

Aus der Klinik und Poliklinik für Unfall-, Wiederherstellungschirurgie und Rehabilitative  
Medizin

(Direktor: Univ. - Prof. Dr. med. Dr. h.c. A. Ekkernkamp)  
der Universitätsmedizin der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald

**Vermessung von Parametern des Hüftgelenkes und Überprüfung der Vergleichbarkeit  
röntgenologisch/computertomographischer Hüftparameter mit der MRT-Diagnostik im  
SHIP-Normalkollektiv**

Inaugural - Dissertation

zur

Erlangung des akademischen

Grades

Doktor der Medizin

(Dr. med.)

der

Universitätsmedizin

der

Ernst-Moritz-Arndt-Universität

Greifswald

2018

vorgelegt von: Cornelius Fischer

geb. am: 19.05.1992

in: Tübingen

Dekan: Prof. Dr. med. Hans Grabe

1. Gutachter: PD. Dr. med. Jörn Lange

2. Gutachter: Prof. Dr. med. Wolfgang Lehmann

Tag der Disputation: 28.05.2020

# Inhaltsverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| <b>Inhaltsverzeichnis</b>                                     | 1  |
| <b>Abkürzungsverzeichnis</b>                                  | 5  |
| <b>1 Einleitung</b>   | 6  |
| <b>1.1 Center-Edge-Winkel</b>                                 | 7  |
| 1.1.1 Entwicklung und Anwendung                               | 7  |
| 1.1.2 Normalwerte   | 8  |
| 1.1.3 Geschlechtsunterschiede                                 | 9  |
| 1.1.4 Altersabhängigkeit                                      | 9  |
| 1.1.5 Seitenunterschiede                                      | 10 |
| 1.1.6 Demographische und geographische/ethnische Unterschiede | 10 |
| 1.1.7 Arthrose  | 11 |
| 1.1.8 Dysplasie und Pincer-Deformität                         | 12 |
| 1.1.9 Zusammenhang mit weiteren Messwerten                    | 13 |
| <b>1.2 Centrum-Collum-Diaphysen-Winkel</b>                    | 14 |
| 1.2.1 Entwicklung und Anwendung                               | 14 |
| 1.2.2 Normalwerte   | 14 |
| 1.2.3 Geschlechtsunterschiede                                 | 15 |
| 1.2.4 Altersabhängigkeit                                      | 16 |
| 1.2.5 Seitenunterschiede                                      | 17 |
| 1.2.6 Demographische und geographische/ethnische Unterschiede | 17 |
| 1.2.7 Arthrose  | 18 |
| 1.2.8 Frakturen   | 19 |
| 1.2.9 Coxa vara und Coxa valga                                | 19 |
| 1.2.10 Zusammenhang mit weiteren Messwerten                   | 20 |

|            |   |    |
|------------|---|----|
| <b>1.3</b> | <b>Alpha-Winkel</b>                                     | 21 |
| 1.3.1      | Entwicklung und Anwendung                               | 21 |
| 1.3.2      | Normalwerte   | 22 |
| 1.3.3      | Geschlechtsunterschiede                                 | 23 |
| 1.3.4      | Altersabhängigkeit                                      | 24 |
| 1.3.5      | Demographische und geographische/ethnische Unterschiede | 24 |
| 1.3.6      | Arthrose  | 24 |
| 1.3.7      | Cam-Deformität  | 25 |
| <b>1.4</b> | <b>Triangulärer Index</b>                               | 27 |
| 1.4.1      | Entwicklung und Anwendung                               | 27 |
| 1.4.2      | Demographische und geographische/ethnische Unterschiede | 27 |
| 1.4.3      | Arthrose  | 28 |
| 1.4.4      | Zusammenhang mit weiteren Messwerten                    | 28 |
| <b>1.5</b> | <b>Femurkopfdurchmesser</b>                             | 29 |
| 1.5.1      | Entwicklung und Anwendung                               | 29 |
| 1.5.2      | Geschlechtsunterschiede                                 | 29 |
| 1.5.3      | Altersabhängigkeit                                      | 29 |
| 1.5.4      | Seitenunterschiede                                      | 30 |
| 1.5.5      | Demographische und geographische/ethnische Unterschiede | 30 |
| 1.5.6      | Zusammenhang mit weiteren Messwerten                    | 31 |
| <b>1.6</b> | <b>Os acetabuli</b>                                     | 31 |
| 1.6.1      | Anatomie  | 31 |
| 1.6.2      | Ursachen  | 31 |
| 1.6.3      | Prävalenz   | 32 |
| <b>1.7</b> | <b>Fragestellung</b>                                    | 33 |
| <b>2</b>   | <b>Material und Methoden</b>                            | 34 |
| <b>2.1</b> | <b>Design der Study of Health in Pomerania (SHIP)</b>   | 34 |
| <b>2.2</b> | <b>MRT-Daten</b>  | 35 |
| <b>2.3</b> | <b>Parameter</b>  | 36 |
| 2.3.1      | Center-Edge-Winkel                                      | 37 |

|            |   |    |
|------------|---|----|
| 2.3.2      | Centrum-Collum-Diaphysen-Winkel                       | 38 |
| 2.3.3      | Alpha-Winkel  | 39 |
| 2.3.4      | Triangulärer Index                                    | 41 |
| 2.3.5      | Femurkopfdurchmesser                                  | 42 |
| 2.3.6      | Os acetabuli  | 43 |
| <b>2.4</b> | <b>Datenerfassung mit OsiriX-Plugin</b>               | 44 |
| <b>2.5</b> | <b>Statistische Methoden</b>                          | 49 |
| 2.5.1      | Zertifizierungsdaten                                  | 49 |
| 2.5.2      | Allgemeine Probandendaten                             | 49 |
| 2.5.3      | Messdaten   | 50 |
| 2.5.4      | Ableitung von Normalbereichen                         | 50 |
| 2.5.5      | Bestimmung von Prävalenzen                            | 50 |
| <b>3</b>   | <b>Ergebnisse</b>                                     | 51 |
| <b>3.1</b> | <b>Zertifizierungsdaten</b>                           | 51 |
| <b>3.2</b> | <b>Deskriptive Analyse – Ergebnisse der Messdaten</b> | 52 |
| 3.2.1      | Demographische und anamnestische Angaben              | 53 |
| 3.2.2      | Befunde aus den MRT-Bildern                           | 55 |
| <b>3.3</b> | <b>Beziehungen der Hüftparameter</b>                  | 59 |
| 3.3.1      | Korrelationen der beiden Körperseiten                 | 59 |
| 3.3.2      | Einflussfaktoren auf die gemessenen Hüftparameter     | 60 |
| 3.3.2.1    | Geschlecht  | 60 |
| 3.3.2.2    | Alter   | 60 |
| 3.3.2.3    | Interaktion zwischen Alter und Geschlecht             | 62 |
| 3.3.2.4    | BMI   | 63 |
| 3.3.2.5    | Körpergewicht   | 66 |
| 3.3.2.6    | Körpergröße   | 68 |
| 3.3.2.7    | Taillenumfang   | 70 |
| 3.3.2.8    | Nicht untersuchte Einflussfaktoren                    | 72 |
| 3.3.3      | Beziehungen der Hüftparameter untereinander           | 73 |
| <b>3.4</b> | <b>Normbereiche</b>                                   | 75 |
| <b>3.5</b> | <b>Prävalenzen abnormer Werte</b>                     | 79 |

|            |   |       |
|------------|---|-------|
| <b>4</b>   | <b>Diskussion</b>                           | 80    |
| <b>4.1</b> | <b>Einflussfaktoren auf Messdaten</b>       | 80    |
| 4.1.1      | Center-Edge-Winkel                          | 80    |
| 4.1.2      | Centrum-Collum-Diaphysen-Winkel             | 81    |
| 4.1.3      | Alpha-Winkel                                | 82    |
| 4.1.4      | Triangulärer Index                          | 83    |
| 4.1.5      | Femurkopfdurchmesser                        | 83    |
| 4.1.6      | Beziehungen der Hüftparameter untereinander | 84    |
| <b>4.2</b> | <b>Normwerte der Messdaten</b>              | 85    |
| 4.2.1      | Center-Edge-Winkel                          | 85    |
| 4.2.2      | Centrum-Collum-Diaphysen-Winkel             | 89    |
| 4.2.3      | Alpha-Winkel                                | 93    |
| 4.2.4      | Triangulärer Index                          | 97    |
| 4.2.5      | Femurkopfdurchmesser                        | 97    |
| 4.2.6      | Os acetabuli                                | 98    |
| <b>4.3</b> | <b>Limitationen</b>                         | 98    |
| <b>4.4</b> | <b>Schlussfolgerung</b>                     | 99    |
| <b>5</b>   | <b>Zusammenfassung</b>                      | 100   |
| <b>5.1</b> | <b>Hintergrund und Ziele</b>                | 100   |
| <b>5.2</b> | <b>Methodik</b>                             | 100   |
| <b>5.3</b> | <b>Ergebnisse</b>                           | 100   |
| <b>5.4</b> | <b>Schlussfolgerung</b>                     | 101   |
|            | <b>Literaturverzeichnis</b>                 | VII   |
|            | <b>Abbildungsverzeichnis</b>                | XXIII |
|            | <b>Tabellenverzeichnis</b>                  | XXV   |
|            | <b>Anhang</b>                               | XXVII |
|            | <b>Danksagung</b>                           | XLV   |

## Abkürzungsverzeichnis

AA = Alpha-Winkel

Abb. = Abbildung

a.p. = antero-posteriore Projektion

BMI = Body-Mass-Index

CCD = Centrum-Collum-Diaphysen-Winkel

CE = Center-Edge-Winkel

CT = Computertomographie

DICOM = Digital Imaging and Communications in Medicine

DXA = dual Energy X-Ray Absorbtiometry

FAI = femoroacetabuläres Impingement

HD = Femurkopfdurchmesser

ICC = Intraclass correlation coefficient

Max. = Maximum

Min. = Minimum

Miss. = Missings

MRA = Magnetresonanarthrographie

MRT = Magnetresonanztomographie

Mw = Mittelwert

n = Anzahl

PD-TSE-FS = proton density-turbo spin echo-fat saturation

SD = Standardabweichung

SHIP = Study of Health in Pomerania

SOP = Standard Operating Procedure

Stata = Data Analysis and Statistical Software

TEP = Hüfttotalendoprothese

TI = Triangulärer Index

TIRM = turbo inversion recovery magnitude

# 1 Einleitung

In Deutschland wurden nach Schätzung des Bundesamtes für Strahlenschutz im Jahr 2012 etwa 135 Millionen Röntgenuntersuchungen (konventionelle Röntgenaufnahmen, Durchleuchtungen und computertomographische (CT)-Aufnahmen) im medizinischen Bereich (ohne zahnmedizinischen Bereich: 82 Millionen) durchgeführt. Dies entspricht einer Anzahl von ca. 1,6 Röntgenuntersuchungen bzw. einer Strahlendosis von 1,8 mSv pro Einwohner. Mit 30 % aller Röntgenuntersuchungen entfiel der zweitgrößte Anteil der Röntgendiagnostik auf den Skelettapparat [1]. Auch die Hüftdiagnostik wird bisher primär anhand konventioneller Röntgen- oder CT-Bilder durchgeführt. Daher existieren bislang nur hierfür validierte Norm- und Referenzwerte. Allein an der Universitätsmedizin Greifswald wurden beispielsweise 4.212 Röntgen- und 120 CT-Untersuchungen im Jahre 2015 vorgenommen (Beckenübersichtsaufnahmen, Röntgen Hüfte, CT-Hüfte). Da in Deutschland inzwischen fast flächendeckend die Option einer Diagnostik über die Magnetresonanztomographie (MRT) vorhanden ist, besteht die Möglichkeit, Patienten ohne Strahlenbelastung zu untersuchen. Um eine genaue Diagnostik ohne Strahlenexposition zu ermöglichen, sind die Festlegung neuer Referenzwerte oder die Anwendbarkeit bestehender Normwerte eine wichtige Grundlage zur künftigen Feststellung von Hüftgelenkserkrankungen anhand von MRT-Bildern. Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es daher, eine wissenschaftliche Grundlage zur Auswertung von MRT-Bildern der Hüfte zu schaffen. Hierfür wurden der Center-Edge-Winkel (CE), der Centrum-Collum-Diaphysen-Winkel (CCD), der Alpha-Winkel (AA), der Trianguläre Index (TI) und der Femurkopfdurchmesser (HD) untersucht. Des Weiteren wurden Abhängigkeiten der Winkel untereinander sowie zu somatometrischen Daten analysiert. Aufgrund der gefundenen Abhängigkeiten wurden adjustierte Referenzwerte ermittelt. Zusätzlich wurden die Prävalenzen verschiedener Schwellenwertüberschreitungen in der Region Vorpommern bestimmt.

