	1,00	1,00

Tabelle 49 zeigt zur Frage der „Zufriedenheit“ innerhalb der Kategorie Sportart an, dass bei Teilnehmer aller Sportarten mehrheitlich häufig zufrieden waren. Der P-Wert (0,33) war größer als das Signifikanzniveau ($\alpha = 0,05$).

Nach Schulart

Tabelle 50: Übersicht Zufriedenheit nach Schulart (1 : häufig; 4: nie)

Zufriedenheit	Schulart	N	1. Quartil	Median	3. Quartil
	Gemeinschaftsschule	8	1,00	1,00	1,75
	Realschule	3	1,00	1,00	.
	Gymnasium	48	1,00	1,00	2,00
	Sonstige Schule	11	1,00	1,00	1,00
	Grundschule	14	1,00	1,00	1,00

Tabelle 50 zeigt Zufriedenheit nach Schulart sortiert. Die Zufriedenheit wurde mit Ausnahme der Schüler der der Gemeinschaftsschule [3. Quartil: 1,75] und Gymnasium [3. Quartil: 2,00] von allen anderen Schulen sowohl im 1. Quartil, Median als auch im 3. Quartil mit „häufig“ angegeben. Der P-Wert (0,12) war größer als das Signifikanzniveau ($\alpha = 0,05$).

Nach Jahrgangsstufe

Tabelle 51: Übersicht Zufriedenheit nach Jahrgangsstufe

Zufriedenheit	Jahrgangsstufe	N	1. Quartil	Median	3. Quartil
	2	2	1,00	1,00	1,00
	3	9	1,00	1,00	1,00
	4	5	1,00	1,00	1,50
	5	8	1,00	1,00	1,75
	6	9	1,00	2,00	2,50
	7	9	1,00	1,00	1,50
	8	15	1,00	1,00	2,00
	9	14	1,00	1,00	1,25
	11	8	1,00	2,00	2,00
	12	3	1,00	1,00	.

Tabelle 51 zeigt Zufriedenheit nach Jahrgangsstufe sortiert. Die Angaben der Schüler in den Jahrgangsstufen 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9 und 12 lag mehrheitlich bei „häufig“, die Angaben in den Jahrgangsstufen 6 und 11 lag im Median bei 2,00. Der P-Wert (0,19) war größer als das Signifikanzniveau ($\alpha = 0,05$).

Nach Geschlecht

Tabelle 52: Übersicht Zufriedenheit nach Geschlecht

Zufriedenheit	Geschlecht	N	1. Quartil	Median	3. Quartil
	männlich	48	1,00	1,00	2,00
	weiblich	37	1,00	1,00	2,00

Tabelle 52 zeigt Zufriedenheit nach Geschlecht sortiert. Die Zufriedenheit beider Geschlechter wurde mit Ausnahme des 3. Quartils (2,00) mit „häufig“ bewertet. Der P-Wert (0,58) war größer als das Signifikanzniveau ($\alpha = 0,05$).

5.7.3 Auswertung zum Fragebogen zur Alltagszufriedenheit

Folgend werden persönliche Empfindungen wie *Alltagszufriedenheit* (5.7.3.1), *bist du glücklich* (5.7.3.2), *fühlst du dich wertgeschätzt* (5.7.3.3), *fühlst du dich wohl* (5.7.3.4), *fühlst du dich fit und gesund* (5.7.3.5) dargestellt. Hierzu konnte man mit „häufig (1)“, „zeitweise (2)“, „selten (3)“ und „nie (4)“ antworten. Je näher die Ergebnisse, welche in 1. Quartil, Median und 3. Quartil angegeben sind, der Zahl eins kamen, desto besser war die Empfindung.

5.7.3.1 Bist du mit deinem Alltag zufrieden

Nach Sportart

Tabelle 53: Übersicht Alltagszufriedenheit nach Sportart (1 : häufig; 4: nie)

Alltagszufriedenheit	Sportart	N	1. Quartil	Median	3. Quartil
	Schützensport	10	1,00	1,00	1,25
	Handball	52	1,00	1,00	2,00
	Karate	14	1,00	1,00	1,00
	Leichtathletik	8	1,00	1,00	1,00

Tabelle 53 zeigt die Alltagszufriedenheit nach Sportart sortiert. Diese liegt bei allen Sportarten mehrheitlich bei „häufig“. Der P-Wert (0,24) war größer als das Signifikanzniveau ($\alpha = 0,05$).

Nach Schulart

Tabelle 54: Übersicht Alltagszufriedenheit nach Schulart (1 : häufig; 4: nie)

Alltagszufriedenheit	Schulart	N	1. Quartil	Median	3. Quartil
	Gemeinschaftsschule	8	1,00	2,00	2,00
	Realschule	3	1,00	1,00	.
	Gymnasium	48	1,00	1,00	2,00
	Sonstige Schule	11	1,00	1,00	2,00
	Grundschule	14	1,00	1,00	1,00

Tabelle 54 zeigt die Alltagszufriedenheit nach Schulart sortiert. Im Median liegt nur die Gemeinschaftsschule (2,00) nicht bei 1,00. Der P-Wert (0,14) war größer als das Signifikanzniveau ($\alpha = 0,05$).

Nach Jahrgangsstufe

Tabelle 55: Übersicht Alltagszufriedenheit nach Jahrgangsstufe (1 : häufig; 4: nie)

Alltagszufriedenheit	Jahrgangsstufe	N	1. Quartil	Median	3. Quartil
	2	2	1,00	1,00	1,00
	3	9	1,00	1,00	1,00
	4	5	1,00	1,00	1,00
	5	8	1,00	1,00	1,00
	6	9	1,00	1,00	1,50
	7	9	1,00	1,00	1,50
	8	15	1,00	2,00	2,00
	9	14	1,00	1,00	1,25
	11	8	1,00	2,00	2,00
	12	3	1,00	2,00	.

Tabelle 55 zeigt die Alltagszufriedenheit nach Jahrgangsstufe sortiert. Die Zufriedenheit wurde von allen Jahrgangsstufen mit Ausnahme der Schüler der Jahrgangsstufe 8, 11 und 12 (2,00) mehrheitlich mit „häufig“ angegeben. Der P-Wert (0,07) war größer als das Signifikanzniveau ($\alpha = 0,05$).

Nach Geschlecht

Tabelle 56: Übersicht Alltagszufriedenheit nach Geschlecht (1 : häufig; 4: nie)

Alltagszufriedenheit	Geschlecht	N	1. Quartil	Median	3. Quartil
	männlich	48	1,00	1,00	2,00
	weiblich	37	1,00	1,00	2,00

Tabelle 56 zeigt die Alltagszufriedenheit nach Geschlecht sortiert. Die Zufriedenheit wurde mehrheitlich bei beiden Geschlechtern mit „häufig“ bewertet. Der P-Wert (0,77) war größer als das Signifikanzniveau ($\alpha = 0,05$).

5.7.3.2 Bist du glücklich

Nach Sportart

Tabelle 57: Übersicht Glück nach Sportart (1 : häufig; 4: nie)

Glück	Sportart	N	1. Quartil	Median	3. Quartil
	Schützensport	10	1,00	1,00	1,25
	Handball	52	1,00	1,00	2,00
	Karate	14	1,00	1,00	1,00
	Leichtathletik	8	1,00	1,00	1,00

Tabelle 57 zeigt Glück nach Sportart sortiert. Glück wurde von den allen Sportartgruppen mehrheitlich mit „häufig“ angegeben. Der P-Wert (0,16) war größer als das Signifikanzniveau ($\alpha = 0,05$).

Nach Schulart

Tabelle 58: Übersicht Glück nach Schulart

Glück	Schulart	N	1. Quartil	Median	3. Quartil
	Gemeinschaftsschule	8	1,00	1,00	2,00
	Realschule	3	1,00	1,00	1,00
	Gymnasium	48	1,00	1,00	1,00
	Sonstige Schule	11	1,00	1,00	2,00
	Grundschule	14	1,00	1,00	1,00

Tabelle 58 zeigt Glück nach Schulart sortiert. Glück wurde von allen Schularten mehrheitlich mit „häufig“ angegeben. Der P-Wert (0,54) war größer als das Signifikanzniveau ($\alpha = 0,05$).

Nach Jahrgangsstufe

Tabelle 59: Übersicht Glück nach Jahrgangsstufe (1 : häufig; 4: nie)

Glück	Jahrgangsstufe	N	1. Quartil	Median	3. Quartil
	2	2	1,00	1,00	1,00
	3	9	1,00	1,00	1,50
	4	5	1,00	1,00	1,50
	5	8	1,00	1,00	1,00
	6	9	1,00	1,00	2,00
	7	9	1,00	1,00	1,50
	8	15	1,00	1,00	1,00
	9	14	1,00	1,00	2,00
	11	8	1,00	1,00	2,00
	12	3	1,00	1,00	.

Tabelle 59 zeigt Glück nach Jahrgangsstufe sortiert. Glück wurde mehrheitlich von allen Gruppen mit „häufig“ angegeben. Der P-Wert (0,80) war größer als das Signifikanzniveau ($\alpha = 0,05$).

Nach Geschlecht

Tabelle 60: Übersicht Glück nach Geschlecht (1 : häufig; 4: nie)

Glück	Geschlecht	N	1. Quartil	Median	3. Quartil
	männlich	48	1,00	1,00	2,00
	weiblich	37	1,00	1,00	1,00

Tabelle 60 zeigt Glück nach Geschlecht sortiert. Glück wurde mehrheitlich von beiden Geschlechtern mit 1,00 angegeben. Der P-Wert (0,35) war größer als das Signifikanzniveau ($\alpha = 0,05$).

5.7.3.3 Fühlst du dich wertgeschätzt

Nach Sportart

Tabelle 61: Übersicht Wertschätzung nach Sportart (1 : häufig; 4: nie)

Wertschätzung	Sportart	N	1. Quartil	Median	3. Quartil
	Schützensport	10	1,00	1,00	1,25
	Handball	52	1,00	1,00	2,00
	Karate	14	1,00	1,00	1,00
	Leichtathletik	8	1,00	1,00	1,00

Tabelle 61 zeigt Wertschätzung nach Sportart sortiert, die von Teilnehmern aller Sportarten mehrheitlich mit „häufig“ angegeben wurde. Der P-Wert (0,19) war größer als das Signifikanzniveau ($\alpha = 0,05$).

Nach Schulart

Tabelle 62: Übersicht Wertschätzung nach Schulart (1 : häufig; 4: nie)

Wertschätzung	Schulart	N	1. Quartil	Median	3. Quartil
	Gemeinschaftsschule	8	1,00	1,50	2,00
	Realschule	3	1,00	2,00	.
	Gymnasium	48	1,00	1,00	2,00
	Sonstige Schule	11	1,00	1,00	2,00
	Grundschule	14	1,00	1,00	1,00

Tabelle 62 zeigt Wertschätzung nach Schulart sortiert. Im Median lagen die Angaben der Schüler der Gemeinschaftsschule bei 1,50) und jene der Realschule bei 2,00 („zeitweise“). Schüler der Gymnasien, sonstigen Schule und Grundschulen gaben mehrheitlich „häufig“ an. Der P-Wert (0,08) war größer als das Signifikanzniveau ($\alpha = 0,05$).

Nach Jahrgangsstufe

Tabelle 63: Übersicht Wertschätzung nach Jahrgangsstufe (1 : häufig; 4: nie)

Wertschätzung	Jahrgangsstufe	N	1. Quartil	Median	3. Quartil
	2	2	1,00	1,00	1,00
	3	9	1,00	1,00	1,00
	4	5	1,00	1,00	1,00
	5	8	1,00	1,00	1,75
	6	9	1,00	1,00	1,50
	7	9	1,00	1,00	1,50
	8	15	1,00	1,00	2,00
	9	14	1,00	1,00	2,00
	11	8	1,00	2,00	2,00
	12	3	1,00	1,00	.

Tabelle 63 zeigt Wertschätzung nach Jahrgangsstufe sortiert. Im Median nannten Teilnehmer alle Jahrgangsstufen einen Wert von „häufig“. Lediglich bei Schülern der 11. Klasse lag der Median bei „zeitweise“. Der P-Wert (0,27) war größer als das Signifikanzniveau ($\alpha = 0,05$).

Nach Geschlecht

Tabelle 64: Übersicht Wertschätzung nach Geschlecht (1 : häufig; 4: nie)

Wertschätzung	Geschlecht	N	1. Quartil	Median	3. Quartil
	männlich	48	1,00	1,00	2,00
	weiblich	37	1,00	1,00	2,00

Tabelle 64 zeigt Wertschätzung nach Geschlecht sortiert. Die Wertschätzung wurde von männlichen Teilnehmer und weiblichen Teilnehmer mehrheitlich mit „häufig“ eingeschätzt. Der P-Wert (0,92) war größer als das Signifikanzniveau ($\alpha = 0,05$).

5.7.3.4 Fühlst du dich wohl

Nach Sportart

Zur Frage „Fühlst du ich wohl“ innerhalb der Kategorie Sportart lagen die Angaben mit Ausnahme der Schützensportler (1. Quartil 1,00; 3. Quartil 1,25) im 1. Quartil, Median und 3. Quartil ohne Abweichungen bei „häufig“ (siehe Anhang 30, S.128).

Nach Schulart

Zur Frage „*Fühlst du ich wohl*“ innerhalb der Kategorie Schulart lagen die Angaben mit Ausnahme der Schüler der Gemeinschaftsschule (1. Quartil 1,00; 3. Quartil 2,00) im 1. Quartil, Median und 3. Quartil ohne Abweichungen bei „häufig“ (siehe Anhang 31, S.128).

Nach Jahrgangsstufe

Tabelle 65: Übersicht sich wohlfühlen nach Jahrgangsstufe (1 : häufig; 4: nie)

Wohlfühlen	Jahrgangsstufe	N	1. Quartil	Median	3. Quartil
	2	2	1,00	1,00	1,00
	3	9	1,00	1,00	1,00
	4	5	1,00	1,00	1,00
	5	8	1,00	1,00	1,00
	6	9	1,00	1,00	2,00
	7	9	1,00	1,00	1,50
	8	15	1,00	1,00	2,00
	9	14	1,00	1,00	1,00
	11	8	1,00	1,00	1,75
	12	3	1,00	1,00	1,00

Tabelle 65 zeigt „*sich wohlfühlen*“ nach Jahrgangsstufe sortiert. Die Schüler aller Jahrgangsstufen lagen mehrheitlich bei „häufig“. Der P-Wert (0,56) war größer als das Signifikanzniveau (alpha = 0,05).

Nach Geschlecht

Tabelle 66: Übersicht sich wohlfühlen nach Geschlecht

Wohlfühlen	Geschlecht	N	1. Quartil	Median	3. Quartil
	männlich	48	1,00	1,00	2,00
	weiblich	37	1,00	1,00	2,00

Tabelle 66 zeigt „*sich wohlfühlen*“ nach Geschlecht sortiert und lag mehrheitlich bei beiden Geschlechtern bei „häufig“. Der P-Wert (0,98) war größer als das Signifikanzniveau (alpha = 0,05).

5.7.3.5 Fühlst du dich fit und gesund

Nach Sportart

Zur Frage „*fühlst du dich fit und gesund*“ innerhalb der Kategorie Sportart lagen mit Ausnahme der Schützensportler (1. Quartil: 1,00; 3. Quartil: 2,00) die Angaben im 1. Quartil, Median und 3. Quartil ohne Abweichungen bei „häufig“ (siehe Anhang 32, S. 129).

Nach Schularart

Tabelle 67: Übersicht sich fit und gesund fühlen nach Schularart

Fit und Gesund	Schularart	N	1. Quartil	Median	3. Quartil
	Gemeinschaftsschule	8	1,00	1,00	1,75
	Realschule	3	1,00	1,00	1,00
	Gymnasium	48	1,00	1,00	1,00
	Sonstige Schule	11	1,00	1,00	2,00
	Grundschule	14	1,00	1,00	1,00

Tabelle 67 zeigt sich fit und gesund fühlen nach Schularart sortiert und lagen mehrheitlich bei „häufig“. Der P-Wert (0,19) war größer als das Signifikanzniveau ($\alpha = 0,05$).

Nach Jahrgangsstufe

Tabelle 68: Übersicht sich fit und gesund fühlen nach Jahrgangsstufe (1 : häufig; 4: nie)

Fit und Gesund	Jahrgangsstufe	N	1. Quartil	Median	3. Quartil
	2	2	1,00	1,00	1,00
	3	9	1,00	1,00	1,00
	4	5	1,00	1,00	1,50
	5	8	1,00	1,00	1,00
	6	9	1,00	1,00	1,50
	7	9	1,00	1,00	1,00
	8	15	1,00	1,00	2,00
	9	14	1,00	1,00	1,00
	11	8	1,00	1,00	2,00
	12	3	1,00	1,00	1,00

Tabelle 68 zeigt sich fit und gesund fühlen nach Jahrgangsstufe sortiert. Die Schüler aller Jahrgangsstufen gaben mehrheitlich „häufig“ an. Der P-Wert (0,26) war größer als das Signifikanzniveau ($\alpha = 0,05$).

Nach Geschlecht

Zur Frage „fühlst du dich fit und gesund“ innerhalb der Kategorie Geschlecht lagen die Angaben sowohl 1. Quartil, Median und 3. Quartil ohne Abweichungen bei „häufig“ (siehe Anhang 33, S. 129).

6. Diskussion

In diesem Kapitel werden die angewandte Methode und die Datenerhebungsinstrumente, das Teilnehmerklientel sowie die Ergebnisse diskutiert.

6.1 Methodendiskussion

In der Methodendiskussion werden die Aspekte der Datenerhebung sowie das therapeutische Setting besprochen.

6.1.1 Studienkonzept

Um die grundlegende Idee, ein Sonographiegerät an Knorpeldicken von gesunden, sportlichen Kindern und Jugendlichen innerhalb verschiedener Sportarten validieren zu können, mussten im Vorfeld einige Maßnahmen unternommen werden. Zum einen musste ein positives Ethikvotum und die Grundlage für eine Berechtigung der Sonographiemessung anhand eines Fortbildungskurses eingeholt werden. Nach positivem Abschluss dieser beiden Maßnahmen musste ein tragbares Sonographiegerät erworben werden.

Die Studie basiert auf einer Messmethodik, welche bisher am medialen Femurkondylus zu Vergleichszwecken mit einem MRT zwar schon von Schmitz (2017) zum Einsatz kam, jedoch nie validiert wurde. Da trotz intensiver Recherche keine Studien gefunden wurden, welche einen Nachweis über die Validität dieses Messinstruments liefern konnten, wurde die Reliabilitätsprüfung der Sonographiemessung als erster Schritt bestimmt. Sie diene als Grundlage dieser Arbeit, wodurch nach positiver Validierung erst weitere Ergebnisse exakt und sicher dargestellt und interpretiert werden konnten. Um diese Validierung durchführen zu können, mussten drei aufeinanderfolgende Messungen am medialen Femurkondyl in Rückenlage mit maximal angewinkelttem Bein erfolgen. Vom Teilnehmer wurden folgend 30 Kniebeugen mit eigenem Körpergewicht durchgeführt, orientierend an den Studien welche von Eckstein (1999) und Liess (2002) angewandt wurden. Anders als Eckstein (100 Kniebeugen) und Liess (60 Kniebeugen) bestand das Teilnehmerklientel nicht aus Erwachsenen, sondern aus Kindern, weshalb die Anzahl der Kniebeugen auf 30 reduziert wurde. Die Methodik der durch Kniebeugen entstehenden Knorpelkompression diene zur späteren Auswertung und Darstellung von eventuellen Knorpeldickendifferenzen, welche durch die Belastung eintreten könnten. Weitere drei Knorpeldickenmessungen folgten, um diese mit sich selbst zu korrelieren und um mit den Messungen vor den Kniebeugen verglichen werden zu können.

Da alle Teilnehmer Mitglieder in Sportvereinen waren, konnten weiterhin einzelne Sportarten und deren möglichen Einfluss auf die Knorpeldicken evaluiert werden. Kritisch kann betrachtet werden, dass es keine Erhebung der Aktivität am Tag der Messung gab (vgl. Spannow *et al.* 2010). Diese kann zu einer Veränderung der realen Knorpeldicke führen.

6.1.2 Datenerhebungsinstrument Sonographiegerät

Das Sonographiegerät Clarius L7 als kabelloses Messinstrument, stellte mit einer maximalen Frequenz von 13 MHz und einer Scantiefe von bis zu elf Zentimetern sehr gute technische Daten dar. Es ist aufgrund der geringen Größendimensionen mit ca. 17 cm Länge, 10 cm Breite und 4 cm Höhe ideal als transportables Gerät geeignet. Um dieses Sonographiegerät einsetzen zu können, bedarf es allerdings weiterer Hardware und Vorbereitungen. Zum einen bedarf es einen Monitor. Hierfür kann jedes Bluetooth fähige mobile Smartphone oder Tablet verwendet werden. In dieser Studie wurde ein Apple iPad verwendet. Dies hatte den Vorteil, dass die empfangenen Bilder auf einem großformatigen Monitor (10,2 Zoll) angezeigt wurden und so detaillierter betrachtet und bestimmt werden konnten. Weiterhin konnten die erzeugten Bilder direkt auf dem iPad gespeichert werden. Dies gab zusätzliche Sicherheit vor Datenverlust. Sobald das iPad mit dem Internet verbunden war, konnte man über die Clarius App alle Daten in der datengeschützten Cloudspeichermöglichkeit von Clarius ablegen. Auch die Reinigung und die Desinfektion nach jedem einzelnen Teilnehmer sind durch einfache Gerätegeometrie und leicht zu reinigendem Oberflächenmaterial einfach und schnell durchzuführen. Neben diesen Vorteilen konnte in der Gerätekonfiguration ein Nachteil beobachtet werden: Jedes neue Softwareupdate von Apple für das iPad musste unmittelbar installiert werden. Wird dieses Update nicht direkt installiert, kann ein dazu parallelaufendes Softwareupdate von Clarius nicht auf das Sonographiegerät aufgespielt werden, wodurch der Clarius L7 keinen Kontakt mit der App auf dem iPad herstellen kann. Folglich wäre eine Datenerhebung unmöglich gewesen. So musste vor jedem Datenerhebungstermin die Aktualität überprüft werden.