## 1.1 Center-Edge-Winkel

### 1.1.1 Entwicklung und Anwendung

Der Zentrum-Ecken- oder Center-Edge-Winkel (CE) wurde 1939 von Wiberg zur Beurteilung der Lage des Hüftkopfes zur Hüftpfanne anhand von antero-posterioren (a.p.) Röntgenbildern entwickelt [2]. Zur Unterscheidung vom anterioren Center-Edge-Winkel wird der CE in der Literatur häufig auch „lateral center edge angle“ genannt [3]. Da der CE die laterale Überdachung des Hüftkopfes quantifiziert, ist er wegweisend zur Unterscheidung normaler und dysplastischer Hüften [4,5]. CE-Werte von  $> 25$  Grad bezeichnete Wiberg als normal, Werte zwischen 20 und 25 Grad als Borderline und Werte  $< 20$  Grad als pathologisch und damit dysplastisch [2]. Heutzutage gilt der CE als einer der wichtigsten Kriterien zur Diagnose einer Hüftdysplasie [6]. Darüber hinaus ist der CE inzwischen der am häufigsten verwendete Parameter zur Erfassung einer Pincer-Deformität [3]. Auch eine tiefe Hüftpfanne, wie z.B. eine Coxa profunda, kann durch den CE festgestellt werden [6–8].

Der CE wird - wie ursprünglich von Wiberg beschrieben - an einem konventionellen a.p.-Röntgenbild bestimmt [2]. Bei der Röntgenaufnahme ist jedoch darauf zu achten, dass die Hüfte nicht gedreht oder gekippt ist, da Rotation und Neigung der Hüfte den CE verändern [9]. Des Weiteren muss bei der Bestimmung des CE berücksichtigt werden, dass der äußerste Punkt des Acetabulums ein lokaler Osteophyt sein kann und der CE in diesem Fall nicht exakt der Überdachung des Hüftkopfes entspricht [10].

Aufgrund der flächendeckenden Verbreitung der Computertomographie wurde die Messung des CE inzwischen auch auf die CT-Diagnostik übertragen [11–13]. In CT-Schichtbildaufnahmen wird der CE in der coronalen Ebene, die durch den Hüftkopfmittelpunkt geht, bestimmt [11–13]. Monazzam et al. untersuchten die Korrelation des CE zwischen konventionellem Röntgen und CT. Ihre Ergebnisse ließen darauf schließen, dass der im CT gemessene CE gut mit dem des Röntgen korreliert [14]. Chadayammuri et al. stellten jedoch bei ihrem Vergleich von CT und Röntgen 2015 einen erhöhten CE im CT fest [11]. Aufgrund der bislang fehlenden Validierung [15] und Standardisierung forderten Chadayammuri et al. zum besseren klinischen Nutzen die Überprüfung der CE-Messung in der CT-Diagnostik [11].

In der MRT-Diagnostik konnten Stelzender et al. einen guten Zusammenhang der CE-Werte mit den Werten im Röntgen ermitteln [16]. Auch Chen et al. zeigten anhand von 132 Hüften eine gute Korrelation des CE zwischen MRT-Bildern und a.p.-Röntgenaufnahmen (Pearson  $r = 0,84 - 0,86$ ) [17]. Harris-Hayes et al. berichteten zudem, dass der CE in der MRT-Bildgebung zuverlässig von erfahrenen, aber auch von unerfahrenen Untersuchern bestimmt werden kann [18].

### 1.1.2 Normalwerte

Die ersten Normalwerte für den CE bestimmte Wiberg 1939 an 50 Männern und 50 Frauen. Hierbei wurden Werte  $> 25$  Grad als normal eingestuft [2]. Diese Normalwertgrenze wurde in den folgenden Jahren häufig überprüft [10], dabei galten meist 95% der untersuchten CE als normalwertig. Fredensborg bestätigte in seiner Arbeit von 1976 die Normalwerte von Wiberg [5]. Janzen et al. zeigten bei ihrer Untersuchung CE-Normalwerte zwischen 23 und 43 Grad, jedoch vermaßen sie nur 15 Hüften an CT-Bildern [19]. Fowkes et al. fanden anhand von 200 CT-Hüftaufnahmen mit Werten zwischen 22,5 und 50,1 Grad ähnliche Normalwerte [20]. Auch in größeren Studienpopulationen ergaben sich bei a.p.-Röntgenbildern vergleichbare Normalwerte: Werner et al. dokumentierten bei 2.452 Hüften Werte zwischen 18,1 und 48,0 Grad [9], Laborie et al. bei 2.011 Hüftgelenken Werte von 20,8 - 45,0 Grad für Männer und 19,6 - 43,4 Grad für Frauen [10]. Danach entsprechen die bei großen Patientenkohorten gefundenen Normalwerte immer noch den von Wiberg 1939 postulierten.

Die an a.p.-Röntgenbildern ermittelten Mittelwerte asymptomatischer Probanden zeigten einen Range von 26 Grad [21] - 39 Grad [22]. Die große Kohorte ( $n = 3.859$ ) von Jacobsen et al. verdeutlichte mit einem Mittelwert von 35 Grad [23], wie gut die Werte in dem von Wiberg angegebenen Bereich liegen. Anhand von coronalen Schnittbildaufnahmen (CT und MRT) fanden sich bei erwachsenen Probanden mit 31 Grad [24] - 41 Grad [13] ebenfalls Werte innerhalb des Normalbereichs. Auch Li et al. konnten mit ihrer Studie bei Jugendlichen an 1.116 CT-Bildern mit 33,0 Grad für männliche Probanden und 35,8 Grad für weibliche Probanden Normalwerte nachweisen [25]. Insgesamt liegen die Mittelwerte aller asymptomatischer Probanden der in dieser Arbeit betrachteten Studien in den von Wiberg beschriebenen Grenzen für normale CE (siehe Tabelle 21).

### 1.1.3 Geschlechtsunterschiede

Ein umstrittenes Thema ist derzeit der Geschlechtsunterschied beim CE. Buller et al. stellten 2012 an 122 Probanden einen positiven Zusammenhang zwischen dem CE und dem weiblichen Geschlecht fest [26]. Werner et al. und später Li et al. wiesen bei Frauen bzw. Mädchen ebenfalls einen signifikant höheren CE nach ( $p < 0,05$  bzw.  $p < 0,0005$ ) [9,25]. Jacobsen et al. ermittelten für diese Geschlechtsabhängigkeit einen Unterschied des CE von einem Grad [23]. Jeremić et al. dokumentierten jedoch in einer serbischen Population einen deutlich kleineren CE für Frauen im Gegensatz zu Männern [27]. Auch bei Ägyptern [28] und Asiaten fanden sich höhere CE bei Männern [29,30]. Fowkes et al. erfassten für diese Geschlechtsdiskrepanz bei ihrer CT-Studie mit 100 Probanden einen Unterschied von 2,8 Grad [20]. Einige andere Arbeiten, wie die von McWilliams et al., Ergen et al. und Shi et al., zeigten wiederum keinen Geschlechtsunterschied des CE [31–33]. Zeng et al. konnten ebenfalls keinen Unterschied zwischen den Geschlechtern finden. Dies könnte ihrer Meinung nach jedoch den unterschiedlichen Populationen oder Messmethoden geschuldet sein [34]. Ein möglicher Geschlechtsunterschied ist laut Werner et al. jedoch klinisch unbedeutend [9].

### 1.1.4 Altersabhängigkeit

1976 stellte Fredensborg erstmals eine Altersabhängigkeit für den CE fest. Dabei stieg der CE bis zum Alter von 15 Jahren stark an, nachfolgend ließ sich nur noch ein leichter Anstieg verzeichnen [5]. Auch Monazzam et al. konnten diesen starken altersabhängigen Anstieg des CE in der Jugend nachweisen [14]. Über alle Altersgruppen hinweg konnten einige Autoren, wie beispielsweise Beall et al., ebenfalls einen altersabhängigen Anstieg des CE beobachten [35]. Auch Aly et al. konnten bei ihrer ägyptischen Population von 244 Probanden diesen Zusammenhang ermitteln [28]. Der Bezug fand sich ebenso bei Umer et al. und Park et al. in asiatischen Studienkohorten [30,36]. Als Grund für die Vergrößerung des CE nach dem Auswachsen vermutet Fredensborg entweder die Entwicklung von kleinen, nicht zu detektierenden Osteophyten oder eine Verschmälerung des Gelenkspaltes [5]. Shi et al. dagegen dokumentierten nur einen geringen Zusammenhang zum Alter [33]. Bouyer et al. ermittelten einen Korrelationskoeffizienten von 0,140 zwischen dem CE und dem Alter ihrer Probanden [37]. Diese schwache und als unbedeutend bewertete Korrelation konnte auch von Werner et al. [9] ( $r = 0,190$ ) und McWilliams et al. [32] ( $r = 0,092$ ) beobachtet werden. Zeng et al. fanden bei 100 chinesischen Probanden keinerlei Zusammenhang zwischen CE und

Probandenalter [34]. Im Kontrast dazu steht die Studie von Johnsen et al., die bei 416 Probanden einer norwegischen Sami-Population einen kleineren CE bei jüngeren gegenüber älteren Probanden feststellten [38].

### **1.1.5 Seitenunterschiede**

Über mögliche Seitenunterschiede sind die Angaben in der Literatur uneinheitlich. Einige Arbeiten, wie die von Laborie et al., stellten beim CE einen Seitenunterschied fest [10]. Werner et al. berichteten über einen höheren CE der rechten Hüfte bei ihren Probanden [9]. Morvan et al. hingegen beobachteten bei linken Hüften einen höheren CE [39]. Auch McWilliams et al. fanden in ihrer Kontrollgruppe (n = 1108) bei Frauen ( $p < 0,05$ ) und bei Männern ( $p < 0,01$ ) einen signifikant kleineren CE der rechten Seite. Der mittlere Unterschied des CE betrug dabei 0,81 Grad ( $p < 0,01$ ) [32]. Andere Studien, wie die von Tallroth & Lepisto, Fowkes et al. und Zeng et al., konnten keinen Seitenunterschied ermitteln [13,20,34]. Zeng et al. vermuteten deshalb, dass signifikante Seitenunterschiede eher durch Messfehler zustande kommen [34]. Seitenunterschiede sind jedoch laut Werner et al. klinisch nicht relevant [9].

### **1.1.6 Demographische und geographische/ethnische Unterschiede**

Zu Unterschieden weiterer demographischer Daten wie Körpergröße, Körpergewicht und Body-Mass-Index (BMI) gibt es nur wenige Arbeiten. Kapron et al. fanden bei der radiologischen Beurteilung von 134 Hüften amerikanischer College-Footballspielern einen Bezug zum Körpergewicht [40]. Zeng et al. konnten jedoch weder zur Körpergröße noch zum Körpergewicht oder BMI einen Zusammenhang mit dem CE feststellen [34]. Auch Engesaeter et al. beobachteten bei dysplastischen Hüften keine Korrelation zum BMI [41].

Einige Arbeiten berichten darüber hinaus über geographische und ethnische Variationen des CE [32]. Van Houcke et al. ermittelten beim Vergleich von 204 Chinesen und 198 Belgiern einen signifikant geringeren CE bei der chinesischen Gruppe ( $p < 0,001$ ) [42]. Beim Vergleich von Japanern mit Briten dokumentierten Yoshimura et al. diese Diskrepanz ebenfalls [43]. Auch Shi et al. beschrieben in ihrer Studie einen Unterschied des CE zwischen Ethnien [33].

### 1.1.7 Arthrose

In der Literatur herrscht größtenteils Einigkeit darüber, dass ein Zusammenhang zwischen einer Hüftdysplasie und der Entwicklung einer Hüftarthrose besteht [4,10,21,39,44–47]. Da eine Hüftdysplasie häufig mithilfe des CE diagnostiziert wird, zeigen viele Arbeiten auch einen Zusammenhang zwischen verringertem CE und der Entwicklung einer Arthrose [23]. McWilliams et al. konnten zum Beispiel beim Vergleich der CE von 1.108 arthrose-freien Hüften mit 566 arthrotischen Hüften ein deutlich höheres Arthroserisiko mit abnehmendem CE feststellen [32]. Ein allgemein gültiger Grenzwert, ab welchem CE mit einem erhöhten Arthroserisiko zu rechnen ist, ist derzeit noch nicht etabliert. Lane et al. kamen durch ihre Untersuchung bei älteren Frauen zu dem Schluss, dass ein CE unter 30 Grad ein Risikofaktor zur Entwicklung einer Arthrose ist [22]. Beim gleichen Schwellenwert ermittelten Reijman et al. nach Adjustieren auf Geschlecht, Alter und BMI anhand von 835 Männern und Frauen ein 2,8-fach erhöhtes Arthroserisiko [46]. Thomas et al. konnten einen auffälligen Zusammenhang erst ab einem Winkel von 28 Grad darstellen [47]. Bei Winkeln unter 25 Grad fanden Reijman et al. ein 4,3-fach erhöhtes Risiko [46]. Im 19-Jahres-Follow-up dokumentierten Nicholls et al. ebenfalls einen Zusammenhang zwischen einer Coxarthrose und einer Hüftdysplasie [48]. Nicht nur bei verringertem CE besteht ein Zusammenhang zur Hüftarthrose, auch sehr hohe Winkel können mit einer Arthroseentwicklung korrelieren [49]. Nardo et al. beobachteten an 3.053 Patienten über 65 Jahre, dass ein CE über 39 Grad mit einer Arthrose assoziiert ist [50]. Chung et al. ermittelten ein 2,3-fach erhöhtes Risiko für eine Hüftarthrose bei einem Schwellenwert von über 40 Grad, der eine Pincer-Deformität anzeigt [44]. Gosvig et al. berichteten sogar über ein 2,4-fach höheres Risiko, dabei lag der von ihnen angesetzte CE-Schwellenwert jedoch bei  $> 45$  Grad [51]. Agricola et al. fanden hingegen keinen Zusammenhang zwischen einer Pincer-Deformität und der Arthroseentwicklung. Die Pincer-Deformität wurde in der Arbeit von Agricola et al. jedoch nur teilweise mit einem CE über 40 Grad diagnostiziert. In ihrem Fünf-Jahres-Follow-up offenbarte sich, dass eine Pincer-Deformität eher ein protektiver Faktor bei der Arthroseentwicklung sein könnte. Auch im Hinblick auf die Schmerzverstärkung im Verlauf ergab sich kein Zusammenhang zur Pincer-Deformität [52]. Da Hüftarthrosen häufig mithilfe von Hüft-Totalendoprothesen (TEP) therapiert werden, ist es klinisch plausibel, dass verringerte CE in jungen Jahren mit einem gesteigerten TEP-Risiko einhergehen [53]. Anhand von 268 Hüften wiesen Nicholls et al. pro Grad verringerten CE ein 10,5% erhöhtes Risiko für eine TEP nach [48].

### 1.1.8 Dysplasie und Pincer-Deformität

Ein verminderter CE, der auf eine Hüftdysplasie hinweist, korreliert nach Miguel et al. mit Hüftschmerzen. Im Rahmen ihrer Untersuchung verglichen sie 122 symptomatische mit 100 asymptomatischen Probanden. Hierbei fand sich für die symptomatische Gruppe ein auffällig kleinerer CE ( $p = 0,03$ ) [54]. Für Patienten unter der Borderline-Grenze nach Wiberg konnten Engesaeter et al. zudem eine veränderte Hüftbeweglichkeit in Form einer erhöhten Innenrotation mit gleichzeitig verminderter Außenrotation feststellen [41].

Wibergs Schwellenwerte für Dysplasie und Borderline bzw. milde Dysplasie wurden von vielen Autoren, wie zum Beispiel von Mast et al. und Jacobsen et al., übernommen [4,23,55,56]. Studien zur Überprüfung der Grenzwerte nach Wiberg bestätigen diese Werte größtenteils [5,10]. In den letzten Jahren wurden die Dysplasieschwellen von  $< 20$  Grad in mehreren Arbeiten mit großen Populationen verifiziert. Dabei wurden 95% der Population als normwertig definiert. Gosvig et al. konnten Wibergs Cut-off anhand von 3.620 Probanden bestätigen [51]. Einen weiteren Nachweis brachten Laborie et al. durch ihre Arbeit, in der für die untere 2,5 Perzentile ein Wert von 21 Grad bei Männern und 20 Grad bei Frauen festgestellt wurde [10]. Engesaeter et al. verifizierten diese Ergebnisse anhand von 2.081 Norwegern [41], und auch Werner et al. schlossen sich durch ihre Arbeit diesen Schwellenwerten an [9]. Dennoch verwenden andere Arbeiten auch höhere Grenzwerte. McWilliams et al. beispielsweise sind der Ansicht, dass die Dysplasieschwelle schon bei 25 Grad anzusetzen sei [32]. Andere Studien verwenden sogar einen Grenzwert von 30 Grad zur Dysplasiebestimmung [22,46]. Für hohe CE-Werte sind in der Literatur ebenfalls Schwellen zu finden. Ein CE von  $\geq 40$  Grad gilt als Indikator für eine Pincer-Deformität oder eine Coxa profunda [7]. Andere Autoren setzen diesen Schwellenwert bei  $\geq 45$  Grad an [6,51,57]. Vollkommen einheitliche Grenzwerte sind in der Literatur derzeit nicht beschrieben.

Die Bestimmung der Häufigkeit einer Dysplasie mithilfe des CEs liefert, je nach verwendeter Schwelle, sehr unterschiedliche Werte. Bei einem Schwellenwert von  $< 20$  Grad konnten Dolan et al. eine Prävalenz von 4 % ermitteln [15]. Mit einer Gesamthäufigkeit von 3,3 % wiesen Engesaeter et al. ähnliche Werte nach. Zusätzlich stellte sich in ihrer Studienkohorte ein Unterschied zwischen den Geschlechtern dar. Für Frauen ergab sich eine Prävalenz von 4,3 %, für Männer hingegen nur von 2,4 % [41]. Diese Ergebnisse stimmen gut mit denjenigen von Jacobsen et al. mit 4.151 Teilnehmern überein [23]. Für andere Populationsgruppen zeigten sich jedoch alternative Häufigkeiten [28]. Morvan et al. stellten mithilfe des CE bei 13,3 % ihrer Kohorte eine Dysplasie fest [39]. Johnsen et al.

dokumentierten sogar einen Wert von 17 % bei der norwegischen Sami-Bevölkerung [38]. Auch bei Verwendung einer Dysplasieschwelle von  $< 25$  Grad werden sehr unterschiedliche Prävalenzen beschrieben. Croft et al. berichteten anhand von 2.604 Hüftbildern über eine Häufigkeit von 3,6 % [58]. Vergleichbare Werte fanden Inoue et al. für Franzosen (1,8 %) und Französinen (5,6 %). Bei Japanern ermittelten sie mit 11,6 % bei Frauen und 5,1 % für Männer deutlich höhere Werte [59]. Engesaeter et al. verzeichneten bei norwegischen Probanden eine Prävalenz von insgesamt 20 % (16 % Männer und 23 % Frauen) [41]. Mit 21 % ergab sich auch in der Sami-Bevölkerung eine fast identische Prävalenz [38]. Die Literatur berichtet zudem von ethnischen Unterschieden bei Prävalenzen von CE, die ein Pincer-Impingement vermuten lassen. Dudda et al. beobachteten bei CE  $> 35$  Grad eine Häufigkeit von 11 % bei Chinesen, bei Kaukasiern hingegen lag die Prävalenz bei 23 % [60]. Van Houcke et al. schlossen sich dieser Aussage an, da sie beim Vergleich von Chinesinnen und Belgierinnen einen Prävalenzunterschied von 10 % feststellten (3 % vs. 13 %) [42]. Bei einem Schwellenwert von  $\geq 40$  Grad fanden Monazzam et al. an 225 Probanden zwischen 2 und 19 Jahren eine Häufigkeit von 5,8 % für männliche Probanden und 2 % für weibliche Probanden [14]. Insgesamt zeigen sich aktuell in der Literatur für verschiedene Schwellen große Prävalenzunterschiede.

### **1.1.9 Zusammenhang mit weiteren Messwerten**

Ein Zusammenhang wurde zwischen dem CE und der Hüftgelenksspaltbreite gefunden. Nishii et al. und Daysal et al. ermittelten in ihren Arbeiten hierbei eine inverse Korrelation [29,61]. Zwischen dem CCD und dem CE wurde von Morvan et al. ebenfalls eine Korrelation nachgewiesen. Diese Korrelation war dabei schwach negativ ( $r = -0.140$  für die rechte Seite und  $r = -0.090$  für die linke Seite) [39].

## 1.2 Centrum-Collum-Diaphysen-Winkel

### 1.2.1 Entwicklung und Anwendung

Der Centrum-Collum-Diaphysen-Winkel (CCD), im englischen auch „femoral neck-shaft angle“, ist ein maßgeblicher Winkel zur Beschreibung und Beurteilung der proximalen Femurkonfiguration. Ursprünglich wird der CCD über die Schenkelhalsachse und die Femurschaftachse an einer a.p.-Röntgenaufnahme ermittelt. Bei dieser Bildgebung kann jedoch nur der projizierte CCD gemessen werden, da das Femur eine Antetorsion aufweist. Durch die Antetorsion ist der projizierte CCD höher als der reelle CCD, der mithilfe des Antetorsionswinkels errechnet werden kann [6]. Nach Hoaglund & Low entspricht der projizierte CCD in a.p.-Röntgenbildern aufgrund der geringen Antetorsion bei Kaukasiern dennoch fast dem realen CCD [62]. Der CCD ist zudem laut Tönnis bei a.p.-Röntgenbildern rotationsabhängig, wobei er sich vor allem durch eine Außenrotation der Hüfte ändert [63]. Inzwischen wurde der CCD auch auf Schnittbildverfahren wie CT und MRT übertragen [35,64–66]. Boese et al. stellten in ihrer Arbeit an 800 CT-Aufnahmen ebenfalls eine Rotationsabhängigkeit fest und schlugen eine coronale Rekonstruktion des Femurs vor, um falsch positive Coxa valga-Fälle zu vermeiden [67]. In ihrem Review zum CCD konnte der Effekt des Rotationsausgleichs jedoch nicht verlässlich verifiziert werden [68].

### 1.2.2 Normalwerte

Klinisch ist der CCD beispielsweise für die Planung von Hüftendoprothesen, Korrekturosteotomien und Osteosynthesen proximaler Femurfrakturen bedeutend. Durch den CCD werden Deformationen des Femurs, wie eine Coxa vara oder Coxa valga, bestimmt [68], wobei in der Literatur unterschiedliche Schwellen für diese Deformationen angegeben sind. Für den an einem a.p.-Röntgenbild gemessenen projizierten CCD beschreiben Waldt et al. Schwellen von  $< 120$  Grad (Coxa vara) und  $> 130$  (Coxa valga) [6]. Tönnis & Heinecke haben mit Werten von  $< 126$  (Coxa vara) und  $> 139$  (Coxa valga) höhere Grenzwerte [69]. Für Delaunay et al. galten  $\text{CCD} < 125$  Grad als Coxa vara und  $\text{CCD} > 140$  Grad als Coxa valga [4]. Noch größere Grenzwerte verwendeten Morvan et al. mit  $\text{CCD}$  unter 130 Grad für Coxa vara und  $\text{CCD}$  über 140 Grad für Coxa valga [39]. An coronalen CT-Bildern referierten Dolan et al. über Werte von kleiner 120 und größer 140 [15]. Boese et al. arbeiteten mit Schwellen von kleiner 120 Grad und größer 135 Grad bei ihrer Studie zur CT-

Normalwertbestimmung anhand von 800 Hüften [67]. Bei coronalen MRT-Schnittbildern entspricht laut Beall et al. und Aly et al. eine Coxa vara einem CCD kleiner 120 Grad, eine Coxa valga einem Winkel  $\geq 135$  Grad [35,64]. Ein normaler CCD führt zu einer möglichst geringen Belastung des Schenkelhalses und des Hüftgelenkes. Bei einer Coxa vara hingegen kommt es zur erhöhten Belastung des Schenkelhalses, bei einer Coxa valga zur höheren Belastung des Hüftgelenkes [35]. Als Normalwerte des CCD werden in der Literatur jedoch unterschiedliche Bereiche angegeben. Beall et al. und Boese et al. sprechen von Normalwerten zwischen 120 und 135 Grad [35,67]. Einen ähnlich großen Range geben Mast et al. an, wobei die Werte hier zwischen 126 und 139 Grad liegen [55]. Andere Autoren, wie beispielsweise Delaunay et al., setzen den Normalbereich kleiner an (125 - 135 Grad) [4,15].

Die meisten in dieser Arbeit betrachteten Mittelwerte liegen innerhalb aller beschriebenen Grenzen. Bei Messungen an dual Energy X-Ray Absorbtometry (DXA)-Bildern asymptomatischer Patienten zeigten sich Mittelwerte zwischen 123,2 Grad [70] und 131,4 Grad [71]. Die Mittelwerte der großen Kohorte (n = 18.943) von Elbuken et al. befanden sich mit 129,6 Grad für Männer und 129,1 Grad für Frauen ebenfalls innerhalb der Grenzen [72]. Auch die an a.p.-Röntgenbildern ermittelten Mittelwerte lagen mit Werten von 123,1 Grad [73] - 132,8 Grad [74] im Normalbereich. Boese et al. beschrieben in ihrem Review über 5.089 Hüften einen Mittelwert von 128,5 Grad bei Messungen mit Korrektur der Femurrotation und 129,5 Grad bei nicht korrigierten Messungen [68]. Bei coronalen Schnittbildaufnahmen (CT und MRT) zeigten sich mit Werten von 126,7 Grad [75] - 131,9 Grad [67] ähnliche Ergebnisse. Auch Moulton et al. konnten an 109 coronalen MRT-Bildern mit 131 Grad einen CCD-Mittelwert feststellen, der deutlich innerhalb aller beschriebener Grenzen liegt [65] (siehe Tabelle 23). Insgesamt besteht beim CCD, wie schon Tönnis und Anderson et al. berichteten, eine beträchtliche Streuung [63,76].