6.1.3 Teilnehmer

Die Rekrutierung der 160 Sportler erfolgte an entsprechenden Leistungszentren und Sportvereinen. Auch hier wurden alle Daten in pseudonymisierter Form mittels Eingangsnummer erhoben. Es sollten Kinder und Jugendliche, Mädchen wie Jungen in gleicher Anzahl untersucht werden, die einen definierten Leistungs- bzw. Vereinssport intensiv betrieben. Mit einem Anteil von 106 Teilnehmer waren die männlichen Teilnehmer den weiblichen mit 51 zahlenmäßig überlegen. Ausgewählt aus Aspekten des Interesses auf die Gelenksgesundheit und der Machbarkeit der Rekrutierung wurden Teilnehmer aus den Bereichen Fußball, Handball, Karate, Leichtathletik und dem Schützensport rekrutiert. Gerade hierbei wurde die Schwierigkeit der Rekrutierung auffällig. Nachdem die ersten Rekrutierungsversuche mittels E-Mail und telefonsicher Kontaktaufnahme ohne Erfolg verliefen, musste diese persönlich erfolgen. Erst hierdurch kam es zu den ersten Messungen, welche im Olympiastützpunkt Homburg im Saarland an den Sportschützen durchgeführt

wurden. Über die Sportschützen konnten weitere Sportler aus anderen Sportarten akquiriert werden. Alle weiteren Teilnehmer, konnten über denselben Weg ausfindig gemacht werden.

Die bei dieser Studie mitwirkenden Teilnehmer können bei einigen Teilergebnissen dieser Arbeit einen entscheidenden Faktor ausmachen. Im Bereich der genetischen und hormonellen Individualität kann es zu großen Unterschieden der Knorpeldicke, Knorpelfestigkeit und Knorpelnachgiebigkeit kommen, deren Bestimmung jedoch nicht Bestandteil dieser hier vorliegenden Untersuchung war (Zhuo *et al.* 2012). So könnte es durch unbemerkte Infekte oder Stress zu Auswirkungen auf Kraftleistungen wie Kniebeugen kommen. Auch könnte es aus Motivationsgründen, Ängsten oder Stress zu einer fehlenden Spannkraft der Muskulatur kommen (Hennig & Podzielny, 1994). Genetische Einflüsse können durch ihren individuellen Charakter kaum von den Ergebnissen subtrahiert werden.

Um die hier angewandte Methodik möglichst frei von äußeren Einflüssen durchführen zu können, sah das Studiendesign gesunde, sportliche Kinder und die Definition von Ausschlusskriterien vor. Der Ausschluss von Knorpelopathologien oder Fehlstellungen im zu untersuchenden Gelenk war Grundvoraussetzung, um Daten von physiologischen Knorpelstruktur gewinnen zu können.

Ein sinnvoller Nebeneffekt der Studie war, Kindern und Jugendlichen aufzuzeigen, wie dick ein gesunder Knorpel nach Altersstrukturen, Sportart und Geschlechterverteilung ist.

Eine Studie, die an Kindern durchgeführt wurde, minimiert mögliche Fehlerquellen. So erhöht sich in Studien an Erwachsenen die Anzahl an unbekanntem Einflussfaktoren. Diese können beispielsweise unbekannte Verletzungen aus der Kindheit sein oder durch falsche Biomechanik der Füße wie Plattfüße, eine bereits veränderte Knorpelmorphologie oder Knorpelmodulierung entstehen. Die chronischen Überlastungssituationen in Gelenken, insbesondere im Kniegelenk, können besonders durch O- und X-Bein-Stellung akzentuiert werden (Nehrer und Neubauer 2021).

Um eine Übersicht der Knorpeldickenentwicklung zu erhalten, wurde eine große Spanne an Altersstufen mit einbezogen. So konnten Daten von sechsjährigen bis 17.-Jährige aufgenommen und verarbeitet werden. Dies sorgte für eine gute Verlaufsübersicht über den beschriebenen Alterszeitraum beider Geschlechter. Ebenso konnten durch die aktive Teilnahme im Sportverein Ergebnisse einzelnen Sportarten zugeordnet werden.

6.2 Ergebnisdiskussion

Um die Frage der Reliabilität der Sonographiemessung beantworten zu können, wurde diese jeweils dreimal nacheinander vor und nach 30 Kniebeugen durchgeführt.

6.2.1 Diskussion zur Reliabilitätsprüfung

Fragestellung 1:

Ist eine wiederholte Messung mittels Sonographie am Kniegelenkknorpel des medialen Femurkondylus reliabel?

Das oberste Ziel dieser Arbeit war die Reliabilitätsprüfung des Sonographiegeräts zur Knorpeldickenmessung am medialen Femurkondyl. Diese Sonographiemessung sollte bei positiver Validierung eine möglichst exakte Dicke bestimmen können und ohne schädigende Strahlung sowie großen zeitlichen und finanziellen Aufwand einsetzbar sein. Mit einer Reliabilität von $r = 0,99$ konnte in dieser Studie ein nach Cronbach's Alpha bestmöglicher Wert erreicht werden. Aufgrund der exakt vordefinierten Schallkopfanlage, konnte immer wieder annähernd dieselbe Stelle untersucht werden, welche anatomisch bei angewinkelterm Bein sehr leicht zu schallen war. Eine hohe Bildauflösung wirkte sich positiv auf die exakte Markierung der Knorpelgrenzen aus. Unbeantwortet in dieser Arbeit ist, ob bei gleichem Studiensetting mit zwei unterschiedlichen Untersuchern abweichende Ergebnisse erzielt worden wären.

Die Ergebnisse aus Kapitel 5.4 zeigen auf, dass das angewandte Sonographiegerät Clarius L7 eine nach Bös (1987) ausgezeichnete Reliabilität besitzt. Es konnte sowohl innerhalb der Messungen vor den Kniebeugen (Korrelationskoeffizient $r = 0,994$) als auch nach den Kniebeugen ($r = 0,992$) bestätigt werden, dass diese Art der Sonographiemessung mit dem hier verwendeten Sonographiegerät, innerhalb dieses Studiensettings sicher und reproduzierbar angewandt werden konnte. Betrachtet man die korrigierte Item-Skala-Korrelationen, welches ein Maß dafür ist, wie hoch jedes Item (hier: jede Einzelmessung) mit allen anwesenden anderen Items korreliert und ob das zu testende Item etwas ähnliches erfasst wie der Gesamttest (Lienert & Raatz, 1998) der Prä- und Postmessungen, so kann für beide Messzeitpunkte eine sehr gute Trennschärfe¹⁹ erzielt werden. Die Messungen M1 bis M3 und M4 bis M6 befinden sich bei ähnlichen Werten, was eine sehr gute Trennschärfe aufzeigt und die Ergebnisse der sehr guten Korrelation weiter stützt.

Ein Gütekriterium von Messungen umfasst die Konsistenz der Messung gegenüber Wiederholungen. Dieser Aspekt wird als Reliabilität oder Zuverlässigkeit bezeichnet (Blumberg *et al.* 2005). Es misst die Konsistenz, Präzision, Wiederholbarkeit und Vertrauenswürdigkeit der Sonographiemethodik (Chakrabarty, 2013). Die Reliabilität nimmt Werte zwischen 0 und 1 an, wobei bei perfekter Zuverlässigkeit der Wert 1 und bei kompletter Unzuverlässigkeit der Wert 0 angenommen wird. Je besser die Reliabilität ist, desto genauer sind die Ergebnisse. Laut Bös (2003) ist unter Reliabilität einer Messung der Grad der Genauigkeit von Messergebnissen in Abhängigkeit vom Messinstrument und vom gemessenen Merkmal zu

¹⁹ Die Trennschärfe eines Items gibt an, wie gut die Beantwortung des betreffenden Items das Gesamtergebnis vorhersagt. (Quelle: Döring & Bortz, 2016)

verstehen. Die Reliabilität wird durch Wiederholung desselben Verfahrens als Test-Retest-Reliabilität bezeichnet (Graziano & Raulin, 2006).

Die Etablierung einfacher klinisch zugänglicher Diagnostiken zur Knorpelgesundheit kann entscheidend zur Früherkennung und Verringerung des Risikos der Entwicklung einer Arthrose beitragen. Gerade die Knorpeldicke kann ein wichtiger Faktor zur Beschreibung sein. So konnten Schmitz *et al.* (2017) bereits eine erste Untersuchung am medialen Femurkondyl vornehmen. Sie untersuchten anhand der Pearson-Korrelation die Beziehungen zwischen MRT und Sonographiemessungen und konnten eine gute Korrelation im Bereich des mittleren Femurkondylus feststellen ($r = 0,67$). Allerdings gab es in den Ergebnissen eine schlechte absolute Übereinstimmung zwischen den korrelierten Messwerten. Diese wurden mittels Sonographie um 1,9 mm bis 2,8 mm kleiner angegeben als die Werte der MRT-Messung darstellten. Somit lassen die hier sehr guten erzielten Ergebnisse der Sonographiemessung noch keine Rückschlüsse auf eine hohe Genauigkeit zu, welche nach Schmitz *et al.* (2017) mittels MRT-Verfahren weiterhin geprüft werden sollte.

Eine Interreliabilität und Validität der Sonographiebildgebung am Kniegelenk wurde im Jahre 2011 geprüft. Es wurden zwei ausgebildete Sonographen gebeten, an 18 Teilnehmer, unter anderem die Knorpeldicke beider Kniegelenke zu messen, welche im Anschluss miteinander verglichen wurde. Es konnte nach Aussage der Studienleiter am rechten Kniegelenk eine mäßige ($r = 0,52$) und am linken Kniegelenk eine erhebliche ($r = 0,70$) Übereinstimmung der Ergebnisse der einzelnen Sonographen erkannt werden (Abraham *et al.* 2011). Auch wenn die Ergebnisse dieser Arbeit weder nach Bös (1987) noch nach Cronbach's Alpha auf eine gute Korrelation hinweisen, mag dies jedoch ein erster Hinweis sein, dass es durchaus möglich sein kann, mit einem geeigneten Sonographiegerät bei klar definierter Methodik neben einer guten Reliabilität auch eine Interreliabilität zu erhalten.

Eine Reproduzierbarkeit der Sonographiemessungen prüften Spannow *et al.* (2007) durch die Knorpeldickenbeurteilung eines erfahrenen und eines nicht erfahrenen Untersuchers an elf gesunden Kindern (5 weiblich, 6 männlich) im Alter zwischen 9,6 und 10 Jahren. Sie kamen zu der Erkenntnis, dass sich die Variabilität des Beobachters nicht auf die Gelenkgröße und Dicke, sondern hauptsächlich auf die Positionierung der Gelenke und des Sonographieschallkopfes innerhalb der Messungen bezieht (Spannow *et al.* 2007). Zu bedenken ist, dass hier womöglich mit verschiedenen Schallkopfanlagen gearbeitet wurde, was dazu führen könnte, dass es durch ein schräges Schallen zu unterschiedlichen Ergebnissen kommt. Die hier vorliegende Studie orientierte sich methodisch in leicht modifizierter Form an einer von der DEGUM definierten Standardschnittebene. Dies hatte den

Vorteil, dass der gesamte Schallkopf parallel an die Kniescheibe angelegt werden konnte, welche so einen immer gleichen Anschlag vorgab.

Eine weitere Querschnittsstudie zur Validität und Interklassen-Korrelationskoeffizienten der Sonographiemessungen an Kniegelenken von 45 Teilnehmer wurde 2014 erstellt. Neben morphologischen Veränderungen am medialen und lateralen Kniegelenkknorpel und entzündlichen Prozessen des Kniegelenkes, wurde das Kniegelenk auf Ergüsse geprüft. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass für alle gemessenen Bereiche des Kniegelenks ein Interklassen-Korrelationskoeffizient zwischen ICC 0,75 und ICC 0,97 vorliegt (Riecke *et al.* 2014). Diese Ergebnisse zeigen auf, dass es durchaus möglich erscheint, die Ergebnisse, bei guter methodischer Grundlage von einem anderen Untersucher bestätigen zu lassen.

Durch das Einhalten identer Messbedingungen und Messtechnik konnte die Fehlerrate so gering wie möglich gehalten werden. Verglichen mit den Bildaufnahmen anderer Sonographiegeräte lieferte das hier verwendete Clarius L7 durchweg zufriedenstellende Aufnahmen, welche zu einer guten Evaluierung der Bilder führte.

Die in dieser Studie erzeugten Korrelationen waren eindeutig, doch müssen, um diese in die Reihe wissenschaftlicher Kenntnisse einreihen zu können, in Zukunft weitere Studien dieser Art zur Reliabilitätsprüfung und Beweissicherung erstellt werden.

Fragestellung 2:

Wie groß sind die geschlechts-, sportart- und altersspezifischen Unterschiede der Knorpeldicke des medialen Femurcondyls?

6.2.2 Diskussion über geschlechts-, sportart- und Altersunterschiede

6.2.2.1 Geschlechterspezifische Unterschiede der Knorpeldicke des medialen Femurcondyl

Die Ergebnisse der geschlechtsspezifischen Untersuchungen zeigten auf, dass es eine Überzahl männlicher Teilnehmer ($n= 106$; $MW= 2,24$ mm) gab und diese im Schnitt einen dickeren Knorpel aufweisen als die weiblichen ($n= 51$; $MW= 1,735$ mm). Die Differenz beider Knorpeldicken beträgt somit $0,505$ mm, was $22,54$ % entspricht. Obwohl ein unausgeglichenes Geschlechterverhältnis innerhalb der Kohorte bestand, kann durch die hier erzielten Daten den Ergebnissen von Cicuttini *et al.* 1999, Faber *et al.* 2001 und Eckstein *et al.* 2001, welche auch deutliche Unterschiede zwischen beiden Geschlechtern finden konnten, zugestimmt werden. Mit einer Differenz von $22,54$ % liegen die Ergebnisse dieser Studie auch mittig der Ergebnisse von Jones *et al.* (2000). Sie kamen durch MRT-Messungen des Kniegelenkknorpels zu dem Ergebnis, dass es bei 9 bis 18 Jahre alten Teilnehmer zu einer Differenz zwischen den

männlichen Teilnehmern und den weiblichen Teilnehmern von 16-31 % an mehr Knorpelmasse für die männlichen Teilnehmer gab. Weiterhin konnten sie beobachten, dass sportlich aktive Jungs innerhalb der Pubertät eine schnellere Zunahme an Knorpelvolumen aufwiesen als Mädchen. Dies konnten Faber *et al.* (2001) bestätigen. Sie konnten beim Vergleichen von neun Männern und neun Frauen mittels MRT-Bildgebung erkennen, dass die männliche Kohorte einen um 4,3 % dickeren Knorpel an der medialen Femurkondyle und 46,6 % dickeren Knorpel in der medialen Tibia aufwiesen.

Die Kenntnis der geschlechtsspezifischen Knorpeldicke weist darauf hin, dass es bei der Einschätzung zukünftigen Gelenkknorpelverlusts bei Patienten mit Symptomen einer degenerativen Gelenkerkrankung das Geschlecht berücksichtigt werden sollte. Frauen sind im Alter häufiger von einer Arthrose betroffen, was auch an der natürlich vorliegenden geringeren Knorpeldicke liegen kann. Dies sollen folgende Daten aufzeigen.

Tabelle 69: Arthroseprävalenz in Deutschland

Alter	Betroffene Frauen in Prozent	Betroffene Männer in Prozent
18 - 29	0,9 %	0,4 %
30 - 44	4,3 %	4,1 %
45 - 64	23,2 %	16,6 %
≥ 65	48,1 %	31,2 %

Quelle: modifiziert nach Journal of health monitoring (2017, 2/3)

Wie in Tabelle 69 erkennbar, steigt mit zunehmender Alterung das Risiko an einer Arthrose zu erkranken stark an. Annähernd jede vierte Frau ab dem 45. Lebensjahr ist von Arthrose betroffen. Demgegenüber sieht sich jeder sechste Mann im gleichen Alter mit der Erkrankung auseinandergesetzt. Betrachtet man die Gesamtknorpeldicke, so widersprechen die hier erstellten Daten den Ergebnissen von Spannow *et al.* (2010). Sie konnten mittels Sonographiemessung am Kniegelenk eine Durchschnittsknorpeldicke der männlichen 8-jährigen Teilnehmer von 3,96 mm und 15-jährigen Teilnehmer von 3,47 mm feststellen. Ebenso zeigten die Ergebnisse der weiblichen Teilnehmer eine andere Tendenz auf. Hier konnte bei den 8-jährigen eine Dicke von 3,6 mm und bei den 15-jährigen eine Dicke von 2,87 mm dargestellt werden. Auch hier nahmen Kinder im Alter von 6 bis 16 Jahren teil, was sich gut mit der Altersspanne in dieser Arbeit vergleichen lässt. Ebenso sahen die Ausschlusskriterien ähnlich aus. Zusätzlich wurde eine sportliche Aktivität am Untersuchungstag ausgeschlossen, um einen möglichen ergebnisveränderten Einfluss auszuschließen. Die Differenz der Ergebnisse könnte durch die verschiedenartige Messmethodik erklärbar sein. Während in der vorliegenden Arbeit ein von der DEGUM definierter suprapatellarer Transversalschnitt in leichtmodifizierter Version angewandt wurde, wurde bei Spannow die Modifizierung nicht angewandt. Dadurch kann es zu verschiedenen Messpunkten und somit anderen Ergebnissen kommen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Frage nach der geschlechterspezifischen Knorpeldicke auch aufgrund unterschiedlicher Verteilungen im Teilnehmerklientel in dieser Arbeit nicht endgültig geklärt werden kann. Es konnten erste Hinweise dargestellt werden, dass beide Geschlechter unterschiedliche Knorpeldicken besitzen, wobei männliche generell einen dickeren Knorpel am medialen Femurkondylus aufweisen als weibliche Kinder und Jugendliche im Alter zwischen 6 und 17 Jahren.

6.2.2.2 Sportartspezifische Unterschiede der Knorpeldicke des medialen Femurkondyl

Die Ergebnisse der sportartspezifischen Unterschiede der Knorpeldicke lassen sich klar darstellen. Die Karatesportler weisen die größte Durchschnittsdicke auf. Die Sportschützen die geringste. Dass die Knorpeldicken der Schützensportler allerdings nur ca. ein Drittel der Kartesportler ist, wirft Folgefragen auf. Zwischen den Schützen- und Kartesportlern erzielten die Handballer und Leichtathleten ähnliche Werte. Fußballer waren die Sportler, welche noch immer über doppelt so dicke Knorpel aufwiesen als die Schützensportler. Gerade die Schützensportler (14,9; n= 10) stellten innerhalb dieser Studie die älteste Teilnehmergruppe und die Karatesportler (10,73; n= 45) die jüngste Sportgruppe. Da es keine Verteilung in gleicher Anzahl gab, können die Ergebnisse nur schwer statistisch argumentiert werden.

Hochintensive körperliche Aktivität wirkt sich positiv auf die Kniegelenkknorpeldicke aus (Babayeva *et al.* 2021). So zeigten sich, an 132 männlichen Teilnehmern, welche in zwei Gruppen (Sport vs. kein Sport) aufgeteilt wurden, klare Ergebnisse. Diese wurden zur Berechnung eines Mittelwertes mit dreimalig aufeinanderfolgende Messung mittels Sonographiegerät erhoben. Es zeigte sich, dass die Knorpeldicken innerhalb der Sportgruppe in welchem Volleyball (n= 43), Fußball (n= 21), Basketball (n = 28) und Gewichtheben (n = 20) trainiert wurde, signifikant höher waren ($p < 0,001$ und $p = 0,001$) als die der Vergleichsgruppe. Das heißt, dass Sprung- und Sprintsportarten eventuell zu einem dickeren Knorpel führen können. Dies könnte als Erklärung für die dünne Knorpelschicht der statischen Sportschützen dienen.

Ob die Knorpeldicke der Fußballgruppe in dieser Studie altersentsprechend ist, kann an dieser Stelle nicht abschließend beantwortet werden. Weitere Hinweise liefern die Studienergebnisse von Roos *et al.* (1994): Selbst, wenn keine Verletzung diagnostiziert wurde, liegt die Prävalenz der Gonarthrose bei ehemaligen Fußballern bei elf Prozent. Daraus lässt sich schließen, dass gerade beim Fußball bzw. bei Sportarten, welche eine hohe Druckbelastung und mit Schnellkraft ausgeführt werden, ein dicker Knorpel wichtig wäre, da die Sportart mit einem erhöhten Gonarthrosrisiko verbunden ist. Sportarten mit abrupten Richtungswechseln und hohen Scherkräften sind meist mit einem erhöhten Arthroserisiko verbunden (Nehrer & Neubauer, 2021). Dies vermuteten auch Drawer und Fuller (2001) die anhand von 185 ausgefüllten Fragebögen an ehemaligen Fußballern, Erkenntnisse über deren körperlichen

Zustand sammeln wollten. Die meisten akuten Verletzungen, welche zur Beendigung der Sportart führten, betrafen das Kniegelenk (n= 15; 46 %). Die Entstehung eines Gelenkschadens wird häufig durch eine Verletzung initiiert (Bhosale & Richardson, 2008). Ebenfalls betrafen die meisten chronischen Verletzungen, welche zum Ausscheiden aus der Sportart führten, das Kniegelenk (n= 17; 37 %). Eine Arthrose in mindestens einem der unteren Extremitätengelenken wurde bei 32 Prozent aller Befragten (n= 59) diagnostiziert. Gelenkschmerzen der unteren Extremität gaben 89 Prozent der Befragten an (n= 137). Dass die Fußballer eventuell mechanischen Reizen ausgesetzt sind, welche die Knorpelzusammensetzung zwar fest, dafür aber nicht dick macht, könnte eine mögliche Erklärung ebenso für Einflüsse bei Leichtathletik und Handball sein. Auch hier gibt es gegenüber den Schützensportlern und Karatesportlern deutlich mehr Gelenkimpressionen. Das Forschungsteam um Waldenmeier (2019) bewertete die Dicke des medialen und lateralen Kniegelenkknorpels des Standbeines mittels MRT-Bildgebung an 57 männlichen jungen aktiven Fußballspielern, welche einem professionellen Kader angehörten. Es konnten Knorpelveränderungen im medialen Femurkondylus erkannt werden, welche mit der höchsten biomechanischen Belastung im Kniegelenk begründet wurde. Auch hier so die Autoren, treten die meisten chronischen Knorpelläsionen am medialen Femurkondylus auf.

Weiterhin muss die metabolische Aktivität des Knorpels bedacht werden. So erfolgt eine Regulation der metabolischen Aktivität innerhalb des Knorpels als Reaktion durch äußere mechanische Einflüsse (Darling *et al.* 2009). Es zeigte sich, dass Gelenkknorpel einer Vielzahl an mechanischem Einfluss ausgesetzt ist und diese je nach Beanspruchung zu Auswirkungen führen kann. Gerade die Chondrozyten übertragen die mechanischen Reize, indem sie unter anderem die Genexpression und den Stoffwechsel verändern. Der Chondrozyt reagiert auf physiologische Einwirkungen anders als unter pathophysiologischen Bedingungen (Chen *et al.* 2013). Eine pathophysiologische Bedingung könnte neben einer Erkrankung des Gewebes auch eine Überlastung dessen sein, was frühzeitig zu einer Arthrose führen könnte. Studien über Gelenkknorpelverletzungen bei Handballern zeigen ähnliche Ausprägungen. So konnten auch hier Knorpeldefekte durch häufig starke und wiederholte mechanische Belastung des Kniegelenks gefunden werden (Heijink *et al.* 2012; Vannini *et al.* 2016; Giroto *et al.* 2017).