### **1.2.3 Geschlechtsunterschiede**

Für den CCD wird in vielen Arbeiten ein Geschlechtsunterschied beschrieben [76]. Im Gegensatz zu einigen Studien weisen Boissonneault et al. einen höheren CCD bei Frauen nach (mittlerer CCD bei Frauen von 128,4 Grad vs. 125,9 Grad bei Männern,  $p < 0.001$ ) [77]. In Studien zur Auswertung von DXA-Bildern wurden bei Karasik et al., Elbuken et al. und Nissen et al. in insgesamt 21.217 Femur-Aufnahmen ein höherer CCD bei Männern beobachtet [71,72,78]. Bei 200 Fotografien von Leichenfemora fanden Unnanuntana et al. ebenfalls einen signifikanten Geschlechtsunterschied mit größeren Winkeln bei Männern ( $p =$

0,003) [79]. Auch an a.p.-Röntgenbildern konnte diese Tendenz festgestellt werden. Park et al. und Mitra et al. wiesen an 428 bzw. 400 Hüften ebenfalls einen signifikant höheren CCD bei Männern nach ( $p = 0,036$  bzw.  $p < 0,01$ ) [36,80]. Andere Autoren konnten jedoch keinen Geschlechtsunterschied darstellen. Beispielsweise konnten Doherty et al. bei 1103 a.p.-Hüftfröntgen keinen signifikanten Unterschied zwischen männlichen und weiblichen CCD finden [81]. Umebese et al., Gilligan et al. und Iyem et al. beobachteten ebenfalls keinen Geschlechtsunterschied [82–84].

#### **1.2.4 Altersabhängigkeit**

In der Kindheit ist der CCD laut Tönnis deutlich höher als bei Erwachsenen (ca. 136 Grad im Vergleich zu 126 Grad) [63]. Beall et al. sprechen sogar von einem CCD zwischen 145 Grad und 150 Grad bei der Geburt [35]. Dieser hohe CCD sinkt aber bis zum Erwachsenenalter, in welchem er dann stabil bleibt [76]. Diesem stabilen CCD bei Erwachsenen stimmen einige Autoren zu. Gnudi et al. beispielsweise dokumentierten keinen Zusammenhang des CCD zum Alter [85]. Zu diesem Ergebnis kamen auch Nissen et al. sowie Doherty et al. und Gilligan et al. [78,81,82]. Andere Autoren beobachteten hingegen einen Zusammenhang von Alter und CCD [6]. Die Studie von Elbukem et al. basierend auf 18.943 Hüft-DXA-Aufnahmen ergab, dass der CCD mit zunehmendem Alter ansteigt [72]. Dies widerspricht den übrigen Ergebnissen der in dieser Arbeit betrachteten Studien. Beispielsweise wiesen Boese et al. mit zunehmendem Alter einen auffällig kleineren CCD nach ( $r = -0,309$ ). Diesen Trend führten sie auf physiologische Veränderungen im Alter sowie eine Abnahme der Knochendichte zurück [67]. Von dieser Abnahme des CCD berichteten Beall et al. ebenfalls [35]. Auch Buller et al. stellten an 230 Hüft-CT-Aufnahmen eine negative Korrelation zwischen CCD und Alter fest ( $-0,17 - 1$  Grad) [26]. Selbst Gilligan et al. sprechen trotz ihrer gegenteiligen Ergebnisse von der Möglichkeit, dass ein Absinken des CCD im fortgeschrittenem Alter (60 Jahre und älter) vorhanden sei [82].

### **1.2.5 Seitenunterschiede**

Des Weiteren beschrieben Gilligan et al. einen Seitenunterschied des CCD. In ihrer Arbeit mit 8.271 Leichenfemora beobachteten sie bei rechten Femora einen 1,7 Grad kleineren Winkel als bei linken. Den Unterschied führten sie auf eine Dominanz des rechten Beines zurück [82]. Auch Kim et al. konnten diesen Seitenunterschied nachweisen [86]. Die meisten Arbeiten konnten jedoch keinen Seitenunterschied zeigen. Calis et al. beispielsweise stellten 2004 bei 232 Hüften keinen Unterschied zwischen rechtem und linkem CCD fest ( $p = 0,975$ ) [87]. Auch die Arbeiten von Anderson et al., Doherty et al., Isaac et al. und weiteren Autoren konnten keinerlei Seitenunterschied dokumentieren [26,67,75,76,81,88].

### **1.2.6 Demographische und geographische/ethnische Unterschiede**

Auch zu weiteren demographischen Daten wie Körpergröße, Körpergewicht und BMI wurden Zusammenhänge beschrieben. Nissen et al. fanden einen Bezug des CCD zum Körpergewicht. Bei 249 untersuchten Probanden zeigte die Regressionsanalyse für Frauen einen negativen Zusammenhang des CCD zum Gewicht [78]. Lekamwasam et al. konnten diesen Trend durch ihre Arbeit an 280 weiblichen Femur-DXA-Bildern nicht bestätigen. Sie konnten jedoch eine Abhängigkeit zwischen CCD und der Körpergröße der Probanden beobachten [70]. Diese Beobachtung wurde auch von Nissen et al. beschrieben. Sie fanden in ihrer Arbeit ebenfalls nur bei Frauen einen auffällig positiven Zusammenhang des CCD zur Körpergröße ( $r = 0,20$ ) [78]. 2009 fanden Nissen et al. an 800 Probanden mit  $r = 0,09$  erneut eine positive Korrelation zur Körpergröße [89]. Mitra et al. hingegen konnten diese Ergebnisse in ihrer Arbeit nicht bestätigen. Des Weiteren konnten sie keinen Zusammenhang des CCD zum BMI ermitteln [80]. Auch Elbuken et al. stellten in ihrer Studienpopulation keine Abhängigkeit zwischen CCD und BMI fest ( $p = 0.377$ ) [72]. Zwischen der Schenkelhals-Knochendichte und CCD wurde von Ripamonti et al. jedoch an 228 DXA-Bildern eine auffällige inverse Korrelation gefunden ( $r = -0,154$ ) [90].

Einige Arbeiten berichten darüber hinaus über geographische und ethnische Variationen des CCD. Gilligan et al. beschreiben hierzu CCD-Mittelwerte von 126 Grad für Europäer, 125 Grad für Amerikaner und 130 Grad für Bewohner im Raum des Pazifiks. Die Unterschiede führen sie auf Temperaturunterschiede zurück, denen die Menschen in der jeweiligen Region früher ausgesetzt waren [82]. Dieser Theorie nicht entsprechend, fanden Umbese et al. bei Untersuchungen von 116 Hüften nigerianischer Erwachsener mit einem Mittelwert von 121

Grad einen abweichenden Wert. Er war damit kleiner und nicht größer als die anderer Ethnien [84]. Weitere regionale Unterschiede beschrieben Saikia et al., die bei 104 indischen Probanden einen CCD (139,5 Grad) feststellten, der um ca. 5 - 6 Grad höher war als der in der westlichen Literatur beschriebene normale CCD [91]. Beim Vergleich von Afro-Amerikanerinnen und Kaukasierinnen dokumentierten Nelson et al. überdies einen kleineren CCD bei den afro-amerikanischen Frauen [92]. Auch Van Houcke et al. beobachteten beim Vergleich von Chinesen und Kaukasiern einen Unterschied. Dabei fand sich bei den Kaukasiern ein kleinerer CCD [42]. Unnanuntana et al. hingegen konnten keinen Unterschied des CCD zwischen afro-amerikanischen und kaukasischen Skelett-Femora erkennen [79]. Mikhail et al. verzeichneten ebenfalls an jeweils 50 DXA-Aufnahmen von schwarzen und weißen Frauen keinen Unterschied des CCD [93]. Auch Anderson et al. stellten keine Anzeichen für geographische Unterschiede fest [76].

### **1.2.7 Arthrose**

Boissonneault et al. beschreiben in ihrer Studie von 2014 einen Zusammenhang des CCD zur Kniearthrose. Dabei wiesen Knie mit lateraler Arthrose im Vergleich zu Knien ohne Arthrose einen auffällig valgisierten CCD ( $p = 0,042$ ), Knie mit medialer Arthrose einen auffällig varisierten CCD ( $p = 0,043$ ) auf [77]. Auch zur Hüftarthrose konnte von Nardo et al. bei einem CCD von kleiner 125 Grad ein Zusammenhang gefunden werden [50]. Doherty et al. ermittelten ein erhöhtes Hüft-Arthrose-Risiko bei abnormalen CCD. Als abnormale CCD beschrieben sie Werte größer 140,3 Grad und kleiner 116,4 Grad. Des Weiteren zeigten sich vermehrt abnormal niedrige CCD der nicht betroffenen Hüften bei Arthrose-Patienten. Die von der Arthrose betroffenen Hüften hingegen hatten erhöhte CCD, unterschieden sich aber nicht auffällig von denen der Kontrollgruppe. Dies führte zu der Vermutung, dass ein erhöhter CCD kein Risikofaktor für Hüftarthrose ist, sondern eher eine Folge der Arthrose [81]. Viele Autoren hingegen fanden in ihren Arbeiten keinen Zusammenhang des CCD zur Hüftarthrose. Hartofilakidis et al. konnten beispielsweise keine Abhängigkeit zwischen einer Coxa vara und einer Arthroseentwicklung feststellen [94]. Bouyer et al. konnten bei ihrem 3-Jahres Follow-up bei 242 Arthrose-Patienten ebenfalls keinen Zusammenhang zwischen CCD und einer Arthrose sowie deren Fortschreiten ermitteln [37]. Auch Bardakos et al. beobachteten keinen Hinweis auf eine Assoziation zwischen fortschreitender Arthrose und CCD [95]. Die Ergebnisse von Boese et al. beim Vergleich einer Arthrose- (1.230 Hüften) und Nicht-Arthrose-Gruppe (5.089 Hüften) zeigten ebenfalls eine Unabhängigkeit von CCD und Arthrose [68].

### 1.2.8 Frakturen

Zwischen proximalen Femurfrakturen und dem CCD wird in der Literatur häufig ein Zusammenhang beschrieben. Lee et al. fanden nach Adjustierung auf Knochendichte im Vergleich von Frakturgruppe (n = 16) zur Kontrollgruppe (n = 80) einen signifikant kleineren CCD bei der Frakturgruppe (p = 0,006). Zudem kamen sie zu dem Ergebnis, dass der CCD ein knochendichte-unabhängiger Vorhersagewert für proximale Femurfrakturen bei prämenopausalen Frauen ist [96]. Dies widerspricht der allgemeinen Ansicht, dass größere CCD das Fraktur-Risiko bei Frauen erhöhen [90]. Diese Unstimmigkeiten entstehen laut Brownbill et al. durch unterschiedliche Untersuchungstechniken sowie unterschiedliche Probandenpopulationen [97]. Bei weiblichen Frakturpatienten konnten Gnudi et al. 1999 und 2012 einen auffällig valgischeren CCD feststellen. Des Weiteren ergab die logistische Regression, dass der CCD als Risikofaktor unabhängig von Knochendichte, Alter und Geschlecht Frakturen prognostizieren kann. Diese Beobachtung führten Gnudi et al. auf den längeren Hebelarm infolge des größeren CCD bei Stürzen auf die Seite zurück [85,98]. Kaptoge et al. beobachteten ebenfalls bei Frauen einen höheren CCD bei Patienten mit proximalen Femurfrakturen [99]. Auch Alonso et al. konnten diesen Trend beim Vergleich von 411 Frakturpatienten zu 545 Kontrollpatienten nachweisen (p < 0,001) [100]. Bei Oberschenkelhalsfrakturen fanden Calis et al. im Vergleich von 29 Frauen mit Fraktur zu 232 Frauen ohne Fraktur ebenfalls einen erhöhten CCD [87]. Bei Frauen mit Trochanterfraktur wiederum konnten Ito et al. einen noch höheren CCD als bei Frauen mit Schenkelhalsfraktur dokumentieren [101]. Maeda et al. hingegen beobachteten bei Patienten mit Trochanterfrakturen kleinere CCD als bei Patienten mit Schenkelhalsfrakturen [102]. Bei Männern wiesen Alonso et al. einen signifikant höheren CCD der Frakturgruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe nach (p < 0,010) [100]. Diese Beobachtung dokumentierten Ripamonti et al. in ihrer Arbeit ebenfalls (p = 0,050). Jedoch konnte der CCD hierbei nicht unabhängig von der Knochendichte ein erhöhtes Frakturrisiko vorhersagen [90].