Ebenso konnten Studien zeigen, dass eine Veränderung innerhalb der Biomechanik in jungen Lebensjahren eine Pathologie beim Erwachsenen fördern kann (Urquhart *et al.* 2008; Verbruggen *et al.* 2016; Ponssa & Abdala, 2016; Ford *et al.* 2017). Ni *et al.* (2016) schlussfolgerten, dass sowohl Knieimmobilisierung als auch zu langes Laufen zu einer degenerativen Veränderung des Knorpels führen kann. Gerade hierbei scheint eine gesunde, kräftige Knorpelsubstanz von Vorteil. In einer Übersichtsarbeit konnte bei einem Vergleich der Arthroseprävalenz zwischen Sportlern und Nichtsportlern erkannt werden, dass 74 % der Athleten an einer vorzeitigen Arthrose erkrankt waren. Davon waren 21 % im Fußball und 11 %

im Handball aktiv. Bei Läufern, Tänzern und Triathleten konnten keine Beschwerden erkannt werden. Auch hier kamen die Autoren zu dem Ergebnis, dass Sportarten mit großer Kniebelastung mit einer vorzeitigen Arthrose in Verbindung gebracht werden können (Migliorini *et al.* 2022).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Knorpeldicke eine entscheidender Faktor für eine in Zukunft entstehende Arthrose sein kann und dieser innerhalb der kindlichen Phase bestmöglich ausgebildet werden sollte. Teilnehmer verschiedener Sportarten weisen innerhalb dieser Studie unterschiedliche Knorpelstärken auf, welche durch weitere Studien überprüft und diskutiert werden sollten.

6.2.2.3 Altersspezifische Unterschiede der Knorpeldicke des medialen Femurkondyl

Während das durchschnittliche Alter aller Teilnehmer bei 12,3 Jahre lag, weisen die Ergebnisse eine große Altersspanne zwischen 6 und 17 Jahren auf. Betrachtet man Faktoren wie hormonelle Einflüsse, Lebenszeitdauer und Sportzugehörigkeitsdauer, so könnte davon ausgegangen werden, dass es mit zunehmendem Alter einen Anstieg der Knorpeldicke bis zu einem Endpunkt gibt. Nimmt man die sechs- ($n= 3$) und siebenjährigen ($n= 2$) aufgrund geringer Teilnehmerzahlen, sowie die 13-jährigen ($n= 25$) aufgrund einer zu großen Anzahl heraus, liegt eine gute, ausgeglichene Anzahl pro Altersklasse vor ($n= 12-17$).

Tabelle 70: Altersdarstellung, abnehmend nach Knorpeldicke

Rang	Alter		N	Minimum
1	8	Differenz_Messungen	13	3,4013
2	9	Differenz_Messungen	12	3,3156
3	10	Differenz_Messungen	15	2,3882
4	11	Differenz_Messungen	17	2,2741
5	12	Differenz_Messungen	15	1,9301
6	17	Differenz_Messungen	12	1,6258
7	16	Differenz_Messungen	14	1,4736
8	14	Differenz_Messungen	16	1,3846
9	15	Differenz_Messungen	13	1,3067

Aus Tabelle 70 wird ersichtlich, dass bis zum Alter von 12 Jahren eine kontinuierliche Abnahme der Knorpeldicke gibt. Ab dem sechsten Rang, weisen dann allerdings die 17-jährigen einen dickeren Knorpel als die 14-16-jährigen auf.

Die Ergebnisse der altersspezifischen Knorpeldicke aus dieser Arbeit decken sich teilweise mit denen von Holowka *et al.* (2021). Sie konnten durch Sonographiemessungen an 168 Kindern und Jugendlichen im Alter von 7 bis 17 Jahren in Kenia aufzeigen, dass es mit zunehmendem Alter zu einer Reduktion der Knieknorpeldicke kommt ($p < 0,0001$). Es konnte

weiterhin aufgezeigt werden, dass die Reduktion in der ländlichen Teilnehmergruppe signifikant geringer war als in der städtischen Kontrollgruppe ($p=0,012$).

Es ist davon auszugehen, dass die teilnehmenden Kinder und Jugendlichen, welche in ländlichen Gegenden lebten und körperlich aktiver waren, während der Jugend im Schnitt weniger Knorpelverlust aufwiesen als die sesshaftere städtische Gruppe. Eine Manifestation dieser Behauptung wäre ein möglicher Hinweis auf einen nachhaltig negativen Einfluss auf die Dicke des Kniegelenkknorpels durch zu wenig Bewegung. Ein potentiell erhöhtes Risiko von arthrotischen Erkrankungen im späteren Leben durch reduzierte oder nicht physiologisch adäquate körperliche Belastung/ Aktivität wäre möglicherweise die Folge.

Diese Behauptung kann mit dieser Studie weder belegt noch widerlegt werden. Hierzu bedarf es weiterer Studien, in welchen neben den Knorpeldicken auch auf soziale Parameter eingegangen werden muss. Zusätzlich sollten diese Studien über mehrere Jahre andauernd sein und mehrere Follow-up's enthalten, um die exakte Entwicklung und Lebensgewohnheiten der einzelnen Teilnehmer und dessen Knorpel zu erfassen. Anders sieht es das Forschungsteam um Culvenor (2017). Sie konnten mittels MRT-Bildgebung feststellen, dass die Kniescheiben- und Trochleaknorpeldicke in der Pubertät ohne signifikante Unterschiede zwischen den Geschlechtern zunahm. Allerdings konnten auch hier an jungen erwachsenen Athleten ein Knorpelverlust erkannt werden, was möglicherweise auf degenerative Veränderungen zurückzuführen ist (Culvenor *et al.* 2017). Weitere Forschung kam zu ähnlichen Ergebnissen. An 20 Jugendlichen ($16 \pm 0,6$ Jahre) und 20 Erwachsenen ($46,3 \pm 4,7$ Jahre) mit einer identischen Geschlechterverteilung, konnte bei den Jugendlichen eine jährliche Zunahme der femorotibialen Gesamtknorpeldicke von 0,8 % (männlich) und 1,4 % (weiblich) mittels MRT-Bildgebung erkannt werden, welche am medialen Femur am größten war. Die älteren Teilnehmer verloren pro Jahr 1 % der femorotibialen Knorpelmasse (Eckstein *et al.* 2014). Es scheint, als sei über die Veränderungen der menschlichen Knorpeldicke während des Wachstums wenig bekannt. Eine mögliche Erklärung hierfür könnte eine Regulation durch äußere Einwirkungen innerhalb des Knorpels liefern (Darling *et al.* 2009). Es zeigte sich, dass Gelenkknorpel, welcher einer Vielzahl an mechanischem Einfluss ausgesetzt ist, je nach Beanspruchung zu positiven, wie negativen Auswirkungen führen kann. Gerade die Chondrozyten übertragen die mechanischen Reize, indem sie unter anderem die Genexpression und den Stoffwechsel verändern. Chondrozyten reagieren auf physiologische Einwirkungen anders als unter pathophysiologischen Bedingungen (Chen *et al.* 2013). Ebenso können Gelenkgewebe, die extremen mechanischen Belastungen durch Überbeanspruchung ausgesetzt sind, ähnliche Folgen erleiden (Shwartz, Blitz & Zelzer, 2013).

Fragestellung 3:**Verändern 30 Kniebeugen mit eigenem Körpergewicht die Knorpeldicke des medialen Femurcondyls unterschiedlich stark in Abhängigkeit von Alter, intensiv betriebener Sportart oder Geschlecht?**

Die Auswirkung von 30 mit dem eigenen Körpergewicht durchgeführten Kniebeugen auf die Kniegelenkknorpeldicke wurden direkt an die Aktivität anschließend dreifach bestimmt und mit den drei Eingangsmessungen verglichen.

In allen Gruppen waren die gemittelten Werte vor und nach Messung nur im geringen Maße abweichend (maximale prozentuale Abweichung: 3,11 %). Während bei Karatesportler, Leichtathleten und Schützensportler nach den Kniebeugen im Mittel einen minimal dünneren Knorpel gemessen wurde, konnte bei den Fußballern und Handballern ein gegenteiliges Bild dargestellt werden. Hätten sich hierbei statistisch signifikante Unterschiede ergeben, hätte dies damit zu tun haben können, dass gerade Fußballer und Handballer sportartbedingt mehr Kompressionseinwirkungen auf die Gelenkknorpelflächen haben und der Knorpel schneller mit Bildung von Flüssigkeiten reagieren kann. Gerade die Schützensportler haben eine sehr statische Sportart, bei welcher der Knorpel nicht adaptieren muss und es eventuell zu einer schlechteren morphologischen Reaktion kommen könnte. Als beständigsten Zusammenhang mit körperlicher Aktivität stellte Jones *et al.* (2003) eine erhöhte Knorpelwachstumsreaktion dar.

Die Oberflächenbeschaffenheit des Knorpels wurde in dieser Studie nicht untersucht. Glaser und Putz (2002) wiesen allerdings bereits auf die Tangentialzone hin, welche die größte Verformbarkeit hat. Diese ist nach Setton (1993) für das viskoelastische Verhalten des Knorpels zuständig. Abschließend können in dieser Studie weitere die Knorpelgesundheit und -dicke beeinflussende Faktoren nicht endgültig ausgeschlossen werden. Beispielsweise müssten individuelle Sportbelastungsdaten und Trainingstagebücher geführt werden. Weiterhin bleibt neben einer genetischen Komponente die Frage offen, wieviel sich die Teilnehmer neben ihrer sportlichen Aktivität noch mit anderen gelenkbelastenden Sportarten beschäftigen.

Die bei Karatesportler, Leichtathleten und Schützensportler vergleichsweise reduzierte Knorpeldicke sind kongruent mit vorausgegangenen Studienergebnisse (vgl. Eckstein *et al.* 1998; Eckstein *et al.* 1999). Auch dort konnten an Erwachsenen Deformationen des Kniegelenkknorpels zwischen 2,4 % und 8,6 % erreicht werden. Weiterhin konnte erkannt werden, dass sich eine Knorpeldickenänderung nach 30 Kniebeugen um -2,8 % ($\pm 2,6$ %) einstellte (Eckstein *et al.* 2000). So schließt sich diese hier vorliegende Arbeit mit einer Reduzierung der Knorpeldicke der Karatesportler (-2,6 %), Leichtathleten (-1,3 %) sowie

Sportschützen (-1,36 %) der Arbeit von Eckstein *et al.* (2000) an. Die Ergebnisse von Eckstein konnten mittels Sonographiemessung in der vorliegenden Arbeit bei drei Sportarten bestätigt werden. Bei genauerer Betrachtung der Vergleichsstudie von Liess (2002) fällt auf, dass es bei der doppelten Anzahl an Kniebeugen (60 Stück) zu einer Reduzierung der Knorpeldicke um 5,4 % ($\pm 1,5$ %) kam. Dies entspricht dem doppelten Wert der Kartesportler sowie Eckstein *et al.* (2000). Es mag denkbar sein, dass sich ein Knorpel bis zu einem gewissen Punkt durch mechanische Einwirkungen komprimieren kann und eine vermehrte Einwirkung zu keiner weiteren Kompression führt. Dies konnte Eckstein bereits erkennen und zeigte auf, dass auch nach mehreren Durchgängen von 50 Kniebeugen keine weitere Deformation eintritt (Eckstein *et al.* 1999).

Um die einzelnen Sportarten miteinander vergleichen zu können, wurden Post-hoc-Tests²⁰ mit paarweisen Mittelwertvergleichen durchgeführt (siehe Anhang 34, S. 130).

Nach Durchführung des Post-hoc-Tests zeigt es sich, dass sich keine Gruppen voneinander signifikant unterscheiden. Somit sind alle in gleichem Maße miteinander vergleichbar. Es gibt in den einzelnen Sportarten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Knorpeldicken vor und nach den Kniebeugen.

Ein Grund hierfür könnte sein, dass die Anzahl der Kniebeugen zu gering war. In Studien, welche an Erwachsenen durchgeführt wurden, mussten 50 bzw. 100 Kniebeugen durchgeführt werden. Aufgrund des Alters der Teilnehmer wurde sich hierbei für 30 Kniebeugen entschieden. Diese waren für jeden Teilnehmer belastend, jedoch machbar. Insbesondere die Sportart Fußball war hier hauptsächlich aus männlichen Teilnehmer bestanden. Junge Männer, die Sport mit hohem Energieaufwand betreiben, haben eine höhere Ansammlungsrate von Knorpelgewebe und somit eventuell auch eine bessere Oberflächenbeschaffenheit und Versorgung sowie Entsorgung der Gelenkstrukturen (Jones, 2003). Eine Verformung der interstitiellen Matrix führt dazu, dass es zu Veränderungen im Zellkernvolumen kommt (Buschmann *et al.* 1996; Guilak *et al.* 1995). Weiterhin, so die Autoren, spielen interstitielle Flüssigkeitsströmungspotentiale und die Übertragung mechanischer Verformung über das Zytoskelett eine Rolle bei der mechanischen Übertragung.

Eine endgültige Aussage, inwiefern sich weitere Faktoren auf die Knorpelkompressionsfähigkeit auswirken, kann in dieser Studie nicht abschließend geklärt werden.

²⁰ Geben Auskunft darüber, welche Mittelwerte sich signifikant voneinander unterscheiden und welche Gruppen-Mittelwerte nicht signifikant verschieden sind.

Männliche Teilnehmer weisen sowohl vor als auch nach den Kniebeugen ähnliche Werte auf. So konnte vor der Intervention ein geringer Mittelwert von 2,23 mm als nach der Intervention 2,25 mm gemessen werden.

Die Dickenwerte der weiblichen Teilnehmer liegen ebenso vor den Kniebeugen ($1,74 \pm 0,674$ mm) und nach den Kniebeugen ($1,73 \pm 0,64$ mm) auf nahezu identem Niveau.

6.2.3 Diskussion zur Auswertung des Fragebogens

Fragestellung 4:

Wie nehmen die Teilnehmer ihr eigenes aktuelles körperliches und mentales Befinden und Wahrnehmung in Abhängigkeit von Alter, intensiv betriebener Sportart, Schultyp, Jahrgangsstufe und Geschlecht wahr?

Der Umfang der sportlichen Betätigung, damit verbundene Belastungs- oder Verletzungssymptome und psychometrische Grundlagen wurden mittels Fragebogen erhoben.

Somit konnten über die somatischen Befunde auch Daten über die psychische Selbsteinschätzung der Probanden erhoben werden.

6.2.3.1 Lebensqualität der Teilnehmer

Von 157 teilgenommenen Teilnehmer konnten lediglich 85 Fragebögen für die statistische Bewertung genutzt werden.

Die Schützensportler und die Schüler der sonstigen Schulen hatten im Vergleich zu den anderen Sportarten und Schulen die größten Schmerzen oder körperlichen Beschwerden angegeben. Zwar waren diese in einem nicht stark betroffenen Bereich, aber hoben sich von den Sportlern der anderen Sportarten etwas ab. Eine Erklärung im Bereich des Sports könnte durch die statische Haltearbeit gegeben sein. Gerade hier kommt es zu statisch haltenden Rotationsbewegungen, welche sich auf Gelenke auswirken könnten. Ebenfalls bedarf es eines guten Dehntrainings, um eine Problematik einseitig überlasteter Strukturen entgegenzuwirken (Freiwald & Greiwing 2016). Auch diese Ergebnisse können aufgrund fehlender Informationen nicht abschließend bewertet werden. Weiterhin konnte erkannt werden, dass Schüler der elften Klasse besonders von Schmerzen betroffen sind. Zusätzlich konnten diese bei der Fragestellung bezüglich sich unglücklich, traurig oder besorgt zu fühlen die meiste Betroffenheit aufweisen.

6.2.3.2 Bewertung der aktuellen Gesundheit

Betrachtet man die aktuelle Gesundheitssituation der einzelnen Sportartengruppen so fällt auf, dass die Handballer mit einem MW von 83,65 den niedrigsten Wert angaben. Die Karategruppe konnte mit einem MW von 92,90 ein deutlich gesteigertes Gesundheitsempfinden darlegen. Dies könnte einerseits an der hohen Gelenkbelastung und Verletzungsanfälligkeit der Handballsportler liegen (vgl. Nehrer & Neubauer, 2021; Bhosale & Richardson, 2008). Dementgegen stehen die Teilnehmer der Karategruppe, welche durch saubere Techniken und Bewegungsabläufe deutlich weniger Verletzungsrisiken ausgesetzt sind.

Auch auf die Frage der aktuell gefühlten Gesundheit schnitten die Schüler der elften Klasse am schlechtesten ab. Warum gerade die Schüler dieser Klassenstufe so auffällig antworteten, kann aufgrund fehlender detaillierter Informationen nur vermutet werden. Eventuell könnte dies mit der Phase der Pubertät zusammenhängen. Die HBSC- Studie²¹ könnte eine mögliche Erklärung bieten. Hier konnte erkannt werden, dass pubertierende Jugendliche, Jungs häufiger als Mädchen, unter Hänseleien zu leiden haben (Melzer *et al.* 2009). Diese Hänseleien können in Kombination mit anderen Einflüssen zu einem verminderten Selbstwertgefühl und Wohlbefinden führen (Korsten-Reck, 2007). Auch nicht ausgeschlossen werden darf die schulische Situation. Schüler der elften Klasse müssen sich auf dem Gymnasium befinden, an welchem der Unterricht eventuell etwas anstrengender und/ oder belastender ist. Generell schätzten sich weibliche Teilnehmer als gesünder ein als männliche. Gerade Wachstum und Strukturierung der Organsysteme lassen die geistigen Fähigkeiten reifen (Koletzko, 2007). So ist es denkbar, dass sich diese Altersgruppe einfach besser einschätzen kann. Dies gilt es durch weitere Datenerhebungen in größerem Umfang zu klären. Die Copsy-Studie aus dem Jahre 2021 zeigt auf, dass sich in der Pandemiezeit 35 % der Kinder und Jugendlichen (11-17 Jahre) in ihrer Lebensqualität eingeschränkt fühlen.

6.2.3.3 Mentale Situation

Bezüglich der mentalen Situation der Teilnehmer konnte dargelegt werden, dass es lediglich im Bereich der Angst kleine Geschlechtsunterschiede gibt. So konnte aufgezeigt werden, dass die männlichen Teilnehmer im Median mit 4 (nie) und die weiblichen Teilnehmer im Median mit 3 (selten) das Gefühl der Angst verspürten. Da Angst eine der menschlichen Basisemotionen ist, welche den Körper in Notsituation zum schnellen Handeln versetzen muss, kann es auch als evolutionäres Programm angesehen werden (Morschitzky, H., 2009;

²¹ WHO-Jugendgesundheitsumfragen (Health Behaviour in School-aged Children)

Nesse, 1994). Innerhalb dieser Studie gab es hinsichtlich der Angst bei den Teilnehmern keine signifikanten Unterschiede oder Auffälligkeiten. Dies widerspricht den Ergebnissen der Copsy-Studie welche einen zunehmenden Trend bei Ängstlichkeits- und Depressivitätswerten sahen. Mädchen waren nach den Ergebnissen dieser Studie hinsichtlich ihrer Lebensqualität und Ängstlichkeit zu einem größeren Anteil beeinträchtigt als Jungen (Ravens-Sieberer *et al.* 2021). Dies könnte mit dem Befragungszeitpunkt erklärt werden. Diese hier vorliegenden Studienergebnisse wurden alle 2022 ermittelt was mit dem langsamen Auslaufen der pandemischen Lage sowie Lockerung der Maßnahmen und einem besseren Verständnis der Pandemie, zu einer Verbesserung der ängstlichen Situation hätte führen können.

Betrachtet man die Handballgruppe im Bezug zu dem Gefühl der Niedergeschlagenheit, so konnte aufgezeigt werden, dass diese im 1. Quartil mit einem Wert von 2,00 doch zeitweise dieses Gefühl spüre. Ebenso konnte gezeigt werden, dass die Schüler der zweiten Klasse mit einem Median von 2,50 ebenso wie die Schüler der 12. Klasse mit einem Median von 2,00 und 3. Quartil von 2,00 auffällig waren. Während es bei den Handballern im Vergleich zu den anderen Sportarten eventuell an der aktuellen Gesundheitssituation, Verletzungsanfälligkeit oder an der deutlichen größeren Teilnehmerzahl liegen könnte, kann für die Schüler der 12. Klasse eventuell der bevorstehende Abschluss oder auch eine noch ungewisse Zukunft bzw. aktuelle pubertäre Situationen hierzu beitragen. Gerade auch die Pandemie, bei welcher die sozialen Kontakte teilweise unterbrochen werden mussten, könnten eventuell dazu beitragen.

Auch im Bezug zu Traurigkeit und Zufriedenheit konnten keine bedeutenden Unterschiede erkannt werden. Zwar lag der Median der Gemeinschaftsschüler bezüglich der Traurigkeit bei 2,5, was einen Bereich zwischen zeitweise und selten widerspiegelt, doch liegen die anderen Schulen direkt anschließend an diese Werte mit 3-4. Um dies genauer interpretieren zu können müssten detaillierte Angaben zu möglichen Gründen aufgenommen und ausgewertet werden. Auch die Situation bezüglich der Zufriedenheit stellt sich ähnlich dar. Die Schüler der 6. und 11. Klasse gaben mit einem Median von 2,00 an, zeitweise zufrieden zu sein. Die Schüler der anderen Klassen gaben mit einem Median von 1,00 mehrheitlich größere Zufriedenheit an. Auch hier kann nur gemutmaßt werden, dass es eventuell zu pubertären Auswirkungen kam. Ebenso müssten zur Klärung dieses Ergebnisses hier detaillierte Angaben gemacht werden.

6.2.3.4 Persönliche Empfindungen

Zur Frage der persönlichen Empfindungen wie unter Fragestellung 7 aufgelistet, kam es durchgängig bei allen Teilnehmern zu sehr positiven Ergebnissen. Die Teilnehmer dieser Studie waren grundsätzlich mit ihrem Alltag zufrieden, glücklich, fühlten sich wertgeschätzt und empfanden Wohlempfinden sowie gute Fitness und Gesundheit.

6.3 Generelle Diskussion

Ein wissenschaftlicher Konsens konnte gerade bei den Auswirkungen von mechanischen Reizen auf den Knorpel und einer eventuell daraus entstehenden Arthrose bisher nicht gefunden werden. So stammen einige Ergebnisse aus dem tierexperimentellen Bereich, welche sich eventuell nicht komplett auf den Menschen übertragen lassen. Eine andere Auffälligkeit ist, dass gerade verschiedene Methoden zu unterschiedlichen Kenntnissen führen können, und hierdurch nur schwer vergleichbar sind.

Nach der Darstellung und Bewertung der Literatur in Kapitel 2 wird ersichtlich, wie groß die Kontroverse zum Thema der Knorpelentwicklung ist. Gerade die unterschiedlichen Teilnehmerpopulationen und die angewandten Methoden, sei es die Art der Durchführung oder die Erhebung der Parameter, zeugen von Diskrepanz. Ein Problem der Verwendung der in der Literatur auffindbaren Studienergebnisse zeigt Naik (2011) auf. Er beschreibt, dass sich die meisten Ergebnisse kaum reproduzieren lassen, was es dem Anwender erschwert, sich in die Thematik detailliert einzuarbeiten. Um Studienergebnisse replizierbar und dem Praktiker transparenter zu machen, sollten gerade in Therapiestudien generell die gleichen Methoden angewandt werden. Da die meisten Ergebnisse mittels MRT-Bildgebung generiert wurden, sind diese mit den Ergebnissen dieser Arbeit nur schwer vergleichbar. Es bedarf weiterer Studien an Teilnehmern jeglichen Alters, um eine Validierung der Sonographiemessung mit einem MRT durchzuführen. Die Ergebnisse zur Reliabilität der Sonographiemessung übertrafen die im Vorfeld ($r = 0,8$) definierten Mindestanforderungen. Dies zeigt jedoch auf, wie gut diese Messungen am medialen Femurkondylus angewendet werden können. Einzig eine Übereinstimmung der Knorpeldicke müsste mittels MRT-Bildgebung in weiterer Forschung geprüft werden. Auch hierzu gibt es bereits Studien, welche allerdings durch verschiedene Messverfahren und Anwendungsprotokolle zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen. Da die Grundidee dieser Arbeit die Validierung der Sonographiemessung war, beruhte das Setting vor allem auf einer sauberen Messmethodik. Die gemessenen Ergebnisse der Kinder und Jugendlichen können in dieser Arbeit aufgrund von fehlenden detaillierten Informationen endgültig als Fakt betrachtet werden. Es sind letztendlich Tendenzen sichtbar, welche auf Grundlage der möglichen Sonographiemessung durch weitere Studien an diesem Teilnehmerklientel vertieft werden kann. Eine Verblindung wurde nicht durchgeführt. Dies muss als kritisch betrachtet werden. Gerade die Teilnehmer hatten allerdings keinen Einfluss auf die eigene Knorpeldicke. Einzig hätte man beim Untersuchenden eine Verblindung durch eine zweite unabhängige untersuchende Person einführen können. So konnten die Bilder zwar keiner Person persönlich zugeordnet werden allerdings konnte anhand der zeitlichen Abfolge erkannt werden welche Bilder vor und welche nach den Kniebeugen erstellt wurden.

Auch können bezüglich des EQ-5D-Y Fragebogens aufgrund fehlender weiterer Angaben zu den Teilnehmern keine klaren Aussagen getroffen werden. Hier gilt es weitere Forschungsanstrengungen zu unternehmen, um klare Kenntnisse ziehen zu können. Großes Studienpotential zeigen die Daten der VAS. Um klarere Erkenntnisse aus den VAS-Ergebnissen ziehen zu können, müssten neue Studien erstellt werden, welche das persönliche und soziale Umfeld des Befragten mitberücksichtigt.

6.4 Fazit

Die vorliegende Studie verfolgte das Ziel, die Sonographiemessmethodik am medialen Femurkondyl an gesunden, sportlichen Kindern und Jugendlichen zu validieren. Ebenso wurde die Knorpeldicke aller Teilnehmer vor und nach 30 Kniebeugen gemessen, um eine mögliche Reduktion der Knorpeldicke zu erkennen. Weiterhin wurde mittels Fragebögen der Gesundheitszustand der Teilnehmer abgefragt. Alle Teilnehmer gehörten einer Alters-, Geschlechter- und Sportgruppe an, welche miteinander verglichen wurden. Anhand zweier Fragebögen sollten persönliche, emotionale Parameter abgefragt werden. Die Auswertung der Daten, welche an 157 Teilnehmer erhoben wurden, konnte durch eine statistische Analyse die gesuchten Endparameter darlegen. Pandemiebedingt bestand nur eine eingeschränkte Messmöglichkeit, wodurch sich die rekrutierte Teilnehmerzahl auf 157 belief. Die Reliabilitätsprüfung der Sonographiemessung konnte positiv abgeschlossen werden. Das hier überprüfte Sonographiegerät konnte mit der hier angewandten Methodik als valide eingestuft werden. Es zeigte sich, dass das Messinstrument eine sehr hohe Reliabilität ($r=0,99$) aufweist. Weiterhin besitzen männliche Kinder und Jugendliche einen dickeren Knorpel als weibliche (+22,54 %). Während die Karatesportler die größte und die Sportschützen die geringste Knorpeldicke aufzeigten, fanden sich vor allem die Sprint- und Sprungsportarten mittig dazwischen angesiedelt. Tendenziell nahm mit zunehmendem Alter (6- 17J.) die Knorpeldicke ab. Beim Kompressionsverhalten des Knorpels zeigten sich diametrale Ergebnisse. Während es bei den Schützensportlern, Leichtathleten und Kartesportlern zu einer Reduktion kam, (1,30 – 2,60 %), wurde bei Fuß- (3,11 %) und Handballern (2,60 %) ein dickerer Knorpel gemessen.

Zwar konnte eine wie gewünscht ausgeglichene Geschlechterverteilung nicht erreicht werden, doch konnten die Ergebnisse aufzeigen, dass es nach 157 überprüften Teilnehmer (106 männlich und 51 weiblich) zu geschlechtsabhängigen Unterschieden kam. Die schiefe Geschlechterverteilung könnte Rückschlüsse auf die Gesamtpopulation limitieren und wurde deshalb im Diskussionsteil nochmals aufgegriffen. Weiterhin zeigten sich große Unterschiede in der Sportartzugehörigkeit. Diese schwankten von acht bis zu 54 Teilnehmer pro Sportart. Auch wenn es innerhalb dieser Statistik zu keinen Differenzen einzelner Sportarten kam, gilt

es zu bedenken, dass dies ebenso keiner gerechten Verteilung folgt und die Daten sowie Ergebnisse deshalb interpretiert und diskutiert werden mussten.

Das durchschnittliche Alter aller Teilnehmer betrug 12,3 Jahre. Teilnehmer der Sportart Karate waren im Mittel 10,7 Jahre alt. Im Gegensatz dazu erreichten die Sportschützen einen mittleren Altersdurchschnitt von 14,9 Jahren, was auch hier eine große Diskrepanz darstellt.

Ein Vergleich der Mittelwerte vor und nach den Kniebeugen konnte aufgrund des validen Messinstruments erfolgreich durchgeführt werden. Auffällig war hierbei, dass sowohl bei den Fußballern als auch den Handballern höhere Werte nach den Kniebeugen auftraten als zuvor. Diese sind zwar nicht signifikant, stehen allerdings doch den drei anderen Sportarten konträr entgegen. So konnten bei den Sportarten Karate, Leichtathletik und dem Schützensport Reduzierungen der Knorpeldicke erkannt werden. Die gegensätzlichen Ergebnisse wurden im Diskussionsteil nochmals aufgegriffen und diskutiert.

Die Schützensportler im Vergleich zu den anderen Sportarten sowie die Schüler der sonstigen Schulen hatten die größten Schmerzen oder körperlichen Beschwerden angegeben. Besonders die Schüler der elften Klasse hatten auffällige Werte. Ebenso konnten diese bei der Fragestellung bezüglich sich unglücklich, traurig oder besorgt fühlen den schlechtesten Wert aufweisen. Die aktuell empfundene Gesundheit wurde mittels VAS- Skala ermittelt. Hierbei fühlten sich die Schüler der sonstigen Schulen am ungesündesten und die Grundschüler am gesundesten. Die Teilnehmer der elften Klasse fühlten sich am wenigsten gesund, während sich die Schüler der neunten Klasse am besten fühlten. Generell schätzten sich weibliche Teilnehmer als gesünder ein als männliche.

Auffälligkeiten im Bereich der mentalen Situation oder persönlichen Empfindungen des einzelnen Teilnehmers waren nur minimal. Hieraus lassen sich keine spezifischen Arbeitsthesen ableiten.

Es muss darauf hingewiesen werden, dass die hier erzielten Ergebnisse eine erste Arbeit, an gesunden, sportlichen Kindern und Jugendlichen war, welche nicht als allgemeingültig angesehen werden kann. Weitere Studien sollten mit einer Doppelverblindung erfolgen.

Die vorgelegte Studie zur Sonographiediagnostik der Knorpeldicke des medialen Femurkondylus lässt die Schlussfolgerung zu, dass die Sonographiemessung eine als strahlenfreie, gut anwendbare, schnell anwendbare und kostengünstige Alternative zur Beurteilung der Knorpelsituation ist. Da die Validierung der Sonographiemessung positiv ausfiel, lassen sich die Ergebnisse bezüglich der Knorpeldicken statistisch eindeutig einordnen und bewerten.

Bei weiterer positiver Validierung des Sonographiegerätes, etwa durch direkte MRT-Vergleichsmessungen, könnten Veränderung am medialen Femurkondyl frühzeitig erkannt werden, was folgend zu einer früher einsetzbaren und besseren Therapiemöglichkeit führen

kann. Weiterhin kann eine vorzeitige Anwendung zu einer eventuellen Reduzierung einer zukünftigen Arthrose führen, welche sich in diesem Bereich ausbreiten könnte. Es können eventuell weitere Empfehlungen nach Bewertung der Ergebnisse für den Knorpel protektiven Nutzen einzelner Sportarten ausgesprochen werden. Dies bedarf weiterer Forschung und Analysen. Weiterhin muss darauf hingewiesen werden, dass die Ergebnisse dieser Arbeit durch Replikationsstudien bestätigt werden müssen. Die Sonographietechnik ist per se im Bereich des medialen Femurkondylus anwendbar. Zur Untermauerung dieser Arbeit bedarf es weiterer Studien.

Literaturverzeichnis

- Abdi, H. (2007). Bonferroni and Sidak corrections for multiple comparisons. In N. J. Salkind (ed.), *Encyclopedia of Measurement and Statistics* (pp. 103--107). Sage, Thousand Oaks, CA.
- Abraham, A. M., Goff, I., Pearce, M. S., Francis, R. M., & Birrell, F. (2011). Reliability and validity of ultrasound imaging of features of knee osteoarthritis in the community. *BMC musculoskeletal disorders*, 12(1), 1-8.
- Akizuki, S. Mow, V. C. Müller, F. Pita, J. C. Howell, D. S. & Manicourt, D. H. (1986). Tensile properties of human knee joint cartilage: I. Influence of ionic conditions, weight bearing, and fibrillation on the tensile modulus. *Journal of Orthopaedic Research*, 4(4), 379-392.
- Altman, R. Asch, E. Bloch, D. Bole, G. Borenstein, D. Brandt, K. ... & Howell, D. (1986). Development of criteria for the classification and reporting of osteoarthritis: classification of osteoarthritis of the knee. *Arthritis & Rheumatism: Official Journal of the American College of Rheumatology*, 29(8), 1039-1049.
- Altman, R. Alarcon, G. Appelrouth, D. Bloch, D. Borenstein, D. Brandt, K. ... & Greenwald, R. (1990). The American College of Rheumatology criteria for the classification and reporting of osteoarthritis of the hand. *Arthritis & Rheumatism: Official Journal of the American College of Rheumatology*, 33(11), 1601-1610.
- Altman, R. Alarcon, G. Appelrouth, D. Bloch, D. Borenstein, D. Brandt, K. ... & Greenwald, R. (1991). The American College of Rheumatology criteria for the classification and reporting of osteoarthritis of the hip. *Arthritis & Rheumatism: Official Journal of the American College of Rheumatology*, 34(5), 505-514.
- Anderson, D. D. Chubinskaya, S. Guilak, F. Martin, J. A. Oegema, T. R. Olson, S. A. & Buckwalter, J. A. (2011). Post-traumatic osteoarthritis: improved understanding and opportunities for early intervention. *Journal of Orthopaedic Research*, 29(6), 802-809.
- Andrianakos, A. A. Kontelis, L. K. Karamitsos, D. G. Aslanidis, S. I. Georgountzos, A. I. Kaziolas, G. O. ... & ESORDIG Study Group. (2006). Prevalence of symptomatic knee, hand, and hip osteoarthritis in Greece. The ESORDIG study. *The Journal of rheumatology*, 33(12), 2507-2513.
- Archer, C. W. & Francis-West, P. (2003). The chondrocyte. *The international journal of biochemistry & cell biology*, 35(4), 401-404.
- Aspden, R. M. & Hukins, D. W. L. (1990). Stress in collagen fibrils of articular cartilage calculated from their measured orientations. *Matrix*, 9(6), 486-488.
- Ateshian, G. A. & Wang, H. (1995). A theoretical solution for the frictionless rolling contact of cylindrical biphasic articular cartilage layers. *Journal of biomechanics*, 28(11), 1341-1355.

- Athanasίου, K. A. Rosenwasser, M. P. Buckwalter, J. A. Malinin, T. I. & Mow, V. C. (1991). Interspecies comparisons of in situ intrinsic mechanical properties of distal femoral cartilage. *Journal of Orthopaedic Research*, 9(3), 330-340.
- Babayeva, N., Dönmez, G., Özçakar, L., Torgutalp, Ş. Ş., Karaçoban, L., Gedik, E., ... & Doral, M. N. (2021). Mean femoral cartilage thickness is higher in athletes as compared with sedentary individuals. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 29(4), 1206-1214.
- Bader, D. L. & Kempson, G. E. (1994). The short-term compressive properties of adult human articular cartilage. *Bio-medical materials and engineering*, 4(3), 245-256.
- Bergmann, G. Deuretzbacher, G. Heller, M. Graichen, F. Rohlmann, A. Strauss, J. & Duda, G. N. (2001). Hip contact forces and gait patterns from routine activities. *Journal of biomechanics*, 34(7), 859-871.
- Blackburn, J. W. Bernreuter, W. K. Rominger, M. & Loose, L. L. (1994). Arthroscopic evaluation of knee articular cartilage: a comparison with plain radiographs and magnetic resonance imaging. *The Journal of rheumatology*, 21(4), 675-679.
- Blanz, M. (2015). Gütekriterien von Testverfahren (Kap. 9.3). *Forschungsmethoden und Statistik für die Soziale Arbeit. Grundlagen und Anwendungen*. Stuttgart: Kohlhammer, 255-9.
- Blumberg, B. Cooper, D. R. & Schindler, P. S. (2005). *Business Research Methods*. Berkshire: McGrawHill Education.
- Boocock, M., McNair, P., Cicuttini, F., Stuart, A., & Sinclair, T. (2009). The short-term effects of running on the deformation of knee articular cartilage and its relationship to biomechanical loads at the knee. *Osteoarthritis and cartilage*, 17(7), 883-890.
- Bhosale, A. M., & Richardson, J. B. (2008). Articular cartilage: structure, injuries and review of management. *British medical bulletin*, 87(1), 77-95.
- Bös, K. (1987). *Handbuch sportmotorischer Tests*. Verlag für Psychologie, Hogrefe.
- Bös, K. (2003). Motorische Leistungsfähigkeit von Kindern und Jugendlichen. In W. Schmidt, I. Hartmann-Tews & W.-D. Brettschneider (Hrsg.), *Erster Deutscher Kinder- und Jugendsportbericht* (S. 85-108). Schorndorf: Hofmann.
- Brandlmaier, I. Rudisch, A. Bodner, G. Bertram, S. & Emshoff, R. (2003). Temporomandibular joint internal derangement: detection with 12· 5 MHz ultrasonography. *Journal of oral rehabilitation*, 30(8), 796-801.
- Brooks R. (1996). EuroQol: the current state of play. *Health policy (Amsterdam, Netherlands)*, 37(1), 53–72. [https://doi.org/10.1016/0168-8510\(96\)00822-6](https://doi.org/10.1016/0168-8510(96)00822-6)
- Brosius, F. (2012). *SPSS 20 für Dummies*. John Wiley & Sons.
- Bruckner, P. & van der Rest, M. (1994). Structure and function of cartilage collagens. *Microscopy research and technique*, 28(5), 378-384.

- Buckland-Wright C. (1995). Protocols for precise radio-anatomical positioning of the tibiofemoral and patellofemoral compartments of the knee. *Osteoarthritis and cartilage*, 3 Suppl A, 71–80.
- Bundesamt für Strahlenschutz: <https://www.bfs.de/DE/themen/ion/anwendung-medizin/diagnostik/alternativ/Sonographie.html> abgerufen am 22.12.2022,
- Burström, K. Svartengren, M. & Egmar, A. C. (2011). Testing a Swedish child-friendly pilot version of the EQ-5D instrument—initial results. *European Journal of Public Health*, 21(2), 178-183.
- Buschmann, M. D. Hunziker, E. B. Kim, Y. J. & Grodzinsky, A. J. (1996). Altered aggrecan synthesis correlates with cell and nucleus structure in statically compressed cartilage. *Journal of Cell Science*, 109(2), 499-508.
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC) (1995). Prevalence and impact of arthritis among women--United States, 1989-1991. *mmWR. Morbidity and mortality weekly report*, 44(17), 329–334.
- Chakrabarty, S. N. (2013). Best split-half and maximum reliability. *IOSR Journal of Research & Method in Education*, 3(1), 1-8.
- Chen, C., Tambe, D. T., Deng, L., & Yang, L. (2013). Biomechanical properties and mechanobiology of the articular chondrocyte. *American Journal of Physiology-Cell Physiology*, 305(12), C1202-C1208.
- Cheng, Y. Macera, C. A. Davis, D. R. Ainsworth, B. E. Troped, P. J. & Blair, S. N. (2000). Physical activity and self-reported, physician-diagnosed osteoarthritis: is physical activity a risk factor? *Journal of clinical epidemiology*, 53(3), 315-322.
- Cicuttini, F. Forbes, A. Morris, K. Darling, S. Bailey, M. & Stuckey, S. (1999). Gender differences in knee cartilage volume as measured by magnetic resonance imaging. *Osteoarthritis and Cartilage*, 7(3), 265-271.
- Cohen, Z. A. McCarthy, D. M. Kwak, S. D. Legrand, P. Fogarasi, F. Ciaccio, E. J. & Ateshian, G. A. (1999). Knee cartilage topography, thickness, and contact areas from MRI: in-vitro calibration and in-vivo measurements. *Osteoarthritis and cartilage*, 7(1), 95-109.
- Cortina, J. M. (1993). What is coefficient alpha? An examination of theory and applications. *Journal of applied psychology*, 78(1), 98.
- Culvenor, A. G., Wirth, W., Maschek, S., Boeth, H., Diederichs, G., Duda, G., & Eckstein, F. (2017). Longitudinal change in patellofemoral cartilage thickness, cartilage T2 relaxation times, and subchondral bone plate area in adolescent vs mature athletes. *European journal of radiology*, 92, 24-29.
- Dale, L. P., Vanderloo, L., Moore, S., & Faulkner, G. (2019). Physical activity and depression, anxiety, and self-esteem in children and youth: An umbrella systematic review. *Mental Health and Physical Activity*, 16, 66-79.

- Darling, E. M., Pritchett, P. E., Evans, B. A., Superfine, R., Zauscher, S., & Guilak, F. (2009). Mechanical properties and gene expression of chondrocytes on micropatterned substrates following dedifferentiation in monolayer. *Cellular and molecular bioengineering*, 2(3), 395-404.
- Dijkgraaf, L. C. de Bont, L. G. Boering, G. & Liem, R. S. (1995). Normal cartilage structure, biochemistry, and metabolism: a review of the literature. *Journal of oral and maxillofacial surgery*, 53(8), 924-929.
- Downing, S. M. (2004). Reliability: on the reproducibility of assessment data. *Medical education*, 38(9), 1006-1012.
- Döring, N., & Bortz, J. (2016). *Forschungsmethoden und Evaluation*. Wiesbaden: Springer-Verlag.
- Drawer, S., & Fuller, C. W. (2001). Propensity for osteoarthritis and lower limb joint pain in retired professional soccer players. *British journal of sports medicine*, 35(6), 402-408.
- Dudhia, J. (2005). Aggrecan, aging and assembly in articular cartilage. *Cellular and Molecular Life Sciences CMLS*, 62(19-20), 2241-2256.
- Eckstein, P. P. (2006). *Angewandte Statistik mit SPSS: Praktische Einführung für Wirtschaftswissenschaftler*. Springer-Verlag.
- Eckstein, F. Westhoff, J. Sittek, H. Maag, K. P. Haubner, M. Faber, S. ... & Reiser, M. (1998). In vivo reproducibility of three-dimensional cartilage volume and thickness measurements with MR imaging. *AJR. American journal of roentgenology*, 170(3), 593-597.
- Eckstein, F. Tieschky, M. Faber, S. Englmeier, K. H. & Reiser, M. (1999). Functional analysis of articular cartilage deformation, recovery, and fluid flow following dynamic exercise in vivo. *Anatomy and embryology*, 200(4), 419-424.
- Eckstein, F., Lemberger, B., Stammberger, T., Englmeier, K. H., & Reiser, M. (2000). Patellar cartilage deformation in vivo after static versus dynamic loading. *Journal of biomechanics*, 33(7), 819-825.
- Eckstein, F. Winzheimer, M. Hohe, J. Englmeier, K. H. & Reiser, M. (2001). Interindividual variability and correlation among morphological parameters of knee joint cartilage plates: analysis with three-dimensional MR imaging. *Osteoarthritis and Cartilage*, 9(2), 101-111.
- Eckstein, F. Reiser, M. Englmeier, K. H. & Putz, R. (2001). In vivo morphometry and functional analysis of human articular cartilage with quantitative magnetic resonance imaging—from image to data, from data to theory. *Anatomy and embryology*, 203(3), 147-173.
- Eckstein, F. Heudorfer, L. Faber, S. C. Burgkart, R. Englmeier, K. H. & Reiser, M. (2002). Long-term and resegmentation precision of quantitative cartilage MR imaging (qMRI). *Osteoarthritis and cartilage*, 10(12), 922-928.