### 1.2.9 Coxa vara und Coxa valga

In der CT-Studie von Boese et al. wurden bei den rotations-korrigierten Probanden (n = 800) 5,1 % als Coxa vara (CCD < 120 Grad), 69,8 % als physiologisch und 25,1 % als Coxa valga (CCD ≥ 135 Grad) eingestuft. Bei den „pseudo“ a.p.-Röntgenbildern zeigte sich eine Verteilung von 2,1 % Coxa vara, 57 % physiologisch und 40,9 % Coxa valga [67].

Unnanuntana et al. erfassten bei 61,5 % ihrer 200 Photographien von Skelettfemora einen CCD zwischen 130 und 140 Grad [79]. Doherty et al. hingegen beschrieben nur 4,9 % ihrer an a.p.-Röntgenaufnahmen gemessenen CCD als abnormal hoch ( $> 140,3$  Grad). Als abnormal niedrig deklarierten sie Werte kleiner 116,4 Grad und damit 2,9 % ihrer Population [81]. Lequesne et al. fanden bei gleicher Aufnahmetechnik mit 5,8 % Coxa valga ( $> 140$  Grad) bei 223 Probanden eine vergleichbare Prävalenz [74].

#### **1.2.10 Zusammenhang mit weiteren Messwerten**

Zu den weiteren in der vorliegenden Arbeit bestimmten Werten (CE, AA, TI und HD) wurde kein Zusammenhang des CCD beschrieben. Park et al. konnten keine Korrelation zwischen dem CCD und dem CE feststellen [36]. Auch für den Femurkopfradius und damit für den Femurkopfdurchmesser ergab sich in der Arbeit von Nissen et al. kein Zusammenhang mit dem CCD [78].

Eine Korrelation des CCD zu Patienten mit femoroacetabulärem Impingement (FAI) konnten Aly et al. weder bei Cam-Impingements noch bei Pincer-Impingements dokumentieren [64]. Ng et al. jedoch konnten bei symptomatischen Patienten mit erhöhtem AA (Cam-Impingement-Patienten) im Vergleich zur asymptomatischen Gruppe und Kontrollgruppe auffällig niedrigere CCD nachweisen [103].

## 1.3 Alpha-Winkel

### 1.3.1 Entwicklung und Anwendung

Der Alpha-Winkel (AA) wurde 2002 zur Quantifizierung der Sphärizität des Femurkopf-Hals-Übergangs von Nötzli et al. anhand von MRT-Bildern entwickelt. Sie konnten nachweisen, dass der femorale Kopf-Hals-Übergang bei symptomatischen FAI-Patienten auffällig weniger konkav ist als der Übergang bei asymptomatischen Probanden [104]. Weitere Autoren, wie beispielsweise Beaulé et al. und Kumar et al., fanden ebenfalls einen höheren AA bei symptomatischen FAI-Probanden [66,105–107].

Nötzli et al. konnten bei dem von ihnen eingeführten AA eine gute Reproduzierbarkeit der Messungen zwischen 4 Untersuchern ermitteln [104]. Diese hohe Reliabilität veranlasste auch andere Untersucher, wie Clohisy et al., den AA in ihren Studien zu verwenden [108]. Inzwischen wurde die Bestimmung des Alpha-Winkels, teilweise in modifizierter Form, auch auf die Röntgen- [108] und CT-Diagnostik [105] übertragen. Seit einigen Jahren ist der AA der am häufigsten verwendete Messwert zur Erfassung einer Cam-Deformität in der FAI-Diagnostik [3].

Ursprünglich wird der AA in der axial-obliquen Ebene an MRT-Datensätzen der Hüfte bestimmt (siehe 2.3.3) [104]. Andere Autoren erheben den AA in vielen Schnitten radial um die Schenkelhalsachse [109]. Hierbei wird häufig nach jeweils 15 Grad ein Schnittbild generiert. Diese Schnittbilder werden dann in einem Uhrensystem beschrieben: 12 Uhr entspricht dabei dem superioren, drei Uhr dem anterioren Schnitt [110,111]. Da im axial-obliquen Schnitt nur eine Ebene des femoralen Kopf-Hals-Übergangs beurteilt werden kann, bewerten Rakhra et al. und Chakraverty et al. die radiale Messmethode als genauer [112,113]. Anhand einiger Studien, bei denen radiale Messungen durchgeführt wurden, konnte festgestellt werden, dass der AA meist antero-superior bzw. auf 1:30 Uhr den größten Winkel aufweist [31,66,107,111]. In der CT-Diagnostik kann der AA in den gleichen Ebenen wie beim MRT ermittelt werden [31]. Auch die coronale Ebene durch den Femurkopfmittelpunkt bietet, wie von Kumar et al. und Joo et al. beschrieben, in der MRT-Bildgebung eine gute Möglichkeit zur Bestimmung des AA [114,115].

In der Röntgen-Diagnostik können zur Bestimmung des AA antero-posteriore, „frog-leg lateral“- , „cross-table“- und „Dunn“-Aufnahmen verwendet werden [108,116]. Welche Aufnahmetechnik die genaueste Bestimmung des AA ermöglicht, ist in der Literatur bislang

umstritten. Nach Clohisy et al. ist die „frog-leg lateral“-Aufnahme die genaueste Bildebene zur Bestimmung des AA [108], Meyer et al. hingegen präferieren die „Dunn“- oder die „cross-table“-Aufnahme. Zudem sind sie der Ansicht, dass a.p.-Aufnahmen zu unpräzise sind [116]. Gosvig et al. und Pollard et al. stellten fest, dass sich der AA im a.p.-Röntgenbild durch Rotation verändert [117,118]. Von Kumar et al. jedoch wurde eine gute Korrelation zwischen Messungen an coronalen MRT-Daten und Messungen an a.p.- bzw. „frog-leg lateral“-Röntgenbildern dokumentiert [115].

### 1.3.2 Normalwerte

Als Normalwerte des AA wurden von Nötzli et al. anhand von 35 Patienten Werte unter 50 Grad benannt [104]. Beaulé et al. beurteilten durch ihre Arbeit mit 20 dreidimensionalen CT-Aufnahmen einen AA bis 53 Grad als normwertig [105], andere Autoren fanden deutlich höhere Normwerte. Agricola et al. beispielsweise ermittelten bei der Untersuchung von a.p.-Röntgenbildern eine Obergrenze für Normalwerte von 60 Grad, da sich in der untersuchten Studienpopulation deutlich eine bimodale Verteilung zeigte [119]. Mittels 83 „cross-table“-Aufnahmen bestimmten Pollard et al. AA-Werte von 32 – 62 Grad als 95 % Referenzintervall [118]. Bei gleicher Aufnahmetechnik wiesen Bouma et al. anhand von ebenfalls 83 asymptomatischen Patienten mit 33 – 66 Grad nur leicht höhere Normalwerte nach [120]. Zu vergleichbaren Ergebnisse kamen auch weitere Autoren. In axial-obliquen CT-Daten berichteten Lepage-Saucier et al. durch Ermittlung des 95 %-Referenzintervalls über Normwerte von 22 – 68 Grad bei Männern und 32 – 69 Grad bei Frauen [57]. Gosvig et al. errechneten die Normalwerte des AA durch den Mittelwert plus einer Standardabweichung. In ihrer normalverteilten Studienpopulation ergaben sich dadurch Werte bis zu 68 Grad, wobei der AA an a.p.-Röntgenbildern gemessen wurde [117]. Unter Verwendung des 95 %-Referenzintervalls (Mittelwert  $\pm$  1,96 \* Standardabweichung) wurden von Fraitzl et al. Normalwerte bis 70 Grad bei Männern und 61 Grad bei Frauen festgestellt [121]. In diesen großen Studienpopulationen zeigten sich also relativ einheitliche Normwerte. Diese Werte konnten Clohisy et al. mit 67 Grad auch bei 24 Probanden in „frog-leg“-Röntgenaufnahmen ermitteln. Bei Betrachtung derselben Patienten in Cross-Table-Bildern fand sich jedoch eine Obergrenze von 77 Grad [108]. Laborie et al. erfassten noch höhere Normalwerte. Dafür verwendeten sie als untere Grenze die 2,5 Perzentile und als Obergrenze die 97,5 Perzentile. Es ergaben sich bei 2.005 a.p.-Röntgenaufnahmen für Männer AA von 43 – 93 Grad und für Frauen AA von 39 – 94 Grad [122].

Die Mittelwerte asymptomatischer Probanden der in dieser Arbeit betrachteten Studien wiesen eine hohe Breite auf (siehe Tabelle 25). In axial-obliquen MRT-Daten dokumentierten Nötzli et al. mit 42 Grad den niedrigsten Mittelwert des AA [104]. Bei gleicher Aufnahmetechnik, jedoch an CT-Daten beobachteten Chakraverty et al. anhand von 100 Hüften schon einen Mittelwert (52,5 Grad) der größer war als der obere Grenzwert von Nötzli et al. [112]. Bei radialen Schnittbildaufnahmen (CT und MRT) um den Schenkelhals reichten die Mittelwerte bei erwachsenen weiblichen Probanden von 46,7 Grad [31] – 56 Grad [42]. Auch die männlichen Probanden wiesen bei van Houcke et al. einen mittleren AA von 56 Grad auf [42]. An 994 coronalen MRT-Bildern ermittelten Joo et al. Mittelwerte von 50,6 Grad bei Männern bzw. 49,8 Grad bei Frauen [114]. Frank et al. berichteten in ihrem Review über AA aus 2.114 MRT- und CT-Daten einen Mittelwert von 54,1 Grad, der damit deutlich über den von Nötzli et al. vorgeschlagenen Grenzen liegt [123]. Bei a.p.-Röntgenbildern ist der Range der hier betrachteten Studien sogar noch größer. Er reicht von 44,4 Grad bei Frauen [117] bis 61,1 Grad bei Männern [122]. Die Kohorte von Gosvig et al. mit 3.202 untersuchten Hüften weist Mittelwerte von 44,4 Grad bei Frauen bis 53,1 Grad bei Männern auf. Damit liegen die männlichen Probanden von Gosvig et al. ebenfalls im Mittelwert schon über der Grenze von Nötzli et al. [124].

### **1.3.3 Geschlechtsunterschiede**

Der größte Teil der Autoren stimmt dahingehend überein, dass der AA eine deutliche Geschlechtskomponente aufweist. Männer haben schon ab dem Kindesalter einen auffällig höheren Wert als Frauen im selben Alter [14,25]. Diese Verteilung findet sich sowohl bei jungen Erwachsenen [122] als auch in den nachfolgenden Lebensjahren [31,107,111,117,125]. Auch Gruppen mit symptomatischem FAI oder Dysplasie [105,126] und asymptomatischen Populationen [121,127] weisen diese geschlechtsabhängigen Unterschiede auf. Wenige Autoren gaben jedoch andere Ergebnisse an: Pollard et al. und Joo et al. dokumentierten in ihren Studien keinen Geschlechtsunterschied [114,118], Kang et al. beobachteten sogar bei 50 asymptomatischen neuseeländischen Probanden einen höheren AA bei Frauen [128].

### **1.3.4 Altersabhängigkeit**

Weiterhin zeigt der AA eine Altersabhängigkeit. Laut Monazzam et al. nimmt er mit fortschreitender Entwicklung vom 2. bis zum 19. Lebensjahr kontinuierlich ab [14]. Bixby et al. beobachteten hingegen in ihrer Arbeit an 132 Probanden zwischen 12 und 18 Jahren keine Altersabhängigkeit des Alpha-Winkels [109]. Ab dem Erwachsenenalter, nach vollständigem Auswachsen der Knochenstruktur, ist laut mehrerer Arbeitsgruppen kein Zusammenhang mehr zwischen AA und Lebensalter zu finden [105,110,111,114,127]. In der Arbeit von Toogood et al. zeigte sich jedoch eine Altersabhängigkeit, denn der AA war in der Altersgruppe > 50 Jahre signifikant höher ( $p < 0,01$ ) [107]. Auch Fraitzl et al. sahen in ihrer Arbeit 2013 einen Zusammenhang zwischen dem Alter und dem AA. Da es sich um einen sehr schwachen Zusammenhang (Pearson  $r = 0,070$ ) handelte und auch nur bei Frauen zu finden war, interpretierten sie dieses Ergebnis als nicht relevante Korrelation [121].

### **1.3.5 Demographische und geographische/ethnische Unterschiede**

In den letzten Jahren wurde bei einigen Studien beobachtet, dass bei Leistungssportlern verschiedener Sportarten häufig ein erhöhter AA zu finden ist. Diese Ergebnisse wurden bei professionellen Fußballspielern [129], Profi-Eishockeyspielern [130,131], Basketballspielern [132] und College-Footballspielern [40] ermittelt. Kapron et al. stellten bei den untersuchten Footballspielern auch eine Korrelation des AA mit dem BMI und dem Körpergewicht der Probanden fest [40]. Auch Kumar et al. dokumentierten in ihrer Arbeit diesen Zusammenhang [106], andere Autoren, wie z.B. Jung et al., konnten in ihren Studien hingegen keinen Zusammenhang des AA zum BMI beobachten [110,124,127].