- Eckstein, F. Faber, S. Mühlbauer, R. Hohe, J. Englmeier, K. H. Reiser, M. & Putz, R. (2002). Functional adaptation of human joints to mechanical stimuli. *Osteoarthritis and cartilage*, 10(1), 44-50.
- Eckstein, F. Lemberger, B. Gratzke, C. Hudelmaier, M. Glaser, C. Englmeier, K. H. & Reiser, M. (2005). In vivo cartilage deformation after different types of activity and its dependence on physical training status. *Annals of the rheumatic diseases*, 64(2), 291–295.
- Eckstein, F. Hudelmaier, M. & Putz, R. (2006). The effects of exercise on human articular cartilage. *Journal of anatomy*, 208(4), 491–512. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7580.2006.00546.x>
- Eckstein, F., Boeth, H., Diederichs, G., Wirth, W., Hudelmaier, M., Cotofana, S., ... & Duda, G. (2014). Longitudinal change in femorotibial cartilage thickness and subchondral bone plate area in male and female adolescent vs. mature athletes. *Annals of Anatomy-Anatomischer Anzeiger*, 196(2-3), 150-157.
- Eime, R. M. Young, J. A. Harvey, J. T. Charity, M. J. & Payne, W. R. (2013). A systematic review of the psychological and social benefits of participation in sport for children and adolescents: informing development of a conceptual model of health through sport. *International journal of behavioral nutrition and physical activity*, 10(1), 1-21.
- Ellert, U. Ravens-Sieberer, U. Erhart, M. & Kurth, B. M. (2011). Determinants of agreement between self-reported and parent-assessed quality of life for children in Germany-results of the German Health Interview and Examination Survey for Children and Adolescents (KiGGS). *Health and quality of life outcomes*, 9(1), 1-11.
- Emshoff, R. Brandlmaier, I. Bertram, S. & Rudisch, A. (2003). Relative odds of temporomandibular joint pain as a function of magnetic resonance imaging findings of internal derangement, osteoarthrosis, effusion, and bone marrow edema. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 95(4), 437-445.
- Faber, S. C. Eckstein, F. Lukasz, S. Mühlbauer, R. Hohe, J. Englmeier, K. H. & Reiser, M. (2001). Gender differences in knee joint cartilage thickness, volume, and articular surface areas: assessment with quantitative three-dimensional MR imaging. *Skeletal radiology*, 30(3), 144-150.
- Federico, S. Grillo, A. La Rosa, G. Giaquinta, G. & Herzog, W. (2005). A transversely isotropic, transversely homogeneous microstructural-statistical model of articular cartilage. *Journal of biomechanics*, 38(10), 2008-2018.
- Fischer, A. E. Carpenter, T. A. Tyler, J. A. & Hall, L. D. (1995). Visualisation of mass transport of small organic molecules and metal ions through articular cartilage by magnetic resonance imaging. *Magnetic resonance imaging*, 13(6), 819-826.

- Florkow, M. C. Willemsen, K. Mascarenhas, V. V. Oei, E. H. G. van Stralen, M. & Seevinck, P. R. (2022). Magnetic Resonance Imaging Versus Computed Tomography for Three-Dimensional Bone Imaging of Musculoskeletal Pathologies: A Review. *Journal of magnetic resonance imaging: JMRI*, 56(1), 11–34. <https://doi.org/10.1002/jmri.28067>
- Foley, S., Ding, C., Cicuttini, F., & Jones, G. (2007). Physical activity and knee structural change: a longitudinal study using MRI. *Medicine and science in sports and exercise*, 39(3), 426–434. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e31802d97c6>
- Ford, C. A., Nowlan, N. C., Thomopoulos, S., & Killian, M. L. (2017). Effects of imbalanced muscle loading on hip joint development and maturation. *Journal of Orthopaedic Research*, 35(5), 1128-1136.
- Freiwald, J., & Greiwing, A. (2016). Optimales Krafttraining. Sport-Prävention-Rehabilitation. Spitta, Balingen.
- Frost, H. M. (1964). The Laws of Bone Structure. Springfield IL. *Charles C. Thomas*.
- Fuchs, J. Kuhnert, R. & Scheidt-Nave, C. (2017). 12-Monats-Prävalenz von Arthrose in Deutschland.
- Gatti, A. A. Noseworthy, M. D. Stratford, P. W. Brenneman, E. C. Totterman, S. Tamez-Peña, J. & Maly, M. R. (2017). Acute changes in knee cartilage transverse relaxation time after running and bicycling. *Journal of biomechanics*, 53, 171–177. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2017.01.017>
- Gevantmakher, M. & Meinel, C. (2004). *Medizinische Bildverarbeitung: eine Übersicht*. Univ. Mathematik, Informatik.
- Giroto, N., Hespanhol Junior, L. C., Gomes, M. R. C., & Lopes, A. D. (2017). Incidence and risk factors of injuries in Brazilian elite handball players: A prospective cohort study. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 27(2), 195-202.
- Glaser, C. & Putz, R. (2002). Functional anatomy of articular cartilage under compressive loading Quantitative aspects of global, local and zonal reactions of the collagenous network with respect to the surface integrity. *Osteoarthritis and cartilage*, 10(2), 83-99.
- Gómez-Bruton, A. Matute-Llorente, Á. González-Agüero, A. Casajús, J. A. & Vicente-Rodríguez, G. (2017). Plyometric exercise and bone health in children and adolescents: a systematic review. *World Journal of Pediatrics*, 13(2), 112-121.
- Graf, J. M. Claes, C. Greiner, W. & Uber, A. (1998). Die deutsche version des EuroQol-Fragebogens. *Zeitschrift für Gesundheitswissenschaften= Journal of public health*, 6(1), 3-20.
- Graichen, H. Springer, V. Flaman, T. Stammberger, T. Glaser, C. Englmeier, K. H. ... & Eckstein, F. (2000). Validation of high-resolution water-excitation magnetic resonance imaging for quantitative assessment of thin cartilage layers. *Osteoarthritis and cartilage*, 8(2), 106-114.

- Graziano, A. M. & Raulin, M. L. (2006). *Research Methods: A Process of Inquiry* (6th Ed.). Boston, MA: Allyn & Bacon.
- Group, T. E. (1990). EuroQol-a new facility for the measurement of health-related quality of life. *Health policy*, 16(3), 199-208.
- Gruber, G. Schamberger, C. & Konermann, W. (2018). *Sonografie in Orthopädie, Unfallchirurgie und Rheumatologie: Aktuelle Standardschnittebenen der DEGUM*. Springer-Verlag.
- Guilak, F. Ratcliffe, A. & Mow, V. C. (1995). Chondrocyte deformation and local tissue strain in articular cartilage: a confocal microscopy study. *Journal of Orthopaedic Research*, 13(3), 410-421.
- Hall, A. C. Bush, P. G. Davidson, M. E. B. & Kempson, S. A. (2003). Equine articular cartilage chondrocytes: opening the black box. *Equine veterinary journal*, 35(5), 425-428.
- Hall, B. K. (2005). *Bones and cartilage: developmental and evolutionary skeletal biology*. Elsevier.
- Hartung, J. Elpelt, B. & Klösener, K. H. (2009). *Statistik. Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik*. 15. Aufl. Oldenburg Wissenschaftsverlag, München, Deutschland.
- Hecht, J. Stricker, S. Wiecha, U. Stiege, A. Panopoulou, G. Podsiadlowski, L. ... & Mundlos, S. (2008). Evolution of a core gene network for skeletogenesis in chordates. *PLoS Genet*, 4(3), e1000025.
- Hedlund, H. Mengarelli-Widholm, S. I. L. W. A. Reinholt, F. P. & Svensson, O. (1993). Stereologic studies on collagen in bovine articular cartilage. *Apmis*, 101(1-6), 133-140.
- Heidari B. (2011). Knee osteoarthritis prevalence, risk factors, pathogenesis, and features: Part I. *Caspian journal of internal medicine*, 2(2), 205–212.
- Heijink, A., Gomoll, A. H., Madry, H., Drobnič, M., Filardo, G., Espregueira-Mendes, J., & Van Dijk, C. N. (2012). Biomechanical considerations in the pathogenesis of osteoarthritis of the knee. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 20(3), 423-435.
- Hennig, E., & Podzielný, S. (1994). Die Auswirkungen von Dehn- und Aufwärmübungen auf die Vertikalsprungleistung. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 45(6), 253-260.
- Herberhold, C. Faber, S. Stammberger, T. Steinlechner, M. Putz, R. Englmeier, K. H. ... & Eckstein, F. (1999). In situ measurement of articular cartilage deformation in intact femoropatellar joints under static loading. *Journal of biomechanics*, 32(12), 1287-1295.
- Hinterwimmer, S., Krammer, M., Krötz, M., Glaser, C., Baumgart, R., Reiser, M., & Eckstein, F. (2004). Cartilage atrophy in the knees of patients after seven weeks of partial load bearing. *Arthritis & Rheumatism: Official Journal of the American College of Rheumatology*, 50(8), 2516-2520.
- Hinterwimmer, S., Feucht, M. J., Steinbrech, C., Graichen, H., & von Eisenhart-Rothe, R. (2014). The effect of a six-month training program followed by a marathon run on knee

- joint cartilage volume and thickness in marathon beginners. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 22(6), 1353-1359.
- Hirsch, R. Guralnik, J. M. Ling, S. M. Fried, L. P. & Hochberg, M. C. (2000). The patterns and prevalence of hand osteoarthritis in a population of disabled older women: The Women's Health and Aging Study. *Osteoarthritis and cartilage*, 8, S16-S21.
- Hohe, J. Ateshian, G. Reiser, M. Englmeier, K. H. & Eckstein, F. (2002). Surface size, curvature analysis, and assessment of knee joint incongruity with MRI in vivo. *Magnetic Resonance in Medicine: An Official Journal of the International Society for Magnetic Resonance in Medicine*, 47(3), 554-561.
- Holowka, N. B. Wallace, I. J. Mathiessen, A. Mang'eni Ojiambo, R. Okutoyi, P. Worthington, S. & Lieberman, D. E. (2021). Urbanization and Knee Cartilage Growth Among Children and Adolescents in Western Kenya. *ACR open rheumatology*, 3(11), 765-770.
- Huang, C. Y. Soltz, M. A. Kopacz, M. Mow, V. C. & Ateshian, G. A. (2003). Experimental verification of the roles of intrinsic matrix viscoelasticity and tension-compression nonlinearity in the biphasic response of cartilage. *Journal of biomechanical engineering*, 125(1), 84-93.
- Hunziker, E. B. Quinn, T. M. & Häuselmann, H. J. (2002). Quantitative structural organization of normal adult human articular cartilage. *Osteoarthritis and Cartilage*, 10(7), 564-572.
- Hyhlik-Dürr, A. Faber, S. Burgkart, R. Stammberger, T. Maag, K. P. Englmeier, K. H. ... & Eckstein, F. (2000). Precision of tibial cartilage morphometry with a coronal water-excitation MR sequence. *European radiology*, 10(2), 297-303.
- Jeffery, A. K. Blunn, G. W. Archer, C. W. & Bentley, G. (1991). Three-dimensional collagen architecture in bovine articular cartilage. *The Journal of bone and joint surgery. British volume*, 73(5), 795-801.
- Jelsma, J. (2010). A comparison of the performance of the EQ-5D and the EQ-5D-Y health-related quality of life instruments in South African children. *International Journal of Rehabilitation Research*, 33(2), 172-177.
- Jelsma, J. & Ramma, L. (2010). How do children at special schools and their parents perceive their HRQoL compared to children at open schools?. *Health and Quality of Life Outcomes*, 8(1), 1-7.
- Jones, G. Glisson, M. Hynes, K. & Cicuttini, F. (2000). Sex and site differences in cartilage development: a possible explanation for variations in knee osteoarthritis in later life. *Arthritis & Rheumatism: Official Journal of the American College of Rheumatology*, 43(11), 2543-2549.
- Jones, G. Bennell, K. & Cicuttini, F. M. (2003). Effect of physical activity on cartilage development in healthy kids. *British journal of sports medicine*, 37(5), 382-383.

- Karanfil, Y., Babayeva, N., Dönmez, G., Diren, H. B., Eryilmaz, M., Doral, M. N., & Korkusuz, F. (2019). Thirty minutes of running exercise decreases T2 signal intensity but not thickness of the knee joint cartilage: A 3.0-T magnetic resonance imaging study. *Cartilage*, 10(4), 444-450.
- Kääb, M. J. Ap Gwynn, I. & Nötzli, H. P. (1998). Collagen fibre arrangement in the tibial plateau articular cartilage of man and other mammalian species. *The Journal of Anatomy*, 193(1), 23-34.
- Kellgren, J. H. & Lawrence, J. S. (1957). Radiological assessment of osteo-arthritis. *Annals of the rheumatic diseases*, 16(4), 494.
- Kellgren, J. H. (1963). Epidemiology of chronic rheumatism. *Atlas of standard radiographs of arthritis*.
- Kerin, A. Patwari, P. Kuettner, K. Cole, A. & Grodzinsky, A. (2002). Molecular basis of osteoarthritis: biomechanical aspects. *Cellular and Molecular Life Sciences CMLS*, 59(1), 27-35.
- Kim, Y. J. Bonassar, L. J. & Grodzinsky, A. J. (1995). The role of cartilage streaming potential, fluid flow and pressure in the stimulation of chondrocyte biosynthesis during dynamic compression. *Journal of biomechanics*, 28(9), 1055-1066.
- Kitai, N. Kreiborg, S. Murakami, S. Bakke, M. Møller, E. Darvann, T. A. & Takada, K. (2002). A three-dimensional method of visualizing the temporomandibular joint based on magnetic resonance imaging in a case of juvenile chronic arthritis. *International Journal of Paediatric Dentistry*, 12(2), 109-115.
- Koletzko, B. K. (2007). *Jugendmedizin*. 13. Auflg.
- Komori, T. (2010). Regulation of bone development and extracellular matrix protein genes by RUNX2. *Cell and tissue research*, 339(1), 189-195.
- Korsten-Reck, U., & Schneider, A. (2005). In kleinen Schritten zum bewussten Umgang mit dem Körper. *Pädiatrie hautnah*, 4, 197-199.
- Krasnokutsky, S. Samuels, J. & Abramson, S. B. (2007). Osteoarthritis in 2007. *Bulletin-Hospital for joint diseases New York*, 65(3), 222.
- Kreimeier, S. & Greiner, W. (2019). Entwicklung der deutschen Version des EQ-5D-Y-5L zur Messung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität bei Kindern und Jugendlichen: Identifikation von Antwortformulierungen und Pilotierung. *Zeitschrift für Evidenz, Fortbildung und Qualität im Gesundheitswesen*, 144, 24-34.
- Kuettner, K. E. (1992). Biochemistry of articular cartilage in health and disease. *Clinical biochemistry*, 25(3), 155-163.
- Kuettner, K. E. & Cole, A. A. (2005). Cartilage degeneration in different human joints. *Osteoarthritis and cartilage*, 13(2), 93-103.

- Kunz, M., Williams, A., McKenzie, C., Burstein, D., & Eckstein, F. (2005). No prolonged deformation of knee joint cartilage after the Boston marathon. *Osteoarthritis Cartilage*, 13(Suppl 1), S124.
- Laasanen, M. S. Töyräs, J. Vasara, A. I. Hyttinen, M. M. Saarakkala, S. Hirvonen, J. ... & Kiviranta, I. (2003). Mechano-acoustic diagnosis of cartilage degeneration and repair. *JBJS*, 85(suppl_2), 78-84.
- Lentze, M. J. Schaub, J. Schulte, F. J. & Spranger, J. (Eds.). (2013). *Pädiatrie: Grundlagen und Praxis*. Springer-Verlag.
- Lequesne, M. G. Dang, N. & Lane, N. E. (1997). Sport practice and osteoarthritis of the limbs. *Osteoarthritis and cartilage*, 5(2), 75-86.
- Lethbridge-Çejku, M. Scott Jr, W. W. Reichle, R. Ettinger, W. H. Zonderman, A. Costa, P. ... & Hochberg, M. C. (1995). Association of radiographic features of osteoarthritis of the knee with knee pain: data from the Baltimore Longitudinal Study of Aging. *Arthritis & Rheumatism: Official Journal of the American College of Rheumatology*, 8(3), 182-188.
- Lienert, G. A. & Raatz, U. (1998). *Testaufbau und Testanalyse*.
- Liess, C. Lüsse, S. Karger, N. Heller, M. & Glüer, C. C. (2002). Detection of changes in cartilage water content using MRI T2-mapping in vivo. *Osteoarthritis and cartilage*, 10(12), 907-913.
- Liphardt, A. M. Mündermann, A. Koo, S. Bäcker, N. Andriacchi, T. P. Zange, J. ... & Heer, M. (2009). Vibration training intervention to maintain cartilage thickness and serum concentrations of cartilage oligomeric matrix protein (COMP) during immobilization. *Osteoarthritis and cartilage*, 17(12), 1598-1603.
- March, L. M. & Bachmeier, C. J. (1997). 10 Economics of osteoarthritis: a global perspective. *Baillière's clinical rheumatology*, 11(4), 817-834.
- Mauck, R. L. Wang, C. B. Oswald, E. S. Ateshian, G. A. & Hung, C. T. (2003). The role of cell seeding density and nutrient supply for articular cartilage tissue engineering with deformational loading. *Osteoarthritis and cartilage*, 11(12), 879-890.
- Melzer, W., Bilz, L., & Dümmler, K. (2008). Mobbing und Gewalt in der Schule im Kontext sozialer Ungleichheit. In *Gesundheit, Ungleichheit und jugendliche Lebenswelten. Ergebnisse der zweiten internationalen Vergleichsstudie im Auftrag der Weltgesundheitsorganisation WHO* (pp. 116-140). Juventa.
- Meng, T. Venn, A. Eckstein, F. Wirth, W. Cicuttini, F. March, L. ... Antony, B. (2019). Association of adiposity measures in childhood and adulthood with knee cartilage thickness, volume and bone area in young adults. *International Journal of Obesity*, 43(7), 1411–1421. <https://doi.org/10.1038/s41366-018-0234-7>.

- Migliorini, F., Marsilio, E., Torsiello, E., Pintore, A., Oliva, F., & Maffulli, N. (2022). Osteoarthritis in Athletes Versus Nonathletes: A Systematic Review. *Sports Medicine and Arthroscopy Review*, 30(2), 78-86.
- Miles, J. & Shevlin, M. (2001). *Applying regression and correlation: A guide for students and researchers*. Sage.
- Mitchell, P. K., Moffit, T. J., Montgomery, M. M., & Pamukoff, D. N. (2022). Running kinetics and femoral trochlea cartilage characteristics in recreational and collegiate distance runners. *Journal of Sports Sciences*, 40(1), 89-95.
- Mühlbauer, R. Lukasz, S. Faber, S. Stammberger, T. & Eckstein, F. (2000). Comparison of knee joint cartilage thickness in triathletes and physically inactive volunteers based on magnetic resonance imaging and three-dimensional analysis. *The American journal of sports medicine*, 28(4), 541-546.
- Müller-Gerbl, M. Schulte, E. & Putz, R. (1987). The thickness of the calcified layer of articular cartilage: a function of the load supported?. *Journal of anatomy*, 154, 103–111.
- Montgomery, D. C. (2017). *Design and analysis of experiments*. John Wiley & sons.
- Morgenroth, A. (2020). Erprobung und Validierung einer für die Anwendung bei Kindern und Jugendlichen geeigneten Version des EQ-5D-Fragebogens zur Messung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität (Doctoral dissertation, Dissertation, Greifswald, Universität Greifswald, 2020).
- Morschitzky, H. (2009). *Diagnostik, Konzepte, Therapie, Selbsthilfe*.
- Mosher, T. J. Smith, H. E. Collins, C. Liu, Y. Hancy, J. Dardzinski, B. J. & Smith, M. B. (2005). Change in knee cartilage T2 at MR imaging after running: a feasibility study. *Radiology*, 234(1), 245-249.
- Mosher, T. J. Liu, Y. & Torok, C. M. (2010). Functional cartilage MRI T2 mapping: evaluating the effect of age and training on knee cartilage response to running. *Osteoarthritis and cartilage*, 18(3), 358-364.
- Mow, V. C. (1997). Structure and function of articular cartilage and meniscus. *Basic orthopaedic biomechanics*, 31-58.
- Muir, H. Bullough, P. & Maroudas, A. (1970). The distribution of collagen in human articular cartilage with some of its physiological implications. *The Journal of bone and joint surgery. British volume*, 52(3), 554-563.
- Nah, G. S. S. Lim, Z. W. Tay, B. H. Osato, M. & Venkatesh, B. (2014). Runx family genes in a cartilaginous fish, the elephant shark (*Callorhynchus milii*). *PloS one*, 9(4), e93816.
- Nehrer, S., & Neubauer, M. (2021). Möglichkeiten und Grenzen der konservativen Therapie der Arthrose: Sportberatung, Trainingstherapie, Orthesen und Knorpeltherapeutika [Possibilities and limits of conservative treatment for osteoarthritis : Sport advice, training therapy, orthotics and cartilage therapeutics]. *Der Orthopade*, 50(5), 346–355.

- Nesse, R. M. (1994). Fear and fitness: An evolutionary analysis of anxiety disorders. *Ethology and sociobiology*, 15(5-6), 247-261.
- Ni, G. X., Zhou, Y. Z., Chen, W., Xu, L., Li, Z., Liu, S. Y., ... & Zhan, L. Q. (2016). Different responses of articular cartilage to strenuous running and joint immobilization. *Connective tissue research*, 57(2), 143-151.
- O'Kane, J. W., Hutchinson, E., Atley, L. M. & Eyre, D. R. (2006). Sport-related differences in biomarkers of bone resorption and cartilage degradation in endurance athletes. *Osteoarthritis and cartilage*, 14(1), 71-76.
- Omelianenko, N. P. (1991). A quantitative analysis of the ultrastructural organization of extracellular components in human articular cartilage. *Clinical orthopaedics and related research*, (266), 34-41.
- Orley, J. & Kuyken, W. (1994). *Quality of life assessment: international perspectives* (pp. 41-60). Berlin: Springer-Verlag.
- Pauwels, F. (1965). *Gesammelte Abhandlungen zur Biomechanik des Bewegungsapparates* Springer. Berlin Heidelberg New York.
- Pauwels, F. (2012). *Biomechanics of the locomotor apparatus: contributions on the functional anatomy of the locomotor apparatus*. Springer Science & Business Media.
- Peterfy, C. G., Majumdar, S., Lang, P., Van Dijke, C. F., Sack, K. & Genant, H. K. (1994). MR imaging of the arthritic knee: improved discrimination of cartilage, synovium, and effusion with pulsed saturation transfer and fat-suppressed T1-weighted sequences. *Radiology*, 191(2), 413-419.
- Peterson, L. & Cole, B. (2007). Cartilage repair strategies (pp. 37-53). R. J. Williams (Ed.). Totowa: Humana Press.
- Pfister, B. E., Aydelotte, M. B., Burkhart, W., Kuettner, K. E. & Schmid, T. M. (2001). Del1: a new protein in the superficial layer of articular cartilage. *Biochemical and biophysical research communications*, 286(2), 268-273.
- Pineda, C., Vargas, A. & Rodríguez, A. V. (2006). Imaging of osteomyelitis: current concepts. *Infectious Disease Clinics*, 20(4), 789-825.
- Pocock, N. A., Eisman, J. A., Hopper, J. L., Yeates, M. G., Sambrook, P. N. & Eberl, S. (1987). Genetic determinants of bone mass in adults. A twin study. *The Journal of clinical investigation*, 80(3), 706-710.
- Poitras, V. J., Gray, C. E., Borghese, M. M., Carson, V., Chaput, J. P., Janssen, I. ... & Tremblay, M. S. (2016). Systematic review of the relationships between objectively measured physical activity and health indicators in school-aged children and youth. *Applied physiology, nutrition, and metabolism*, 41(6), S197-S239.
- Ponssa, M. L., & Abdala, V. (2016). Phenotypical expression of reduced mobility during limb ontogeny in frogs: the knee-joint case. *PeerJ*, 4, e1730.