Die Normwerte des AA weisen laut aktuellen Studien Unterschiede zwischen den Ethnien auf. Joo et al. stellten fest, dass Kaukasier deutlich öfter pathologische AA-Werte aufwiesen als Asiaten [114]. Auch van Houcke et al. fanden im Vergleich mit Chinesen bei Kaukasiern einen signifikant höheren AA ( $p < 0,001$ ) [42].

### **1.3.6 Arthrose**

Dass ein hoher AA das Risiko eine Hüftarthrose zu entwickeln erhöht, wiesen z.B. Ecker et al. in ihrer Studie 2007 nach [49]. Auch Thomas et al. dokumentierten bei ihrer Longitudinalstudie über 19 Jahre an 1.003 weiblichen Probanden einen Zusammenhang

zwischen einem AA von  $> 65^\circ$  und einer Arthroseentwicklung. Dabei erhöhte sich das Arthrose-Risiko um 5 % pro Grad höherem AA. Das Risiko eine Hüftendoprothese stieg im gleichen Intervall um 3 % an [47]. Nicholls et al. beschrieben ebenfalls einen Zusammenhang des AA zur Arthrose und konnten auch ein erhöhtes Risiko für die Notwendigkeit einer Hüftprothese feststellen. Hierbei ermittelten sie pro AA-Grad Erhöhung ein 5,8 % höheres Risiko für eine Hüftprothese innerhalb von 20 Jahren [48].

### **1.3.7 Cam-Deformität**

Zwischen einem erhöhten AA, der auf eine Cam-Deformität hinweist, und Hüftschmerzen wurde von Miguel et al. eine Korrelation beobachtet [54]. Für Patienten mit AA-Werten  $> 60$  Grad fand sich zudem ein höheres Risiko, Hüftschmerzen zu entwickeln [125]. Des Weiteren wurde ein Zusammenhang zwischen einer eingeschränkten Innenrotation der Hüfte in Flexionsstellung und einem erhöhten AA ermittelt [3,115]. Mit erhöhtem AA geht außerdem laut Pun et al. ein stärkerer Knorpelschaden der Hüftpfanne einher [3]. Zu Schwellenwerten für das Vorliegen einer Cam-Deformität finden sich in der Literatur bislang keine einheitlichen Angaben. Als Schwellenwerte für eine Cam-Deformität werden derzeit AA-Werte zwischen 50 und 83 Grad beschrieben [119]. Nötzli et al. gaben als Erste einen Schwellenwert von  $> 50$  Grad an [104], der von einigen Autoren übernommen wurde [15,40]. Manche Arbeitsgruppen verwendeten mit einem Wert von  $> 50,5$  Grad eine nur geringfügig höhere Schwelle [105,110]. Mit einem AA-Schwellenwert von  $> 55$  Grad wird aktuell in sehr vielen Studien gearbeitet [31,42,110,112,128,133], deshalb gilt er als der derzeit am häufigsten verwendete Schwellenwert [3]. Jedoch sind hier beispielsweise Chakraverty et al. und Omoumi et al. sowie weitere Autoren der Meinung, dass dieser Schwellenwert für eine Cam-Deformität noch zu niedrig angesetzt ist [112,134]. Auch Sutter et al. machten deutlich, dass die Schwelle zu niedrig ist, weshalb sie einen Wert von  $> 60$  Grad vorschlugen [111]. Diese Schwelle wurde wiederum von Pollard et al. bereits 2010 als zu niedrig eingestuft [118]. Kumar et al. schlugen dann in ihrer Studie 2013 einen Grenzwert von  $> 65$  Grad vor [115].

Die Ergebnisse zahlreicher Studien zeigen, dass bei der Schwellenwertbestimmung eine Trennung nach Geschlecht erforderlich ist. Hartofilakidis et al. fanden in ihren Untersuchungen eine Schwelle von  $> 68$  Grad für Männer und  $> 50$  Grad für Frauen [94]. Gosvig et al. ermittelten an 3.202 Probanden durch Verwendung der ersten und zweiten Standardabweichung pathologische und „borderline“ Schwellenwerte für die Cam-

Deformität. Für Männer waren AA-Werte von  $> 83$  Grad pathologisch, und zwischen 69 Grad und 82 Grad wurden sie als Borderline eingestuft. Bei Frauen galten Werte  $> 57$  Grad als pathologisch und Werte zwischen 51 Grad und 56 Grad als Borderline-Werte [117]. Andere Arbeitsgruppen, wie die von Joo et al. und Jung et al., übernahmen diese Schwellen in ihren Untersuchungen [114,127]. Die Werte für Frauen an a.p. Bilder beurteilten Laborie et al. sogar als zu niedrig [122]. Agricola et al. sind der Ansicht, dass ein Schwellenwert beim AA nicht durch das 95 %-Referenzintervall ermittelt werden kann, da viele Studien eine Prävalenz von über 5 % für an AA diagnostizierten Cam-Deformitäten beschreiben. Anhand der 2014 in ihrer Arbeit an 2.005 a.p.-Röntgenbildern gezeigten bimodalen Verteilung schlugen sie einen Grenzwert von  $> 60$  Grad für eine Cam-Deformität und eine Schwelle von  $> 78$  Grad für eine pathologische Cam-Deformität vor. Des Weiteren sprechen sich Agricola et al. gegen eine Trennung der Geschlechter bei Schwellenwerten aus [119]. Aufgrund der großen Schwankungen der Angaben zum Schwellenwert und Arbeiten, die große Überlappungen zwischen symptomatischen und asymptomatischen Probanden aufwiesen, sind manche Autoren der Meinung, dass der AA keine exakte Methode ist, um asymptomatische Patienten von symptomatischen FAI-Patienten zu unterscheiden [57]. Da aktuell kein Konsens über mögliche Schwellenwerte und Normalwerte des AA bestehen [57], ist ein Ziel der vorliegenden Arbeit, entsprechende Normwerte zu ermitteln.

Die Prävalenz einer Cam-Deformität, die durch den AA bestimmt wurde, ist in der Literatur unterschiedlich. Bei einer asymptomatischen Population mit 215 männlichen und 540 weiblichen Hüftenbildern berichteten Jung et al. über eine Prävalenz von fast 14 % für pathologische AA ( $\geq 83$  Grad) bei Männern und 5,56 % bei Frauen. Als Borderline-Hüften (69 - 82 Grad) erwiesen sich 14,88 % der männlichen und 6,11 % der weiblichen Hüften [127]. Hack et al. fanden bei 14 % ihrer 200 asymptomatischen Probanden eine Cam-Deformation (AA  $> 50,5$  Grad). Davon zeigte sich die Deformität bei 10,5 % beidseitig, bei 3,5 % nur einseitig [110]. Andere Autoren gehen von einer höheren Prävalenz der Cam-Deformität aus, Tsitskaris et al. dokumentierten zum Beispiel eine Prävalenz von 18 – 20 %, ihr Schwellenwert lag jedoch bei einem AA  $> 55$  Grad [133]. Chakraverty et al. beobachteten sogar bei 26 % der 100 untersuchten Hüften einen AA  $> 55$  Grad in der 1-Uhr-Position der radialen CT-Aufnahmen um die Schenkelhalsachse [112]. Diese Prävalenzunterschiede mögen auch den unterschiedlichen Schwellenwerten zu Grunde liegen.

## **1.4 Triangulärer Index**

### **1.4.1 Entwicklung und Anwendung**

Der Trianguläre Index (TI) wurde von Gosvig et al. an a.p.-Röntgenbildern entwickelt und beschreibt die Sphärizität des femoralen Kopf-Hals-Übergangs. Durch den TI können damit Veränderungen des Femur-Kopf-Hals-Übergangs detektiert werden. Beispielsweise besteht eine Cam-Deformität oder „Pistol-grip“ Deformität laut Gosvig et al. dann, wenn der ermittelte TI den Femurkopfradius um zwei oder mehr Millimeter übersteigt [51,117,124]. Auch in der MRT-Diagnostik wird der TI angewendet, wobei er in coronalen Schnittbildern gemessen wird. Kumar et al. beobachteten einen Zusammenhang der TI-Werte des MRT zu denen der a.p.-Röntgenaufnahmen. Ihre Ergebnisse zeigen, dass die MRT-Diagnostik eine gute Alternative zum Röntgen ist [115].

### **1.4.2 Demographische und geographische/ethnische Unterschiede**

Eine Korrelation des TI mit dem Alter konnten Gosvig et al. nicht feststellen [124]. Fraitzl et al. ermittelten bei der Betrachtung von Alter und TI einen Pearson Korrelationskoeffizienten von  $r = 0,030$  bei Männern und  $r = 0,070$  bei Frauen und konnten damit ebenfalls keinen auffälligen Zusammenhang finden. Jedoch zeigte sich bei Betrachtung der an a.p.-Röntgenbildern ermittelten TI-Werte ein Unterschied in den Geschlechtern [121]. Auch Nelson et al. dokumentierten diesen Unterschied an 168 Hüftbildern. Dabei wiesen Männer einen auffällig größeren TI auf [135]. Gosvig et al. fanden schon 2007 höhere Werte bei Männern und verwiesen auf dieselben Geschlechtsunterschiede beim AA [117]. Einen Zusammenhang des TI mit dem BMI schlossen Gosvig et al. in ihrer Untersuchung 2008 aus [124]. Kumar et al. jedoch beobachteten einen Zusammenhang bei durch hohen TI diagnostizierte Cam-Patienten und ihrem Gewicht bzw. BMI [106]. Ethnische Unterschiede des TI konnten Mosler et al. in ihrer Untersuchung von 445 professionellen Fußballspielern feststellen. Hierbei dokumentierten sie auffällig höhere TI-Werte bei Kaukasiern im Vergleich zu Arabern, Dunkelhäutigen, Ostasiaten und Persern [136].

### **1.4.3 Arthrose**

Hüftgelenke mit einer durch den TI bestimmten „Pistol-grip“- Deformität weisen nach Gosvig et al. ein 2,2-fach erhöhtes Risiko einer Arthroseentwicklung auf [51]. Castaño-Betancourt et al. untersuchten 688 Patienten, wobei sich im 6,5-Jahre-Follow-up bei insgesamt 132 Hüften eine Arthrose fand. Daraus wurde geschlossen, dass der TI ein guter Vorhersagewert zur Entwicklung einer Hüftarthrose ist [137]. Auch Thomas et al. dokumentierten bei 358 Arthrose-Patienten, nach Adjustierung auf Alter und BMI, einen auffällig höheren TI im Verhältnis zur arthrose-freien Gruppe [47]. Diese Beobachtung machten auch Nelson et al. in ihrer Arbeit [135].

Zwischen dem Risiko, dass eine Hüftendoprothese in den folgenden 19 Jahren nötig wird und dem TI besteht laut Nicholls et al. ebenfalls ein Zusammenhang [48]. Diesen Zusammenhang konnten auch Thomas et al. nachweisen [47]. Die Prävalenz einer über den TI bestimmten Deformität wird sehr variabel angegeben. 2007 ermittelten Gosvig et al. an 2.803 Probanden eine Häufigkeit von 10 % bei Männern und 2 % bei Frauen [117]. In späteren Studien mit höheren Fallzahlen nahm diese Prävalenz zu. In einer nachfolgenden Studie 2008 fand sich eine Häufigkeit von ca. 17 % bei Männern und 4 % bei Frauen (n = 3.202) [124]. 2010 berichtete die gleiche Arbeitsgruppe von 19,6 % bei 1.332 untersuchten Männer und 5,2 % bei 2.288 untersuchten Frauen [51].

### **1.4.4 Zusammenhang mit weiteren Messwerten**

In a.p.-Röntgenbildern beobachteten Gosvig et al. 2007 mit Odds-Ratios zwischen 8,6 und 35 einen starken Zusammenhang zwischen AA und TI [117]. Diesen starken Zusammenhang fanden 2008 Gosvig et al. auch an 3.202 Patienten. Hierbei lagen die Odds-Ratios zwischen 16,4 und 24,1 [124]. Kumar et al. konnten 2013 diese Korrelation an a.p.-Röntgenbildern von 50 Patienten sowie Röntgenbildern im „lateral view“ ebenfalls feststellen [115]. Bei Rotation der Hüfte (20 Grad Innenrotation bis 20 Grad Außenrotation) zeigten sich im Gegensatz zum AA relativ unveränderte TI-Werte [117]. Aufgrund dieser Rotationsunabhängigkeit bewerteten Gosvig et al. den TI als zuverlässigeren Parameter zur Diagnostik einer Cam-Deformität und empfehlen ihn für weitere epidemiologische Studien an a.p.-Röntgenbildern [124]. Auch in der MRT-Diagnostik konnten Kumar et al. einen Zusammenhang zwischen dem TI und dem AA nachweisen [115].

## **1.5 Femurkopfdurchmesser**

### **1.5.1 Entwicklung und Anwendung**

Der Femurkopfdurchmesser (HD) beschreibt die maximale Ausdehnung des Hüftkopfes. Nach Mose wird der HD an a.p.-Röntgenbildern mithilfe einer Ringschablone ermittelt [138]. In der MRT-Diagnostik wird zur Bestimmung des HD der coronale Schnitt verwendet, der den größten HD aufweist. Zur Größenbestimmung wird hier eine digitale Ringschablone verwendet [16,64]. Für „normale“ Patienten geben Murphy et al. einen Hüftkopfradius von 2,35 cm und damit einen HD von 47 mm an [139]. Jedoch finden sich bei Betrachtung der Mittelwerte des HD in der Literatur deutlich variierende Angaben (siehe Tabelle 29). Hoaglund & Low beispielsweise stellten einen mittleren HD von 40,0 mm bei weiblichen chinesischen Skelettfemora fest [62]. Das andere Extrem beobachteten Nelson et al. mit einem mittleren HD von 62,9 mm in a.p.-Röntgenbildern einer Kontrollgruppe [135].

### **1.5.2 Geschlechtsunterschiede**

Einigkeit herrscht in der Literatur über einen vorhandenen Geschlechtsunterschied beim HD. Dabei ist der männliche Hüftkopf unabhängig davon welche regional oder ethnisch unterschiedliche Gruppen betrachtet werden, deutlich größer als der weibliche [83,140,141]. Lee et al. fanden wie Nissen et al. einen Unterschied der Mittelwerte von 4,00 mm [78,142]. Noch höhere Unterschiede dokumentierten Cho et al. mit 5,25 mm [143], Unnanuntana et al. mit 6,80 mm [79] und Young et al. mit 7,30 mm [80]Tabelle 29.

### **1.5.3 Altersabhängigkeit**

Zur Altersabhängigkeit des HD finden sich unterschiedliche Angaben. Nissen et al. beobachteten 2005 mit einem Korrelationskoeffizienten von  $r = 0,350$  bei Männern und  $r = 0,300$  bei Frauen einen direkten Zusammenhang des HD zum Patientenalter [78]. 2009 bestätigten sie diese Korrelation erneut an weiteren 800 Probanden [89]. Iyem et al. hingegen beobachteten in ihrer Arbeit mit 162 Patienten einen Korrelationskoeffizienten von  $r = -0,033$  und damit keinen auffälligen Zusammenhang [83].

#### **1.5.4 Seitenunterschiede**

Ein signifikanter Unterschied der Körperseiten konnte von Isaac et al. nicht festgestellt werden [88]. Auch Mitra et al. ermittelten an Röntgenbildern von 200 gesunden iranischen Probanden mit einem p-Wert von  $p > 0,050$  keine Auffälligkeit [80]. Dimitriou et al. hingegen beobachteten einen signifikanten Unterschied zwischen rechtem und linkem HD ( $p < 0,01$ ), dabei war der rechte Femurkopf größer [75].

#### **1.5.5 Demographische und geographische/ethnische Unterschiede**

Der HD weist nach Nissen et al. mit  $r = 0,150$  eine auffällige Korrelation zum Körpergewicht auf. Zur Körpergröße fanden sie ebenfalls einen Zusammenhang ( $r = 0,220$ ) [89]. In einer früheren Studie von Nissen et al. ergab sich in den Regressionsanalysen ebenfalls dieser positive Zusammenhang für beide Geschlechter [78]. Gleichermaßen beobachteten Wang et al. an 13 männlichen chinesischen Leichenfemora eine Beziehung zwischen dem HD und der Körpergröße [144]. Auch Mitra et al. konnten für Männer und Frauen bei zunehmender Körpergröße einen steigenden HD beobachten. Einen Zusammenhang zum BMI konnten sie jedoch in ihrer Arbeit nicht feststellen ( $p > 0,050$ ) [80].

Die Literatur beschreibt unterschiedliche HD zwischen geographischen Regionen und zwischen verschiedenen Ethnien [83,87,142,143,145,146]. Es finden sich jedoch auch Übereinstimmungen. Atila et al. wiesen beispielsweise keinen Unterschied zwischen türkischen und kaukasischen HD nach [147]. Auch zwischen Kaukasiern und Afro-Amerikanern beobachteten Young et al. keinen auffälligen Unterschied [141]. Giroux et al. hingegen konnten eine Diskrepanz der HD zwischen weißen und farbigen US-Amerikanern feststellen [140]. Bei Weißen und Farbigen berichteten Gill et al. weitaus größere HD als bei Ost-Asiaten und Indern [148]. Auch für Thailänder konnten Mahaisavariya et al. und Saengnipanthkul et al. mit einem mittleren HD von 44,0 mm und 40,3 mm (bei Frauen) deutlich kleinere Werte finden als bei Kaukasiern [149,150]. Für malaysische Probanden dokumentierten Lee et al. im Verhältnis zu Kaukasiern ebenfalls auffällig kleinere HD ( $p < 0,005$ ) [142].

## **1.5.6 Zusammenhang mit weiteren Messwerten**

Eine Beziehung des HD zum CCD ist umstritten. Iyem et al. beobachteten eine sehr starke positive Korrelation ( $r > 0,75$ ) [83], wohingegen Noble et al. mit einem Korrelationskoeffizienten von  $r = -0,040$  keine auffällige Korrelation fanden [145]. Isaac et al. stellten anhand ihrer 171 indischen Skelettfemora ebenso keinen Zusammenhang zwischen dem HD und CCD fest [88].

## **1.6 Os acetabuli**

### **1.6.1 Anatomie**

Das Os acetabuli ist ein Ossikel, das im Bereich des Acetabulums auftritt. Die Ossikel können in Form und Größe variieren und werden anhand ihrer Lokalisation bezeichnet. Ein Os acetabuli centrale liegt dementsprechend zentral in der Fossa acetabuli, das Os acetabuli anterior im anterosuperioren, das Os acetabuli posterior im posterosuperioren Teil der Hüftpfanne. Auch im superioren oder inferioren Bereich des Acetabulums können Ossikel lokalisiert sein. Die Diagnostik eines Os acetabulis kann durch konventionelles Röntgen, CT oder MRT erfolgen. In unklaren Fällen sollte laut Hergan et al. ein Arthro-CT oder Arthro-MRT durchgeführt werden [151].

Im Alter von 9 – 12 Jahren entstehen im Rahmen der Entwicklung des Hüftskeletts sekundäre Knochenkerne, welche als Os acetabuli beschrieben werden. Diese Ossikel fusionieren jedoch im Laufe der weiteren Entwicklung mit den Hauptossifikationszentren und verschwinden damit bis zum 20. Lebensjahr [151]. Der genaue zeitliche Ablauf ist jedoch bislang nicht geklärt. Einige Autoren sprechen von einer physiologischen Persistenz entwicklungsbedingter Os acetabuli im Alter von 6 – 20 Jahren [152], andere von einer Persistenz dieser Ossifikationszentren bis zum 24. Lebensjahr [153]. Auch Os acetabuli bei Patienten höheren Alters werden als nicht fusionierte sekundäre Ossifikationszentren angesehen [151,154].

### **1.6.2 Ursachen**

Knochensubstanzschädigende Krankheiten, wie Osteochondrosis dissecans, Knochentuberkulose und Osteomyelitis, können ebenfalls das Bild eines Os acetabulis

hervorrufen. Auch Hüftgelenkstraumen sind eine Möglichkeit zur Entstehung eines Os acetabulis. Dabei können Knorpelstücke losgelöst werden, die dann sekundär verknöchern, oder es kann zu einem Abriss des Pfannendaches kommen [152,153].

Durch Zysten und Osteophyten im Rahmen einer Hüftarthrose kann ebenfalls der Anschein eines Os acetabulis entstehen. Echte Ossikel bilden sich dann beim Abbruch von Osteophyten [151] oder eines Fragmentes des durch intraossäre Zysten geschwächten Pfannenrandes [152].

Des Weiteren kann ein Os acetabuli durch Ermüdungsfrakturen des Pfannenrandes aufgrund von ständiger Überbelastung entstehen. Dies ist häufig bei schweren Hüftdysplasien der Fall [154]. Jacobsen et al. fanden beispielsweise auffällig mehr Ossikel bei dysplastischen Hüften im Vergleich zu normalen Hüften [155].

Auch ein FAI kann ein Os acetabuli verursachen, wobei es durch ständige Irritation des Labrums zur reaktiven Ossifikation und zur Entstehung von Knochenappositionen kommt [8]. Durch Überlastung und Scherkräfte kann es zum Abbruch des veränderten Pfannenrandes und somit zum Os acetabuli führen [8,156]. Beim Pincer-Impingement frakturiert die kraniale Über-Überdachung, wobei sehr große Os acetabuli entstehen können [157–159]. Beim Cam-Impingement wird der asphärische Teil des Hüftkopfes in die Hüftpfanne gepresst. Nach einiger Zeit entwickelt sich hier durch eine Stressfraktur des Pfannenrandes ein Ossikel [154]. Da ein Os acetabuli beim Pincer- und beim Cam-Impingement entsteht, muss bei entsprechender Diagnose immer an ein FAI gedacht werden [157,160].

### **1.6.3 Prävalenz**

Zur Prävalenz eines Os acetabuli berichteten Klaue et al. über eine Studie mit 1.111 Röntgenaufnahmen der Hüften bei einer asymptomatischen Population. Dabei wurde eine Häufigkeit von 2 - 3 % für Ossikel festgestellt [152]. Für Patienten mit Hüftpathologie zeigen einige Studien, wie zu erwarten, höhere Prävalenzen. Kassarian et al. fanden bei 17 von 42 Hüften mit Cam-FAI im MRT ein Os acetabuli [161]. Rafols et al. beschrieben eine Prävalenz von 3,6 % bei Patienten mit Pincer-Impingement [159]. Bei 1.872 aufgrund von Hüftbeschwerden durchgeführten Hüftarthroskopien dokumentierten Jackson et al. eine Häufigkeit von 5 % für ein Os acetabuli [160].

## 1.7 Fragestellung

Ziel der vorliegenden Arbeit sind die Ermittlung von Norm- und Schwellenwerten verschiedener Winkel der MRT-Hüftdiagnostik sowie die Prüfung der Vergleichbarkeit mit bestehenden röntgenologischen und computertomographischen Norm- und Schwellenwerttabellen.

Weiterhin soll die Frage beantwortet werden, inwiefern für die ermittelten Parameter Abhängigkeiten untereinander und mit somatometrischen Parametern, wie Alter, Geschlecht, Körpergröße, Körpergewicht, BMI und Taillenumfang, vorliegen. Bei vorhandenen Abhängigkeiten sollen adjustierte Referenzwerte bestimmt werden.

Zudem soll die aktuelle Prävalenz hüftgelenksspezifischer Anomalien in Vorpommern erfasst werden. Die Prävalenz des femoroacetabulären Cam-Impingements soll anhand der Werte des Alpha-Winkels (AA) und des triangulären Index nach Gosvig (TI) beurteilt werden. Mit Hilfe des Center-Edge Winkels nach Wiberg (CE) soll die Prävalenz der Hüftdysplasien bestimmt werden. Die Häufigkeit des Auftretens einer Coxa vara bzw. Coxa valga soll anhand des Centrum-Collum-Diaphysen Winkels (CCD) ermittelt werden.

Die primäre Hypothese dieser Arbeit ist, dass die Werte der verwendeten MRT-Diagnostik mit den etablierten Normwerten der röntgenologischen und computertomographischen Bildgebung direkt übereinstimmen oder sich linear anpassen lassen.

Weiterhin wird erwartet, dass sich die ermittelten Hüftwerte bei abweichenden somatometrischen Parametern ebenfalls verändern (sekundäre Hypothese).

## **2 Material und Methoden**

Alle in dieser Arbeit verwendeten Parameter und MRT-Daten entstammen der SHIP-Studie. Daher war keine gesonderte Einverständniserklärung der Probanden erforderlich.

### **2.1 Design der Study of Health in Pomerania (SHIP)**

Das Ziel der Study of Health in Pomerania (SHIP) ist die Erfassung der Prävalenz von Erkrankungen, Risikofaktoren und Gesundheitsfaktoren in der Region Vorpommern. Um eine repräsentative Probandengruppe im Alter von 20 – 79 zu erhalten, wurde in der Basisstudie SHIP-0, durchgeführt von 1997 – 2001, ein zweistufiges Stichprobenverfahren angewandt. Zunächst erfolgte die zufällige Auswahl von 29 Gemeinden, danach wurde durch die Einwohnermeldeämter der Gemeinden eine nach Alter und Geschlecht stratifizierte Stichprobe gezogen [162]. Damit konnte bei den 6.265 ausgewählten Probanden eine gleichmäßige Verteilung von Alter und Geschlecht erreicht werden [163]. Von den als geeignet ausgewählten Probanden fanden sich 4.308 zur Untersuchung ein, dies entspricht einer Responserate von 68,8 %. Von 2002 – 2006 wurde diese Population im Rahmen eines 5-Jahres-Follow-up erneut eingeladen. Von den Untersuchten der SHIP-0-Studie konnten noch 3.949 Personen erreicht werden, untersucht wurden davon 3.300 im Rahmen der SHIP-1-Studie. Dies entspricht einer Responserate von 83,6 % [164]. Zwischen 2008 und 2012 wurde die SHIP-2-Studie als 11-Jahres-Follow-up mit 2.333 Probanden der SHIP-1-Population durchgeführt [165]. Für die SHIP-TREND-Studie konnte von 2008 – 2011 ebenfalls nach dem Zufallsprinzip eine alters- und geschlechtsstratifizierte Studienpopulation von 8.016 Probanden erfasst werden. Diese waren wie bei SHIP-0 ebenfalls im Alter von 20 – 79 Jahren [163]. Insgesamt konnten nachfolgend in der SHIP-TREND-Studie 4.420 (55,1 %) der erfassten Probanden untersucht werden [165].