- Poole, C. A. Gilbert, R. T. Herbage, D. & Hartmann, D. J. (1997). Immunolocalization of type IX collagen in normal and spontaneously osteoarthritic canine tibial cartilage and isolated chondrons. *Osteoarthritis and Cartilage*, 5(3), 191-204.
- Putz, R. & Fischer, H. (1993). Altersunterschiede der Anordnung der kollagenen Fasern im Gelenkknorpel. In *Osteologie aktuell VII* (pp. 42-44). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Racunica, T. L. Teichtahl, A. J. Wang, Y. Wluka, A. E. English, D. R. Giles, G. G. O'Sullivan, R. & Cicuttini, F. M. (2007). Effect of physical activity on articular knee joint structures in community-based adults. *Arthritis and rheumatism*, 57(7), 1261–1268. <https://doi.org/10.1002/art.22990>.
- Radoschewski, M. (2000). Gesundheitsbezogene Lebensqualitätskonzepte und maÙe. *Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz*, 43(3), 165-189.
- Rauber, A. & Kopsch, F. (1987). Anatomie des Menschen, Band III, Nervensystem, Sinnesorgane. *Anatomic des Menschen. Stuttgart: Georg Thieme Verlag*, 273-6.
- Ravens-Sieberer, U. Theiling, S. & Bullinger, M. (1998). Subjektive Gesundheit bei chronisch kranken Kindern und Jugendlichen die Patienten-und die Elternsichtweise. *Medizinische Psychologie in einem sich wandelnden Gesundheitssystem: Identität, Integration & Interdisziplinarität*. Lengerich: Pabst Verlag.
- Ravens-Sieberer, U. (2000). Verfahren zur Erfassung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität bei Kindern und Jugendlichen Ein Überblick. *Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz*, 43(3), 198-209.
- Ravens-Sieberer, U. Bettge, S. & Erhart, M. (2003). Lebensqualität von Kindern und Jugendlichen–Ergebnisse aus der Pilotphase des Kinder-und Jugendgesundheits surveys. *Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz*, 46(4), 340-345.
- Ravens-Sieberer, U. Wille, N. Badia, X. Bonsel, G. Burström, K. Cavrini, G. ... & Greiner, W. (2010). Feasibility, reliability, and validity of the EQ-5D-Y: results from a multinational study. *Quality of life research*, 19(6), 887-897.
- Ravens-Sieberer, U., Kaman, A., Erhart, M., Otto, C., Devine, J., Löffler, C., Hurrelmann, K., Bullinger, M., Barkmann, C., Siegel, N. A., Simon, A. M., Wieler, L. H., Schlack, R., & Hölling, H. (2021). Quality of life and mental health in children and adolescents during the first year of the COVID-19 pandemic: results of a two-wave nationwide population-based study. *European child & adolescent psychiatry*, 1–14. Advance online publication. <https://doi.org/10.1007/s00787-021-01889-1>
- Recht, M. P. Kramer, J. Marcelis, S. Pathria, M. N. Trudell, D. Haghighi, P. ... & Resnick, D. (1993). Abnormalities of articular cartilage in the knee: analysis of available MR techniques. *Radiology*, 187(2), 473-478.

- Reginster, J. Y. & Khaltaev, N. G. (2002). Introduction and WHO perspective on the global burden of musculoskeletal conditions. *Rheumatology*, 41(suppl_1), 1-2.
- Riecke, B. F., Christensen, R., Torp-Pedersen, S., Boesen, M., Gudbergesen, H., & Bliddal, H. (2014). An ultrasound score for knee osteoarthritis: a cross-sectional validation study. *Osteoarthritis and Cartilage*, 22(10), 1675-1691.
- Robben, S. G. F. (2004). Ultrasonography of musculoskeletal infections in children. *European Radiology Supplements*, 14(4), L65-L77.
- Roberts, H. M., Moore, J. P., Griffith-McGeever, C. L., Fortes, M. B., & Thom, J. M. (2016). The effect of vigorous running and cycling on serum COMP, lubricin, and femoral cartilage thickness: a pilot study. *European journal of applied physiology*, 116(8), 1467-1477.
- Roos, H., Lindberg, H., Gärdsell, P., Lohmander, L. S., & Wingstrand, H. (1994). The prevalence of gonarthrosis and its relation to meniscectomy in former soccer players. *The American journal of sports medicine*, 22(2), 219-222.
- Roos, E. M. & Dahlberg, L. (2004). Physical activity as medication against arthrosis--training has a positive effect on the cartilage. *Lakartidningen*, 101(25), 2178-2181.
- Rubin, E. B., Mazzoli, V., Black, M. S., Young, K., Desai, A. D., Koff, M. F., ... & Gold, G. E. (2021). Effects of the Competitive Season and Off-Season on Knee Articular Cartilage in Collegiate Basketball Players Using Quantitative MRI: A Multicenter Study. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, 54(3), 840-851.
- Rudisch, A., Emshoff, R., Maurer, H., Kovacs, P. & Bodner, G. (2006). Pathologic-sonographic correlation in temporomandibular joint pathology. *European radiology*, 16(8), 1750-1756.
- Sachs, L. & Hedderich, J. (2006). Statistik: Angewandte Statistik.
- Saxena, R. K. Sahay, K. B. & Guha, S. K. (1991). Morphological changes in the bovine articular cartilage subjected to moderate and high loadings. *Cells Tissues Organs*, 142(2), 152-157.
- Schaefer, J. F. & Kramer, U. (2011). Whole-body MRI in children and juveniles; Ganzkoerper-MRT bei Kindern und Jugendlichen.
- Schinagl, R. M. Gurskis, D. Chen, A. C. & Sah, R. L. (1997). Depth-dependent confined compression modulus of full-thickness bovine articular cartilage. *Journal of Orthopaedic Research*, 15(4), 499-506.
- Schmidt, T. A. Schumacher, B. L. Han, E. H. Klein, T. J. Voegtline, M. S. & Sah, R. L. (2005). Chemo-mechanical coupling in articular cartilage: IL-1 α and TGF- β 1 regulate chondrocyte synthesis and secretion of lubricin/superficial zone protein. *Physical Regulation of Skeletal Repair*, 151-62.

- Schmitz, R. J. Wang, H. M. Polprasert, D. R. Kraft, R. A. & Pietrosimone, B. G. (2017). Evaluation of knee cartilage thickness: a comparison between ultrasound and magnetic resonance imaging methods. *The Knee*, 24(2), 217-223.
- Schneider, M. T. Y., Rooks, N., & Besier, T. (2022). Cartilage thickness and bone shape variations as a function of sex, height, body mass, and age in young adult knees. *Scientific Reports*, 12(1), 1-9.
- Setton, L. A. Zhu, W. & Mow, V. C. (1993). The biphasic poroviscoelastic behavior of articular cartilage: role of the surface zone in governing the compressive behavior. *Journal of biomechanics*, 26(4-5), 581-592.
- Shwartz, Y., Blitz, E., & Zelzer, E. (2013). One load to rule them all: mechanical control of the musculoskeletal system in development and aging. *Differentiation*, 86(3), 104-111.
- Sitoci, K. H., Hudelmaier, M., & Eckstein, F. (2012). Nocturnal changes in knee cartilage thickness in young healthy adults. *Cells, tissues, organs*, 196(2), 189–194. <https://doi.org/10.1159/000333456>.
- Slemenda, C. W. Christian, J. C. Williams, C. J. Norton, J. A. & Johnston Jr, C. C. (1991). Genetic determinants of bone mass in adult women: a reevaluation of the twin model and the potential importance of gene interaction on heritability estimates. *Journal of bone and mineral research*, 6(6), 561-567.
- Soltz, M. A. & Ateshian, G. A. (1998). Experimental verification and theoretical prediction of cartilage interstitial fluid pressurization at an impermeable contact interface in confined compression. *Journal of biomechanics*, 31(10), 927-934.
- Spannow, A. H., Stenboeg, E., Pfeiffer-Jensen, M., & Herlin, T. (2007). Ultrasound measurement of joint cartilage thickness in large and small joints in healthy children: a clinical pilot study assessing observer variability. *Pediatric Rheumatology*, 5(1), 1-5.
- Spannow, A. H. Stenboeg, E. Pfeiffer-Jensen, M. Fiirgaard, B. Haislund, M. Ostergaard, M. ... & Herlin, T. (2011). Ultrasound and MRI measurements of joint cartilage in healthy children: a validation study. *Sonographie in der Medizin-European Journal of Ultrasound*, 32(S 01), 110-116.
- Sprangers, M. A. de Regt, E. B. Andries, F. van Agt, H. M. Bijl, R. V. de Boer, J. B. ... & Miedema, H. S. (2000). Which chronic conditions are associated with better or poorer quality of life?. *Journal of clinical epidemiology*, 53(9), 895-907.
- Stammlerger, T. Eckstein, F. Englmeier, K. H. & Reiser, M. (1999). Determination of 3D cartilage thickness data from MR imaging: computational method and reproducibility in the living. *Magnetic Resonance in Medicine: An Official Journal of the International Society for Magnetic Resonance in Medicine*, 41(3), 529-536.
- Stricker, S. Fundele, R. Vortkamp, A. & Mundlos, S. (2002). Role of Runx genes in chondrocyte differentiation. *Developmental biology*, 245(1), 95-108.



- Szafranski, J. D. Grodzinsky, A. J. Burger, E. Gaschen, V. Hung, H. H. & Hunziker, E. B. (2004). Chondrocyte mechanotransduction: effects of compression on deformation of intracellular organelles and relevance to cellular biosynthesis. *Osteoarthritis and cartilage*, 12(12), 937-946.
- Teichtahl, A. J. Wluka, A. E. Forbes, A. Wang, Y. English, D. R. Giles, G. G. & Cicuttini, F. M. (2009). Longitudinal effect of vigorous physical activity on patella cartilage morphology in people without clinical knee disease. *Arthritis and rheumatism*, 61(8), 1095–1102. <https://doi.org/10.1002/art.24840>
- Torp-Pedersen, S. Bartels, E. M. Wilhjelm, J. & Bliddal, H. (2011). Articular cartilage thickness measured with US is not as easy as it appears: a systematic review of measurement techniques and image interpretation. *Sonographie in der Medizin-European Journal of Ultrasound*, 32(01), 54-61.
- Torzilli, P. A. Adams, T. C. & Mis, R. J. (1987). Transient solute diffusion in articular cartilage. *Journal of biomechanics*, 20(2), 203-214.
- Torzilli, P. A. Arduino, J. M. Gregory, J. D. & Bansal, M. (1997). Effect of proteoglycan removal on solute mobility in articular cartilage. *Journal of biomechanics*, 30(9), 895-902.
- Traub, R. E. & Rowley, G. L. (1991). Understanding Reliability: An NCME Instructional Module on. *Educational measurement: Issues and practice*, 10(1), 37-45.
- Urquhart, D. M., Soufan, C., Teichtahl, A. J., Wluka, A. E., Hanna, F., & Cicuttini, F. M. (2008). Factors that may mediate the relationship between physical activity and the risk for developing knee osteoarthritis. *Arthritis research & therapy*, 10(1), 1-10.
- Vannini, F., Spalding, T., Andriolo, L., Berruto, M., Denti, M., Espregueira-Mendes, J., ... & Filardo, G. (2016). Sport and early osteoarthritis: the role of sport in aetiology, progression and treatment of knee osteoarthritis. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 24(6), 1786-1796.
- Van den Berg, F. (2010). *Angewandte Physiologie; Band 1–Das Bindegewebe des Bewegungsapparates verstehen und beeinflussen [Applied Physiology; Volume 1–The connective tissue of the locomotor apparatus]*.
- Vanwanseele, B. Eckstein, F. Knecht, H. Stüssi, E. & Spaepen, A. (2002). Knee cartilage of spinal cord–injured patients displays progressive thinning in the absence of normal joint loading and movement. *Arthritis & Rheumatism*, 46(8), 2073-2078.
- Vanwanseele, B. Eckstein, F. Knecht, H. Spaepen, A. & Stüssi, E. (2003). Longitudinal analysis of cartilage atrophy in the knees of patients with spinal cord injury. *Arthritis & Rheumatism: Official Journal of the American College of Rheumatology*, 48(12), 3377-3381.

- Verbruggen, S. W., Loo, J. H., Hayat, T. T., Hajnal, J. V., Rutherford, M. A., Phillips, A., & Nowlan, N. C. (2016). Modeling the biomechanics of fetal movements. *Biomechanics and modeling in mechanobiology*, 15(4), 995-1004.
- Waldenmeier, L., Evers, C., Uder, M., Janka, R., Hennig, F. F., Pachowsky, M. L., & Welsch, G. H. (2019). Using cartilage MRI T2-mapping to analyze early cartilage degeneration in the knee joint of young professional soccer players. *Cartilage*, 10(3), 288-298.
- Wang, X. P., Åberg, T., James, M. J., Levanon, D., Groner, Y., & Thesleff, I. (2005). Runx2 (Cbfa1) inhibits Shh signaling in the lower but not upper molars of mouse embryos and prevents the budding of putative successional teeth. *Journal of dental research*, 84(2), 138-143.
- Waterton, J. C., Solloway, S., Foster, J. E., Keen, M. C., Gandy, S., Middleton, B. J., Maciewicz, R. A., Watt, I., Dieppe, P. A., & Taylor, C. J. (2000). Diurnal variation in the femoral articular cartilage of the knee in young adult humans. *Magnetic resonance in medicine*, 43(1), 126-132.
- Wille, N., Badia, X., Bonsel, G., Burström, K., Cavrini, G., Devlin, N. ... & Ravens-Sieberer, U. (2010). Development of the EQ-5D-Y: a child-friendly version of the EQ-5D. *Quality of life research*, 19(6), 875-886.
- Wirth, W. & Eckstein, F. (2008). A technique for regional analysis of femorotibial cartilage thickness based on quantitative magnetic resonance imaging. *IEEE transactions on medical imaging*, 27(6), 737-744.
- Woolf, A. D. & Pfleger, B. (2003). Burden of major musculoskeletal conditions. *Bulletin of the World Health Organization*, 81, 646-656.
- Wu, H. T. H., Chang, C. Y., Chang, H., Yen, C. C., Cheng, H., Chen, P. C. S., & Chiou, H. J. (2012). Magnetic resonance imaging guided biopsy of musculoskeletal lesions. *Journal of the Chinese Medical Association*, 75(4), 160-166.
- Yoshida, C. A., Yamamoto, H., Fujita, T., Furuichi, T., Ito, K., Inoue, K. I. ... & Komori, T. (2004). Runx2 and Runx3 are essential for chondrocyte maturation, and Runx2 regulates limb growth through induction of Indian hedgehog. *Genes & development*, 18(8), 952-963.
- Yoshida, C. A. & Komori, T. (2005). Role of Runx proteins in chondrogenesis. *Critical Reviews™ in Eukaryotic Gene Expression*, 15(3).
- Zamzam, M. M. (2006). The role of ultrasound in differentiating septic arthritis from transient synovitis of the hip in children. *Journal of Pediatric Orthopaedics B*, 15(6), 418-422.
- Zhang BT, Liu L, Dai YM, et al (2016) Effect of snow sports on knee cartilage maturation in children and adolescent with MRI quantitative analysis. *Natl Med J China*. doi: <http://dx.doi.org/10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2016.43.012>.
- Zhang, P., Yu, B., Zhang, R., Chen, X., Shao, S., Zeng, Y., ... & Zhao, J. (2021). Longitudinal study of the morphological and T2* changes of knee cartilages of marathon runners

using prototype software for automatic cartilage segmentation. *The British Journal of Radiology*, 94(1119), 20200833.

Zhuo, Q. Yang, W. Chen, J. & Wang, Y. (2012). Metabolic syndrome meets osteoarthritis. *Nature Reviews Rheumatology*, 8(12), 729.

Anhang 1: Genehmigter Ethikantrag

	<p>Ärztchamber des Saarlandes</p> <p>Körperschaft des öffentlichen Rechts</p> 
<p>Ärztchamber des Saarlandes · Postfach 10 02 62 · 66002 Saarbrücken Ethikkommission</p> <p>Herrn Universitäts-Professor Dr. med. S. Landgraeber Klinik für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie Universitätsklinikum des Saarlandes 66421 Homburg</p>	<p>Ethikkommission Geschäftsstelle</p> <p>Faktoreistraße 4 66111 Saarbrücken</p> <p>Telefon (06 81) 40 03 - 216, - 218 Telefax (06 81) 40 03 - 394</p> <p>E-Mail: ethikkommission@aeksaar.de Internet: www.aerztchamber-saarland.de</p> <p>Kernarbeitszeit: Mo. bis Do. 9.00 bis 11.30 Uhr und 13.30 bis 15.15 Uhr Fr. 9.00 bis 12.00 Uhr</p>
<p>Unser Zeichen: Ha 191/19</p>	<p>Ihr Schreiben vom:</p> <p>Ihr Zeichen:</p> <p>Datum: 02.10.2019</p>
<p>Untersuchung zur Evaluation des Knorpelstatus an Knie- und Hüftgelenk und der Prävalenz der CAM-Deformität am Hüftgelenk bei Kindern und Heranwachsenden mit und ohne Einfluss von Leistungssport</p>	
<p>Unsere Kenn-Nr. 191/19 (Bitte in jedem Schriftwechsel angeben!)</p>	
<p>Sehr geehrter Herr Professor Landgraeber!</p>	
<p>Die Ethik-Kommission hat sich in ihrer Sitzung am 19.09.2019 mit dem Antrag vom 15.08.2019 auf Prüfung des o.a. Forschungsvorhabens befasst und kam dabei zu folgendem Beschluss:</p>	
<p>Unter Bezugnahme auf § 2 des Statuts der Ethik-Kommission bei der Ärztkammer des Saarlandes bestehen gegen die Durchführung des beabsichtigten Forschungsvorhabens keine Bedenken.</p>	
<p>Die Kommission weist jedoch auf folgende Auflagen hin, von deren Erfüllung die Gültigkeit des Votums abhängt:</p>	
<p>Allgemein:</p> <ul style="list-style-type: none">• Es ist zu präzisieren, welches MRT-Gerät bei der Studie verwendet wird sowie von wem und mit welcher Qualifikation die sonografischen Untersuchungen durchgeführt werden sollen.• Wie sind die Leistungssportarten A-D definiert? Es ist unklar, wie sich deren Definition aus den Ergebnissen der Referenzstudie ergeben soll.• Unter Ausschlusskriterien sollte das Krankheitsbild ADHS aufgenommen werden, da die Kommission Zweifel hat, ob davon Betroffene langdauernde MRT-Untersuchungen tolerieren.	

Universitätsklinikum
des Saarlandes
Orthopädie
Eing. 27. Nov. 2019

Ärztekammer
des Saarlandes
Körperschaft
des öffentlichen Rechts



Ärztekammer des Saarlandes · Postfach 10 02 62 · 66002 Saarbrücken
Ethikkommission

Herrn
Universitäts-Professor Dr. med. S. Landgraeber
Klinik für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie
Universitätsklinikum des Saarlandes
66421 Homburg

Ethikkommission

Geschäftsstelle

Faktoreistraße 4
66111 Saarbrücken

Telefon (06 81) 40 03 - 216, - 218
Telefax (06 81) 40 03 - 394

E-Mail: ethikkommission@aeksaar.de
Internet: www.aerztekammer-saarland.de

Kernarbeitszeit:
Mo. bis Do. 9.00 bis 11.30 Uhr und 13.30 bis 15.15 Uhr
Fr. 9.00 bis 12.00 Uhr

Unser Zeichen:
Bu. 191/19

Ihr Schreiben vom:

Ihr Zeichen:

Datum:
21.11.2019

Untersuchung zur Evaluation des Knorpelstatus an Knie- und Hüftgelenk und der Prävalenz der CAM-Deformität am Hüftgelenk bei Kindern und Heranwachsenden mit und ohne Einfluss von Leistungssport

Unsere Kenn-Nr. 191/19 (Bitte in jedem Schriftwechsel angeben!)

Sehr geehrter Herr Professor Landgraeber!

wir bestätigen den Erhalt des Schreibens per E-Mail vom 31.10.2018 mit dem überarbeiteten Studienantrag.

Nachdem nun die noch offenen Fragen beantwortet/eingearbeitet wurden, erhält unser am 02.10.2019 erteiltes Votum eine uneingeschränkte Gültigkeit.

Mit freundlichen Grüßen

Prof. Dr. U. Grundmann
Vorsitzender

EINGEGANGEN

22. März 2022

Erl.....

Ärztammer
des Saarlandes
Körperschaft
des öffentlichen Rechts



Ärztammer des Saarlandes · Postfach 10 02 62 · 66002 Saarbrücken
Ethikkommission

Herrn
Professor Dr. med. M. Zemlin
Klinik für Allgemeine Pädiatrie und Neonatologie
Universitätsklinikum des Saarlandes, Gebäude 9
66421 Homburg

Ethikkommission

Geschäftsstelle

Faktoreistraße 4
66111 Saarbrücken

Sachbearbeitung:
D. Bunzel • Telefon (06 81) 40 03 - 218
N. Halder • Telefon (06 81) 40 03 - 216

Telefax (06 81) 40 03 - 43 94
E-Mail: ethikkommission@aeksaar.de
Internet: www.aerztammer-saarland.de

Unser Zeichen:
191/19

Ihr Schreiben vom:

Ihr Zeichen:

Datum:
21. MRZ. 2022

Untersuchung zur Evaluation des Knorpelstatus an Knie- und Hüftgelenk und der Prävalenz der CAM-Deformität am Hüftgelenk bei Kindern und Heranwachsenden mit und ohne Einfluss von Leistungssport

Unsere Kenn-Nr. 191/19 (Bitte in jedem Schriftwechsel angeben!)

Sehr geehrter Herr Professor Zemlin,

wir bestätigen den Erhalt des Schreibens per E-Mail vom 02.03.2022 bezüglich einer nachträglichen Änderung zu o.g. Studie mit folgenden Unterlagen:

- 20220302_Addendum_Ethikantrag_191_19.pdf
- Checkliste Ethikantrag Knorpel bei Kindern V2.2.1.pdf

Die Unterlagen wurden vom stellvertretenden Vorsitzenden geprüft, es ist keine Beratung durch die gesamte Kommission erfolgt.

Wir teilen Ihnen mit, dass unsererseits weder berufsrechtliche noch ethische Bedenken bestehen, da die Nutzen-Risiko-Relation durch die nachträgliche Änderung nicht in einer für die Beurteilung der ethischen Vertretbarkeit relevanten Weise verändert ist.

Mit freundlichen Grüßen

Sven Lichtschlag-Traut
Fachanwalt für Medizinrecht
Stellvertretender Vorsitzender

Anhang 2: Einwilligungserklärung zur Diagnostikstudie

Universität des Saarlandes, Klinik für Orthopädie und Orthopädische
Chirurgie | Gebäude 37-38, Kirrberger Straße | 66421 Homburg



Univ.-Prof. Dr. Stefan Landgraeber

Klinik für Orthopädie und
Orthopädische
Chirurgie
66421 Homburg

T: +49 6841 16 24500
F: +49 6841 16 24580
stefan.landgraeber@uks.eu

Einwilligung zur Diagnostik-Studie

Nicht-invasive Diagnostik in der Orthopädie: Evaluation des Knorpelstatus und der Prävalenz der
CAM-Deformität am Hüftgelenk bei Kindern und Heranwachsenden mit und ohne Einfluss von
Leistungssport

Ich wurde von dem behandelnden Arzt _____
(Name des behandelnden Arztes)

meines Kindes _____
(Name des Patienten) (Geburtsdatum)

vollständig über Wesen, Bedeutung und Tragweite der Studie mit dem o. g. Titel aufgeklärt. Ich habe
den Aufklärungstext gelesen und verstanden. Ich hatte die Möglichkeit, Fragen zu stellen, und habe
die Antworten verstanden und akzeptiere sie. Der behandelnde Arzt meines Kindes hat mich über die
Studie ausreichend informiert. Ich hatte ausreichend Zeit, mich zur Teilnahme an dieser Studie zu
entscheiden und weiß, dass die Teilnahme an dieser Studie freiwillig ist. Ich weiß, dass ich jederzeit
und ohne Angaben von Gründen diese Zustimmung widerrufen kann, ohne dass sich dieser Entschluss
nachteilig auf die spätere Behandlung meines Kindes auswirken wird.

Mir ist bekannt, dass die Daten meines Kindes durch Zuordnung von Nummern in anonymisierter
Form gespeichert werden.

Ich habe eine Kopie der Patienteninformation und dieser Einwilligungserklärung erhalten.
Ich erkläre hiermit die Teilnahme meines Kindes an den u.g. Studienteilen und das Einverständnis
des/der weiteren Sorgeberechtigten.

- Referenzstudie: Untersuchung zur Evaluation des Knorpelstatus an Knie- und Hüftgelenk und der
Prävalenz der CAM-Deformität am Hüftgelenk bei Kindern und Heranwachsenden mit und ohne
Einfluss von Leistungssport.
- Feldstudie: Sonographische Darstellung des Kniegelenks im Ruhezustand und nach sportlicher
Aktivität.

Name des/der Sorgeberechtigten (Druckbuchstaben)

Ort, Datum

Unterschrift

Name des/der Arztes/Ärztin (Druckbuchstaben)

Ort, Datum

Unterschrift

Prof. Dr. Stefan Landgraeber Prof. Dr. med. Michael Zemlin
Direktor der Klinik für Orthopädie Direktor der Klinik für Allgemeine
und Orthopädische Chirurgie Pädiatrie und Neonatologie
Tel.: 06841-16 24500 Tel.: 06841-16 28301

Dr. Jochen Schleifer Milan Anton Wolf
Radiologische Praxis Assistenzarzt der Klinik für Orthopädie
Homburg und Orthopädische Chirurgie
Tel.: 06841-67067 Tel.: 06841-16 24500

Anhang 3: DEGUM Teilnahmebescheinigung

Prof. Dr. med. Gerd Gruber

Facharzt für Orthopädie
 Facharzt für Orthopädie und Unfallchirurgie
 Spezielle Orthopädische Chirurgie
 Sportmedizin • Chirotherapie • Akupunktur
 Physikalische Therapie



Brückenkopfstraße 1/2
 69120 Heidelberg
 Telefon +49 (6221) 6528700
 Telefax +49 (6221) 6528455
g.gruber@gruber-heidelberg.de
www.endo-Qrothese.de

29.09.2019

DEGUM - TEILNAHMEBESCHEINIGUNG

über die erfolgreiche Teilnahme an einem

SONOGRAPHIE-GRUNKURS

Bewegungsorgane (Anwendungsbereich 10 Bewegungsapparat)


Herr Dirk Schneider
 aus Stadtprozelten

hat vom 27.09.2019 bis 29.09.2019 in Heidelberg mit Erfolg an einem

Sonographie-Grundkurs der Bewegungsorgane teilgenommen.

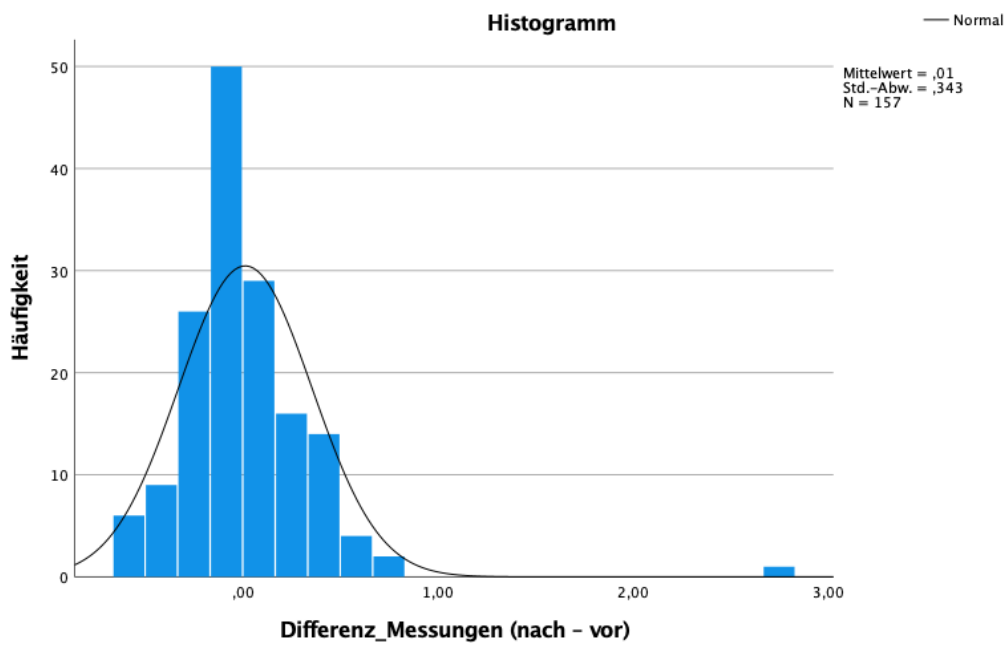
Dieser Kurs entsprach § 6 der Qualifikationsvoraussetzungen gemäß § 135 Abs. 2 SGB V zur Durchführung von Untersuchungen in der Ultraschalldiagnostik (Ultraschall-Vereinbarung) der Kassenärztlichen Bundesvereinigung in der Fassung vom 23.06.2009, den Richtlinien der DGOOC und der DEGUM und wurde als Fortbildungsveranstaltung bei der Kassenärztlichen Vereinigung Baden-Württemberg, der Landesärztekammer Baden-Württemberg und der DEGUM angemeldet.

Der Grundkurs umfasste 26 Stunden, verteilt auf 3 aufeinanderfolgende Tage, bei maximal 7 Teilnehmern pro Ausbilder und Ultraschallgerät. Im Grundkurs wurden die allgemeinen Grundlagen der Ultraschallerzeugung, die physikalisch-technischen Basiskenntnisse, die gerätetechnischen Voraussetzungen, Geräteeinstellungen, ~~Artefaktenstehung~~, Indikationsbereich, Dokumentation und Befundung sowie die Prinzipien der Untersuchungstechniken am Bewegungsorgan vermittelt. Bei der Untersuchung der Strukturen der Bewegungsorgane stand die ~~Sonoanatomie~~ im Vordergrund. Praktische Übungen (sonographische Untersuchungen) am Schultergelenk, am Ellenbogengelenk, an der Hand und am Handgelenk, am Hüftgelenk, am Kniegelenk, am Sprunggelenk an der Wirbelsäule und an der Muskulatur wurden durchgeführt. Es wurden hierbei von der Kursteilnehmerin/ vom Kursteilnehmer mit Erfolg alle Standard-Schnittebenen der vorgenannten Gelenke gemäß der Richtlinien des Arbeitskreises „Bewegungsorgane“ der DEGUM vom 20.01.1996 und gemäß Novellierung vom Oktober 2016 eingestellt.


 Prof. Dr. med. Gerd Gruber
 DEGUM-Kursleiter Stufe III
 Seminarleiter Ultraschall des
 Kassenärztlichen Verbandes der DGOOC

Parkhaus P 16 im Haus - Zufahrt von der ~~Uferstraße~~
 Buslinien 5, 23, 31 / ~~Strobenbahn~~ OEG Linie 5

Anhang 4: Histogramm über Schiefe und Kurtosis aller Teilnehmer



Schiefe und Kurtosis alle Teilnehmer

Differenz_Messungen

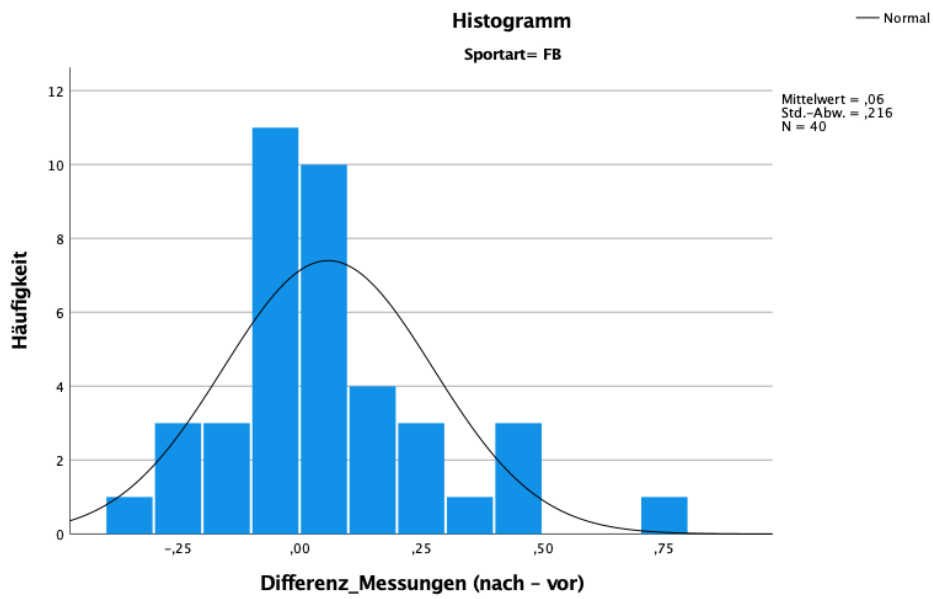
N	Gültig	157
Schiefe		3,104
Standardfehler der Schiefe		0,194
Kurtosis		22,364
Standardfehler der Kurtosis		0,385

Test auf Normalverteilung alle Teilnehmer

Kolmogorov-Smirnov^b

	Statistik	df	Signifikanz
Differenz_Messungen	0,112	157	0,000

Anhang 5: Histogramm über Schiefe und Kurtosis bei Fußballern

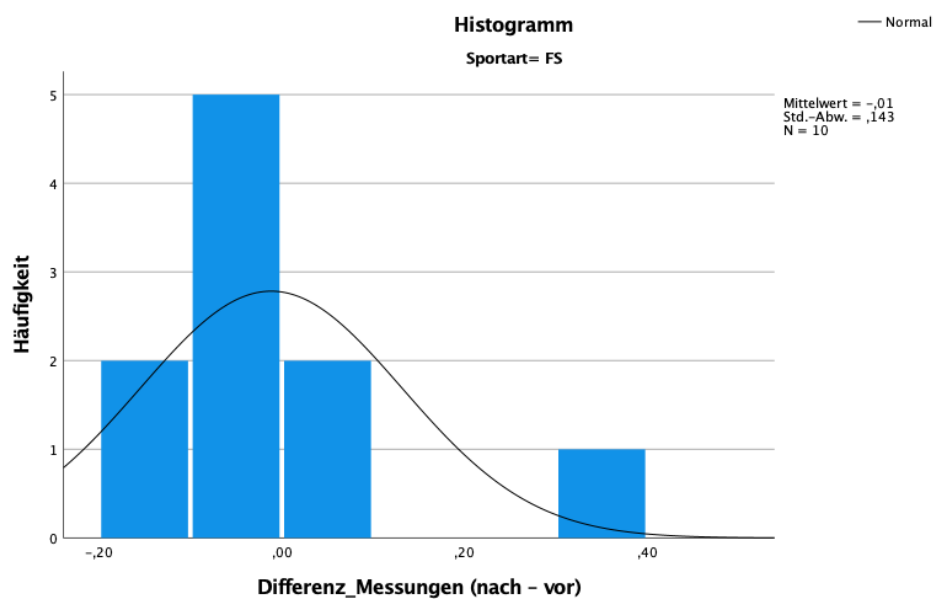


Test auf Normalverteilung der Knorpeldickendifferenz beim Fußball

Kolmogorov-Smirnov^b

	Statistik	df	Signifikanz
Differenz_Messungen	0,154	40	0,018

Anhang 6: Histogramm über Schiefe und Kurtosis im Schützensport



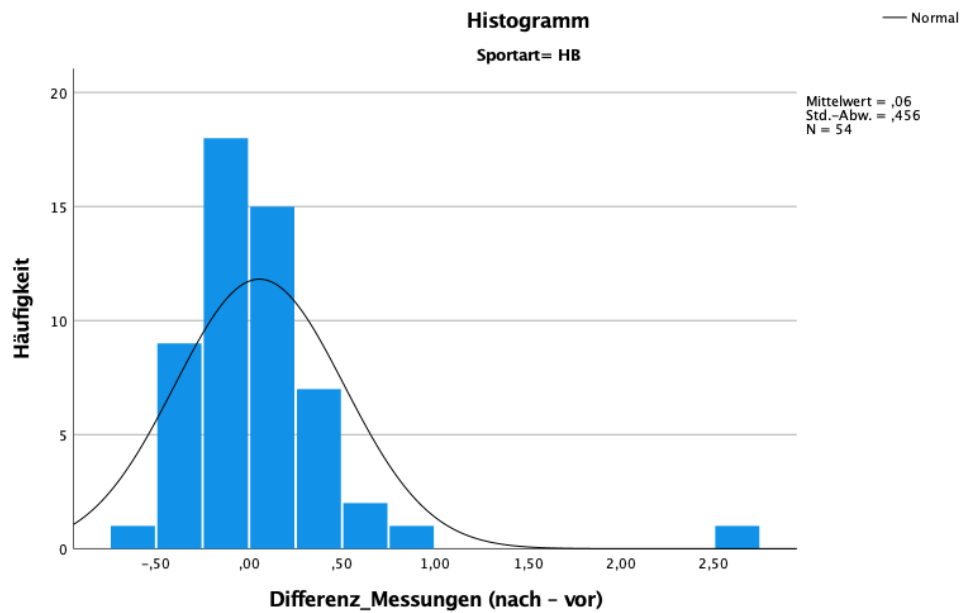
Histogramm über Schiefe und Kurtosis im Schützensport

Test auf Normalverteilung der Knorpeldicke bei Schützensportlern

Kolmogorov-Smirnov^b

	Statistik	df	Signifikanz
Differenz_Messungen	0,286	10	0,020

Anhang 7: Histogramm über Schiefe und Kurtosis im Handball

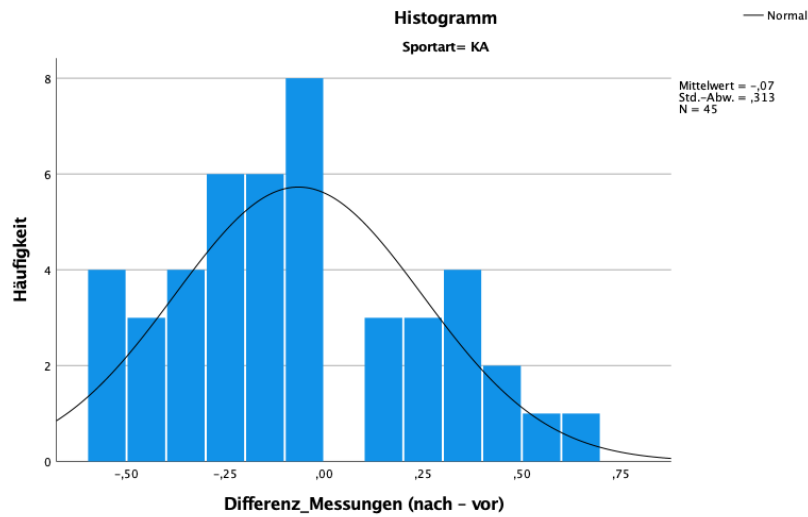


Test auf Normalverteilung bei Handballern

Kolmogorov-Smirnov^b

	Statistik	df	Signifikanz
Differenz_Messungen	0,167	54	0,001

Anhang 8: Histogramm über Schiefe und Kurtosis bei Karatesportler

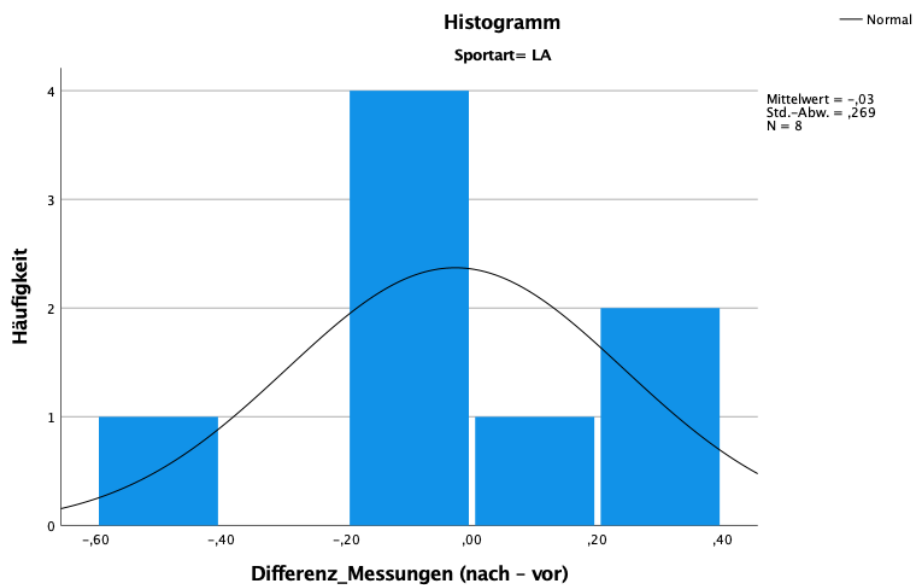


Test auf Normalverteilung Karatesportler

Kolmogorov-Smirnov^b

	Statistik	df	Signifikanz
Differenz_Messungen	0,115	45	0,166

Anhang 9: Histogramm über Schiefe und Kurtosis der Leichtathleten

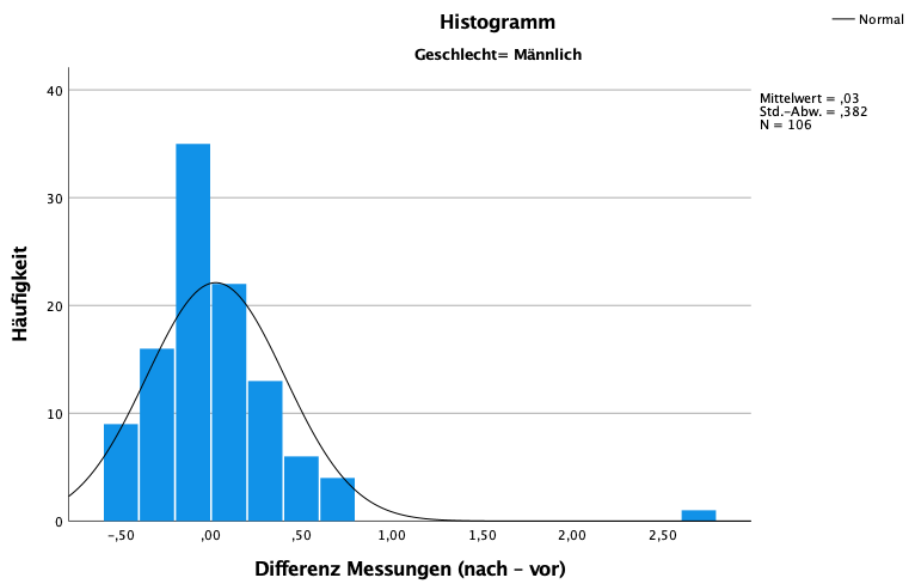


Test auf Normalverteilung der Leichtathleten

Kolmogorov-Smirnov^b

	Statistik	df	Signifikanz
Differenz_Messungen	0,181	8	0,200*

Anhang 10: Histogramm über Schiefe und Kurtosis der männlichen Teilnehmer

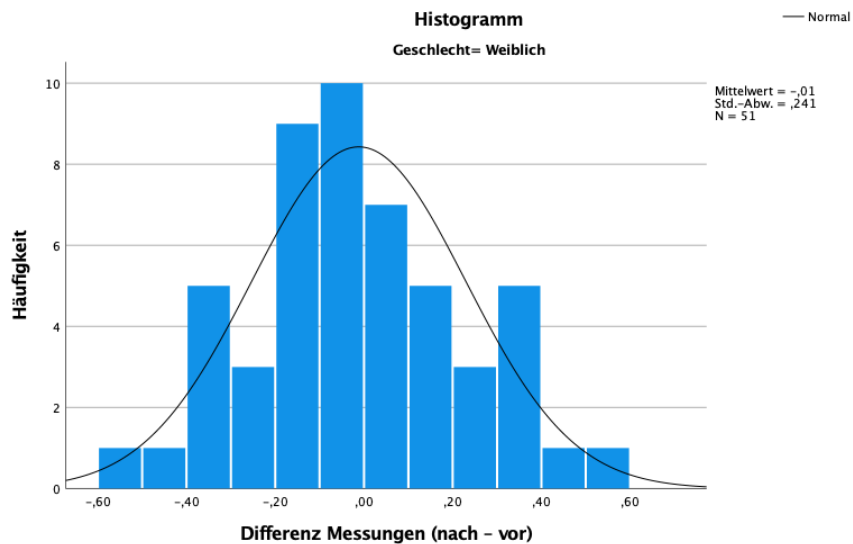


Test auf Normalverteilung der männlichen Teilnehmer

Kolmogorov-Smirnov^b

	Statistik	df	Signifikanz
Differenz_Messungen	0,133	106	<0,001

Anhang 11: Histogramm Schiefe und Kurtosis weiblicher Teilnehmer



Test auf Normalverteilung weiblicher Teilnehmer

Kolmogorov-Smirnov^b

	Statistik	df	Signifikanz
Differenz_Messungen	0,076	51	0,200*

Anhang 12: EQ-5D-Y, Bewegung nach Sportart

Bewegung	Sportart	N	1. Quartil	Median	3. Quartil
	FS	10	1,00	1,00	1,00
	HB	51	1,00	1,00	1,00
	KA	15	1,00	1,00	1,00
	LA	8	1,00	1,00	1,00

Hypothesentestübersicht

	Nullhypothese	Test	Sig. ^{a,b}	Entscheidung
1	Die Mediane von Bewegung sind über die Kategorien von Sportart identisch.	Mediantest bei unabhängigen Stichproben	0,845	Nullhypothese beibehalten

a. Das Signifikanzniveau ist 0,05.

b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

Anhang 13: EQ-5D-Y, Bewegung nach Schulart

Bewegung	Schulart	N	1. Quartil	Median	3. Quartil
	Gemeinschaftsschule	8	1,00	1,00	1,00
	Realschule	3	1,00	1,00	1,00
	Gymnasium	48	1,00	1,00	1,00
	Sonstige Schule	11	1,00	1,00	1,00
	Grundschule	14	1,00	1,00	1,00

Hypothesentestübersicht

	Nullhypothese	Test	Sig. ^{a,b}	Entscheidung
1	Die Mediane von Bewegung sind über die Kategorien von Schulart identisch.	Mediantest bei unabhängigen Stichproben	0,659	Nullhypothese beibehalten

a. Das Signifikanzniveau ist 0,05.

b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

Anhang 14: EQ-5D-Y, Bewegung nach Jahrgangsstufe

Bewegung	Jahrgangsstufe	N	1. Quartil	Median	3. Quartil
	2	2	1,00	1,00	1,00
	3	8	1,00	1,00	1,00
	4	6	1,00	1,00	1,25
	5	8	1,00	1,00	1,00
	6	8	1,00	1,00	1,00
	7	9	1,00	1,00	1,50
	8	15	1,00	1,00	1,00
	9	14	1,00	1,00	1,00
	11	8	1,00	1,00	1,00
	12	3	1,00	1,00	1,00

Hypothesentestübersicht

	Nullhypothese	Test	Sig. ^{a,b}	Entscheidung
1	Die Mediane von Bewegung sind über die Kategorien von Klasse identisch.	Mediantest bei unabhängigen Stichproben	0,489	Nullhypothese beibehalten

a. Das Signifikanzniveau ist 0,05.

b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

Anhang 15: EQ-5D-Y, Bewegung nach Geschlecht

Bewegung	Geschlecht	N	1. Quartil	Median	3. Quartil
	männlich	48	1,00	1,00	1,00
	weiblich	37	1,00	1,00	1,00

Hypothesentestübersicht

	Nullhypothese	Test	Sig. ^{a,b}	Entscheidung
1	Die Mediane von Bewegung sind über die Kategorien von Geschlecht identisch.	Mediantest bei unabhängigen Stichproben	0,663 ^c	Nullhypothese beibehalten

a. Das Signifikanzniveau ist 0,05.

b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

c. Asymptotische Sig. mit Kontinuitätskorrektur nach Yates.

Anhang 16: EQ-5D-Y, Für mich selbst sorgen nach Sportart

Sorgen	Sportart	N	1. Quartil	Median	3. Quartil
	FS	10	1,00	1,00	1,00
	HB	51	1,00	1,00	1,00
	KA	15	1,00	1,00	1,00
	LA	8	1,00	1,00	1,00

Hypothesentestübersicht

	Nullhypothese	Test	Sig. ^{a,b}	Entscheidung
1	Die Mediane von Sorgen sind über die Kategorien von Sportart identisch.	Mediantest bei unabhängigen Stichproben	0,317	Nullhypothese beibehalten

a. Das Signifikanzniveau ist 0,05.

b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

Anhang 17: EQ-5D-Y, Für mich selbst sorgen nach Schulart

Sorgen	Schulart	N	1. Quartil	Median	3. Quartil
	Gemeinschaftsschule	8	1,00	1,00	1,00
	Realschule	3	1,00	1,00	1,00
	Gymnasium	47	1,00	1,00	1,00
	Sonstige Schule	10	1,00	1,00	1,00
	Grundschule	15	1,00	1,00	1,00

Hypothesentestübersicht

	Nullhypothese	Test	Sig. ^{a,b}	Entscheidung
1	Die Mediane von Sorgen sind über die Kategorien von Schulart identisch.	Mediantest bei unabhängigen Stichproben	0,187	Nullhypothese beibehalten

a. Das Signifikanzniveau ist 0,05.

b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

Anhang 18: EQ-5D-Y, Für mich selbst sorgen nach Jahrgangsstufe

Sorgen	Jahrgangsstufe	N	1. Quartil	Median	3. Quartil
	2	2	1,00	1,00	1,00
	3	8	1,00	1,00	1,00
	4	6	1,00	1,00	1,00
	5	8	1,00	1,00	1,00
	6	8	1,00	1,00	1,00
	7	9	1,00	1,00	1,00
	8	15	1,00	1,00	1,00
	9	14	1,00	1,00	1,00
	11	8	1,00	1,00	1,00
	12	3	1,00	1,00	1,00

Hypothesentestübersicht

	Nullhypothese	Test	Sig. ^{a,b}	Entscheidung
1	Die Mediane von Sorgen sind über die Kategorien von Klasse identisch.	Mediantest bei unabhängigen Stichproben	0,897	Nullhypothese beibehalten

a. Das Signifikanzniveau ist 0,05.

b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

Anhang 19: EQ-5D-Y, Für mich selbst sorgen nach Geschlecht

Sorgen	Geschlecht	N	1. Quartil	Median	3. Quartil
	männlich	48	1,00	1,00	1,00
	weiblich	37	1,00	1,00	1,00

Hypothesentestübersicht

	Nullhypothese	Test	Sig. ^{a,b}	Entscheidung
1	Die Mediane von Sorgen sind über die Kategorien von Geschlecht identisch.	Mediantest bei unabhängigen Stichproben	0,896 ^c	Nullhypothese beibehalten

a. Das Signifikanzniveau ist 0,05.

b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

c. Asymptotische Sig. mit Kontinuitätskorrektur nach Yates.

Anhang 20: EQ-5D-Y, Alltagsdinge bewältigen nach Sportart

Aktiv	Sportart	N	1. Quartil	Median	3. Quartil
	FS	10	1,00	1,00	1,00
	HB	51	1,00	1,00	1,00
	KA	15	1,00	1,00	1,00
	LA	8	1,00	1,00	1,00

Hypothesentestübersicht

	Nullhypothese	Test	Sig. ^{a,b}	Entscheidung
1	Die Mediane von Aktiv sind über die Kategorien von Sportart identisch.	Mediantest bei unabhängigen Stichproben	0,625	Nullhypothese beibehalten

a. Das Signifikanzniveau ist 0,05.

a. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

Anhang 21: EQ-5D-Y, Alltagsdinge bewältigen nach Schularart

Aktiv	Schularart	N	1. Quartil	Median	3. Quartil
	Gemeinschaftsschule	8	1,00	1,00	1,00
	Realschule	3	1,00	1,00	1,00
	Gymnasium	47	1,00	1,00	1,00
	Sonstige Schule	10	1,00	1,00	1,25
	Grundschule	15	1,00	1,00	1,00

Hypothesentestübersicht

	Nullhypothese	Test	Sig. ^{a,b}	Entscheidung
1	Die Mediane von Aktiv sind über die Kategorien von Schularart identisch.	Mediantest bei unabhängigen Stichproben	0,386	Nullhypothese beibehalten

a. Das Signifikanzniveau ist 0,05.

b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

Anhang 22: EQ-5D-Y, Alltagsdinge bewältigen nach Jahrgangsstufe

Aktiv	Jahrgangsstufe	N	1. Quartil	Median	3. Quartil
	2	2	1,00	1,00	1,00
	3	8	1,00	1,00	1,00
	4	6	1,00	1,00	1,00
	5	8	1,00	1,00	1,00
	6	8	1,00	1,00	1,00
	7	9	1,00	1,00	1,00
	8	15	1,00	1,00	1,00
	9	14	1,00	1,00	1,00
	11	8	1,00	1,00	1,00
	12	3	1,00	1,00	1,00

Hypothesentestübersicht

	Nullhypothese	Test	Sig. ^{a,b}	Entscheidung
1	Die Mediane von Aktiv sind über die Kategorien von Klasse identisch.	Mediantest bei unabhängigen Stichproben	0,931	Nullhypothese beibehalten

a. Das Signifikanzniveau ist 0,05.

b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

Anhang 23: EQ-5D-Y, Alltagsdinge bewältigen nach Geschlecht

Aktiv	Geschlecht	N	1. Quartil	Median	3. Quartil
	männlich	48	1,00	1,00	1,00
	weiblich	37	1,00	1,00	1,00

Hypothesentestübersicht

	Nullhypothese	Test	Sig. ^{a,b}	Entscheidung
1	Die Mediane von Aktiv sind über die Kategorien von Geschlecht identisch.	Mediantest bei unabhängigen Stichproben	0,764 ^c	Nullhypothese beibehalten

a. Das Signifikanzniveau ist 0,05.

b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

c. Asymptotische Sig. mit Kontinuitätskorrektur nach Yates.

Anhang 24: EQ-5D-Y, sich glücklich, traurig oder besorgt fühlen nach Sportart

Gefühl	Sportart	N	1. Quartil	Median	3. Quartil
	FS	10	1,00	1,00	1,00
	HB	51	1,00	1,00	1,00
	KA	15	1,00	1,00	1,00
	LA	8	1,00	1,00	1,00

Hypothesentestübersicht

	Nullhypothese	Test	Sig. ^{a,b}	Entscheidung
1	Die Mediane von Gefühl sind über die Kategorien von Sportart identisch.	Mediantest bei unabhängigen Stichproben	0,290	Nullhypothese beibehalten

a. Das Signifikanzniveau ist 0,05.

b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

Anhang 25: EQ-5D-Y, sich glücklich, traurig oder besorgt fühlen nach Jahrgangsstufe

Gefühl	Jahrgangsstufe	N	1. Quartil	Median	3. Quartil
	2	2	1,00	1,00	1,00
	3	8	1,00	1,00	1,00
	4	6	1,00	1,00	1,00
	5	8	1,00	1,00	1,00
	6	8	1,00	1,00	1,00
	7	9	1,00	1,00	1,00
	8	15	1,00	1,00	1,00
	9	14	1,00	1,00	1,00
	11	8	1,00	2,00	2,00
	12	3	1,00	1,00	.

Hypothesentestübersicht

	Nullhypothese	Test	Sig. ^{a,b}	Entscheidung
1	Die Mediane von Gefühl sind über die Kategorien von Klasse identisch.	Mediantest bei unabhängigen Stichproben	0,030	Nullhypothese ablehnen

a. Das Signifikanzniveau ist 0,05.

b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

Anhang 26: EQ-5D-Y, sich glücklich, traurig oder besorgt fühlen nach Geschlecht

Gefühl	Geschlecht	N	1. Quartil	Median	3. Quartil
	männlich	48	1,00	1,00	1,00
	weiblich	37	1,00	1,00	2,00

Hypothesentestübersicht

	Nullhypothese	Test	Sig. ^{a,b}	Entscheidung
1	Die Mediane von Gefühl sind über die Kategorien von Geschlecht identisch.	Mediantest bei unabhängigen Stichproben	0,009 ^c	Nullhypothese ablehnen

- a. Das Signifikanzniveau ist 0,05.
 b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.
 c. Asymptotische Sig. mit Kontinuitätskorrektur nach Yates.

Anhang 27: Depression nach Sportart

Depression	Sportart	N	1. Quartil	Median	3. Quartil
	FS	10	4,00	4,00	4,00
	HB	52	4,00	4,00	4,00
	KA	14	4,00	4,00	4,00
	LA	8	4,00	4,00	4,00

Anhang 28: Depression nach Schulart

Depression	Schulart	N	1. Quartil	Median	3. Quartil
	Gemeinschaftsschule	8	4,00	4,00	4,00
	Realschule	3	4,00	4,00	4,00
	Gymnasium	48	4,00	4,00	4,00
	Sonstige Schule	11	3,00	4,00	4,00
	Grundschule	14	4,00	4,00	4,00

Anhang 29: Depression nach Geschlecht

Depression	Geschlecht	N	1. Quartil	Median	3. Quartil
	männlich	48	4,00	4,00	4,00
	weiblich	37	4,00	4,00	4,00

Anhang 30: Sich wohlfühlen nach Sportart

Wohlfühlen	Sportart	N	1. Quartil	Median	3. Quartil
	FS	10	1,00	1,00	1,25
	HB	52	1,00	1,00	1,00
	KA	14	1,00	1,00	1,00
	LA	8	1,00	1,00	1,00

Hypothesentestübersicht

	Nullhypothese	Test	Sig. ^{a,b}	Entscheidung
1	Die Mediane von Wohlfühlen sind über die Kategorien von Sportart identisch.	Mediantest bei unabhängigen Stichproben	0,158	Nullhypothese beibehalten

a. Das Signifikanzniveau ist 0,05.

b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

Anhang 31: Sich wohlfühlen nach Schulart

Wohlfühlen	Schulart	N	1. Quartil	Median	3. Quartil
	Gemeinschaftsschule	8	1,00	1,00	2,00
	Realschule	3	1,00	1,00	.
	Gymnasium	48	1,00	1,00	1,00
	Sonstige Schule	11	1,00	1,00	1,00
	Grundschule	14	1,00	1,00	1,00

Hypothesentestübersicht

	Nullhypothese	Test	Sig. ^{a,b}	Entscheidung
1	Die Mediane von Wohlfühlen sind über die Kategorien von Schulart identisch.	Mediantest bei unabhängigen Stichproben	0,109	Nullhypothese beibehalten

a. Das Signifikanzniveau ist 0,05.

b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

Anhang 32: Fühlst du dich fit und gesund nach Sportart

Fit und Gesund	Sportart	N	1. Quartil	Median	3. Quartil
	FS	10	1,00	1,00	2,00
	HB	52	1,00	1,00	1,00
	KA	14	1,00	1,00	1,00
	LA	8	1,00	1,00	1,00

Hypothesentestübersicht

	Nullhypothese	Test	Sig. ^{a,b}	Entscheidung
1	Die Mediane von Gesund sind über die Kategorien von Sportart identisch.	Mediantest bei unabhängigen Stichproben	0,039	Nullhypothese ablehnen

- a. Das Signifikanzniveau ist 0,05.
b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

Anhang 33: Fühlst du dich fit und gesund nach Geschlecht

Fit und Gesund	Geschlecht	N	1. Quartil	Median	3. Quartil
	männlich	48	1,00	1,00	1,00
	weiblich	37	1,00	1,00	1,00

Hypothesentestübersicht

	Nullhypothese	Test	Sig. ^{a,b}	Entscheidung
1	Die Mediane von Gesund sind über die Kategorien von Geschlecht identisch.	Mediantest bei unabhängigen Stichproben	0,987 ^c	Nullhypothese beibehalten

- a. Das Signifikanzniveau ist 0,05.
b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.
c. Asymptotische Sig. mit Kontinuitätskorrektur nach Yates.

Anhang 34: Post-hoc-Test aller Sportarten

Mehrfachvergleiche (Knorpeldick_Differenz_danach_minus_davor)

	(J) Familie	(I) Familie	Differenz der Mittelwerte (I - J)	Standardfehler	Sig.	95% Konfidenzintervall	
						Untere Grenze	Obere Grenze
Bonferroni	FB	FS	,07	,12	1,000	-,27	,42
		HB	,00	,07	1,000	-,20	,21
		KA	,12	,07	,986	-,09	,34
		LA	,09	,13	1,000	-,29	,46
	FS	FB	-,07	,12	1,000	-,42	,27
		HB	-,07	,12	1,000	-,40	,27
		KA	,05	,12	1,000	-,29	,39
		LA	,02	,16	1,000	-,45	,48
	HB	FB	,00	,07	1,000	-,21	,20
		FS	,07	,12	1,000	-,27	,40
		KA	,12	,07	,826	-,08	,32
		LA	,08	,13	1,000	-,29	,45
	KA	FB	-,12	,07	,986	-,34	,09
		FS	-,05	,12	1,000	-,39	,29
		HB	-,12	,07	,826	-,32	,08
		LA	-,04	,13	1,000	-,41	,34
	LA	FB	-,09	,13	1,000	-,46	,29
		FS	-,02	,16	1,000	-,48	,45
		HB	-,08	,13	1,000	-,45	,29
		KA	,04	,13	1,000	-,34	,41

Lebenslauf

Aus datenschutzrechtlichen Gründen wird der Lebenslauf in der elektronischen Fassung der Dissertation nicht veröffentlicht.

Danksagung

Mein größter Dank gilt Herrn Professor Dr. Michael Zemlin für die Möglichkeit, einen meiner Lebensträume zu verwirklichen. Lieber Herr Professor Dr. Zemlin, ich möchte mich von ganzem Herzen bei Ihnen für die Chance bedanken, welche Sie mir durch die Betreuung meiner Arbeit ermöglicht haben. Eine Betreuung, die von Anfang an gut geplant und bestens durchdacht war. Sie waren mir stets mit Ihrer ruhigen und besonnen Art ein Vorbild. Die positiven Feedbacks nahm ich gerne etwas emotional gerührt entgegen. Vielen Dank, ich stehe tief in Ihrer Schuld.

Liebe Frau Dr. Elisabeth Kaiser und Frau Dr. Regine Weber, bei Ihnen beiden möchte ich mich in gleichem Maße bedanken. Wer Sie beide während der Promotionsphase zur Seite gestellt bekommt, kann sich glücklich schätzen. Sie beide sind in meinen Augen sowohl menschlich als auch fachlich auf höchstem Niveau angekommen. Beide standen Sie mir stets mit klugem Rat zur Seite und gaben sich größte Mühe mein Vorhaben zu unterstützen. Auch bei Ihnen beiden, möchte ich mich ausdrücklich nochmals für die perfekte Betreuung bedanken. Ich hätte es mir im Vorfeld nicht besser ausmalen können. Vielen herzlichen Dank.

Weiter möchte ich mich bei Anna Neubauer bedanken, welche mich als eine der wenigen Menschen ziemlich gut durchschaut hat und mir stets freundschaftlich zur Seite steht. Liebe Anna, vielen Dank für alles, was du in den ganzen Jahren mit mir durchgemacht hast. Ich freue mich auf zukünftige gemeinsame Projekte. Du bist eine wahre Freundin und kannst immer auf mich zählen. Vielen Dank.

Meiner Mutter gehört ein großer Anteil an dieser Arbeit. Sie war es, die mich niemals belehren oder verändern wollte, sondern mich meinen eigenen Weg gehen lassen. Liebe Mama, ich weiß, es war sicherlich nicht immer leicht für dich, aber ich hoffe trotzdem, dass du die schwierigste Zeit deines/ unseren Lebens nun endlich etwas entspannter sehen kannst. Du hast alles für mich gegeben und mir vor allem Werte vermittelt, von denen ich täglich zehren kann. Aufrichtigkeit, Fleiß, Ausdauer, Ehrlichkeit, Treue, Bescheidenheit und Demut wurden förmlich in mich eingemeißelt, vorgelebt durch dich, deine gesamte Körpersprache und Energie, welche du in jungen Jahren hattest und brauchtest. Ich wünschte, ich hätte damals anders für dich da sein können und hoffe, dass du mit dieser Arbeit erkennen kannst, dass das, was du uns bieten konntest, absolut ausreichend war. Auch wenn es ein langer Weg für mich war, so kam ich doch ans Ziel. Wer hätte das je gedacht. Danke für alles.

Lieber Joachim, dir gehört eigentlich ein eigenes Kapitel geschrieben. Ich habe dich vor rund 19 Jahren kennengelernt und war damals bereits begeistert von deiner analytischen und

schlaun Denkweise sowie deiner unglaublich ruhigen Art. Du hattest mich bereits nach dem ersten Fortbildungswochenende für dich gewonnen. Dir gilt ein besonderer Dank. Danke für deine jahrzehnteandauernde Beständigkeit und Erforschung unserer Arbeitsweise. Danke dafür, dass du stets ein offenes Ohr für mich hattest und danke dafür, dass ich mich bei Problemen jeglicher Art stets an dich wenden durfte. Du bist für mich wahrlich eine Vaterfigur geworden und ich hätte dir gewünscht, dass du die Anerkennung bekommen hättest, die einem solch starken und ehrlichen Charakter eigentlich zustehen sollte. Sicherlich von Leben und manchem Menschen geprägt, behältst du noch immer die Fassung und deine Ruhe. Du bist eine beachtenswert starke Persönlichkeit mit mehr Lebenserfahrung als zwingend notwendig. Deine Art Dinge zu reflektieren habe ich bereits früh übernommen und stets verbessert. Da du mich in den letzten Jahren verstärkt begleitet und geprägt hast, gilt auch dir mein großer Dank. Danke für die Möglichkeit, Dinge von dir zu lernen welche ich nutzen und weitergeben kann. Das betrifft sowohl den Therapiebereich als auch das Zwischenmenschliche. Ich wünsche dir, dass du noch lange bei bester Gesundheit bleibst und nun langsam zur Ruhe kommen kannst. Danke dafür, dass du so bist wie du bist.

Liebe Alex, Pia, Ida und Tom, euch an meiner Seite zu wissen gibt mir ungemein Kraft. Gerade du liebe Alex hast mich von Anfang an begleitet und unterstützt, wo es nur möglich war. Gerne hast du in manchen Punkten zurückgesteckt, damit ich einen nächsten Teilschritt machen kann. Du hast mich stets positiv beeinflusst und gefördert. Dir habe ich deshalb diese Arbeit gewidmet. Ein langer und anstrengender Weg geht hoffentlich mit dieser Arbeit zu Ende, auf welchem du mich nunmehr seit über 20 Jahren begleitet hast. Du hast mir neben deiner Unterstützung und Liebe auch drei Kinder geschenkt, welche sich absolut fantastisch entwickeln. Du hast mir gezeigt, was Familienleben ausmacht, und dafür bin ich dir unendlich dankbar. Ich liebe dich.

Liebe Pia, Ida und Tom, die Zeiten, in denen ich ständig wohin fahren muss oder am PC arbeiten muss sind nun hoffentlich bald vorbei. In Zukunft gehöre ich ganz euch. Ich erkenne viele Charaktereigenschaften an euch welche mich mit Stolz erfüllen.

Ich liebe euch.

Tag der Promotion: 07. August 2023

Dekan: Prof. Dr. Michael D. Menger

Berichterstatte: Prof. Dr. Michael Zemlin

Prof. Dr. Stefan Landgraeber