Bei allen Probanden erfolgte jeweils ein computergestütztes Interview, mit dem verschiedene Krankheitsbilder, Medikamentenanamnese, soziale und ökonomische Faktoren erfasst wurden. Des Weiteren konnten bei den Probanden Blut- und Urinproben gewonnen und laborchemisch analysiert werden. Zudem unterzogen sich die Probanden einer somatometrischen Untersuchung, verschiedenen Ultraschalluntersuchungen, einer zahnmedizinischen Begutachtung sowie weiteren Tests. Zusätzlich erfolgte bei allen SHIP-2- und SHIP-TREND-Probanden standardisiert eine native Ganzkörper-MRT-Untersuchung, bei

Männern ein Kontrastmittel-verstärktes Herz- und Gefäß-MRT und bei Frauen ein Kontrastmittelverstärktes Herz- und Brust-MRT [163]. Kontraindikationen für die MRT-Untersuchung waren dabei Herzschrittmacher, Klaustrophobie, magnetische Fremdkörper oder eine Kontrastmittelallergie [166].

## 2.2 MRT-Daten

Die MRT-Untersuchungen erfolgten an einem 1,5 Tesla MRT (Magnetom Avanto, Siemens Medical Systems, Erlangen, Deutschland). Hierbei lagen die Probanden in Rückenlage mit seitlich angelegten Armen. Die Füße wurden durch Öffnungen in der Spule der unteren Extremität in aufrechter Position gehalten. Alle MRT-Untersuchungen erfolgten standardisiert von vier, speziell auf das SHIP-Protokoll trainierten, medizinischen Assistenten [166]. Zur Ermittlung der Hüftparameter wurde eine coronale TIRM (turbo inversion recovery magnitude)-Sequenz (GK\_T2\_tirm\_cor\_320\_p2) mit einer Voxelgröße von 2,1 x 1,6 x 5,0 mm und eine axiale PD-TSE-FS (proton density-turbo spin echo-fat saturation)-Sequenz (Becken\_pd\_tse\_fs\_tra\_384\_p2) verwendet. In der axialen Sequenz betrug die Voxelgröße 1,6 x 1,6 x 3,0 mm. Die weiteren technischen Parameter finden sich im 2009 veröffentlichten Untersuchungsprotokoll von Hegenscheid et al. [166].

In der vorliegenden Arbeit wurden alle bisher erfassten 3.283 MRT-Datensätze der SHIP-2- und SHIP-TREND-Studie vermessen. Bei der Vermessung mussten jedoch 57 Datensätze ausgeschlossen werden. Ein Datensatz schied aufgrund der sehr mangelhaften Bildqualität aus, 18 Probanden waren endoprothetisch versorgt, bei 36 waren keine Daten vorhanden und bei zwei lag eine ausgeprägte Malformation des Femurs vor. Die manuelle Vermessung der Daten erfolgte mit Hilfe der OsiriX® Software (Version 5.8.5 32-bit) an einem 27 Zoll iMac der Firma Apple. OsiriX ist ein Programm zur Auswertung von Datenmaterial im DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) -Standard. Zur zuverlässigen elektronischen Übertragung der gewonnenen Messdaten wurde ein Plugin entwickelt. Die programmtechnische Umsetzung erfolgte mit freundlicher Unterstützung von Herrn René Laqua (Inselspital, Bern, Schweiz).

## 2.3 Parameter

Um alle MRT-Daten standardisiert zu beurteilen, wurde eine Standard Operating Procedure (SOP) entwickelt. Für die Erfassung der knöchernen Morphologie von Femur und Acetabulum fiel die Wahl auf folgende Winkel: Der CE wurde zur Beurteilung der Hüftkopfüberdachung verwendet. Der CCD diente zur Femurachsenbestimmung. Mit Hilfe des AA wurde der Femurkopf-Hals-Übergang beurteilt. Diese Auswahl der Winkel erfolgte aufgrund ihrer guten Reliabilität und ihrem häufigen klinischen Einsatz [55]. Da der AA von einigen Autoren als rotationssensibel beschrieben wird [117], wurde zusätzlich der TI bestimmt. Neben der Vermessung dieser Winkel erfolgten zusätzlich die Erfassung des HD sowie die Überprüfung des Vorliegens eines Os acetabuli.

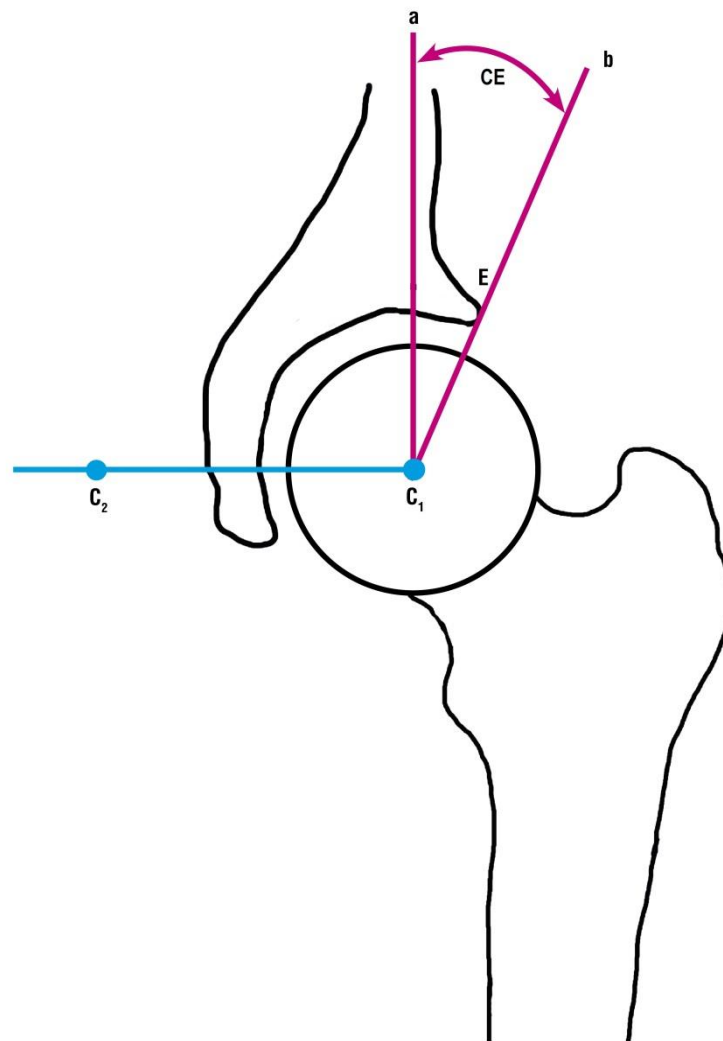
Aufgrund der hohen Anzahl der zu vermessenden MRT-Daten musste möglichst eine Schnittebene gefunden werden, in der alle Parameter messbar und gleichzeitig mit den in der Literatur angegebenen Ergebnissen vergleichbar waren. Hierfür wurden verschiedene Messmethoden und Messebenen der Literatur miteinander verglichen. Mit der coronalen Ebene durch den Femurkopfmittelpunkt fand sich eine Schicht, in der alle vorgesehenen Parameter gemessen werden konnten. Deshalb wurde die coronale Ebene der TIRM-Sequenz, die durch den Femurkopfmittelpunkt verläuft, als Messebene in der SOP festgelegt. Zur Ermittlung dieser Ebene wurde jeweils in der coronalen Schicht der Femurkopfmittelpunkt bestimmt und gleichzeitig mit der axialen Schicht verglichen [12,35]. Die Bestimmung aller Parameter erfolgte jeweils an beiden Hüftgelenken, die Messmethode jedes Winkels wurde vorab in der SOP genau definiert.

Vor Erhebung der Studiendaten wurde zur Qualitätssicherung die Inter- und Intrareader-Variabilität der Messmethode anhand von Zertifizierungsdaten vom Institut für Community Medicine statistisch überprüft und als gut bewertet. Der auf dieser Basis entwickelte SOP stimmte die Abteilung Radiologie, vertreten durch Frau PD Dr. Hegenscheid, sowie der Vorstand des Institutes für Community Medicine zu.

Nachfolgend stellte das Institut für Community Medicine die reinen MRT-Daten der SHIP-Studie für die Vermessung elektronisch zur Verfügung. Hierbei waren alle MRT-Bilder anonymisiert, demographische und anamnestiche Daten lagen nicht vor. Diese wurden nach Abschluss der Messungen zusätzlich beantragt und mit den erhobenen Messdaten der MRT-Bilder zusammengeführt.

### 2.3.1 Center-Edge-Winkel

Der CE wird im MRT zwischen einer senkrechten Achse durch den Hüftkopfmittelpunkt und einer Achse durch die laterale Ecke des Acetabulums sowie den Femurkopfmittelpunkt gebildet (siehe Abb. 1). Der Mittelpunkt des Femurkopfes wird hierbei nach Mose mit Hilfe einer Kreisschablone bestimmt [138,167]. Die senkrechte Achse entsteht durch Verbinden der Femurkopfmittelpunkte beider Hüftseiten und Bilden einer Orthogonalen durch den Hüftkopfmittelpunkt der zu messenden Seite [2,5].

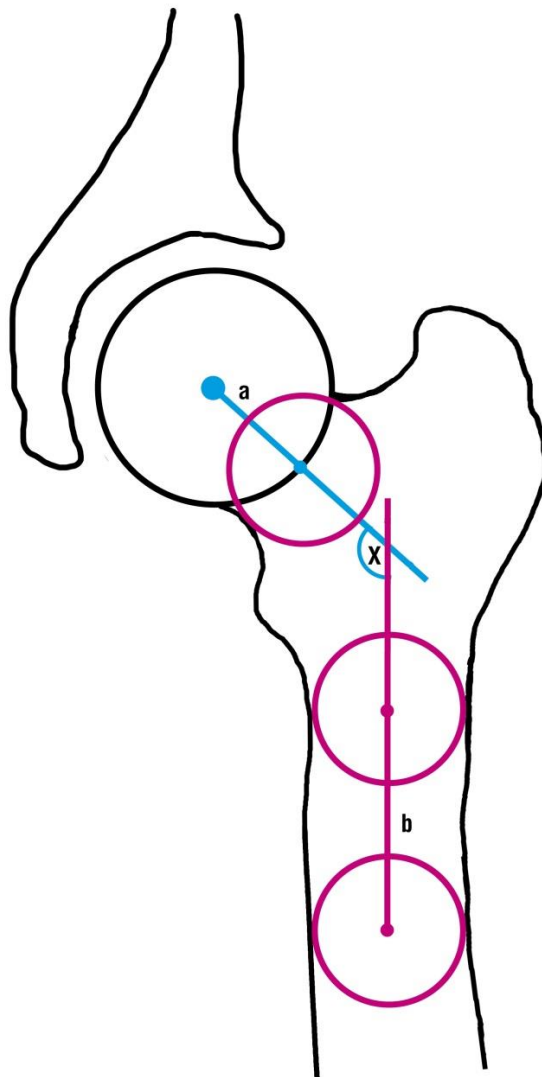


**Abb. 1:** Center-Edge-Winkel nach Wiberg, Schematische Darstellung

Center-Edge-Winkel (CE), gebildet durch a und b; a = Orthogonale zur Verbindungslinie der Femurkopfmittelpunkte ( $C_1$  und  $C_2$ ), E = äußerster Punkt des Acetabulums, b = Linie durch den Femurkopfmittelpunkt ( $C_1$ ) und Punkt E

### 2.3.2 Centrum-Collum-Diaphysen-Winkel

Im MRT lässt sich der CCD in der coronalen Ebene durch den Femurkopfmittelpunkt ermitteln. Dabei wird er durch die Femurschaftachse (a) und die Schenkelhalsachse (b) gebildet (siehe Abb. 2). Die Bestimmung der Femurschaftachse erfolgt durch die Mittelpunkte zweier Kreise im Schaftbereich. Die Bestimmung der Schenkelhalsachse erfolgt durch Verwendung des Femurkopf- und des Schenkelhalsmittelpunkts [35,64,66]. Der Schenkelhalsmittelpunkt wird mit Hilfe einer Kreisschablone am Punkt der stärksten Taillierung gemessen [64,65].



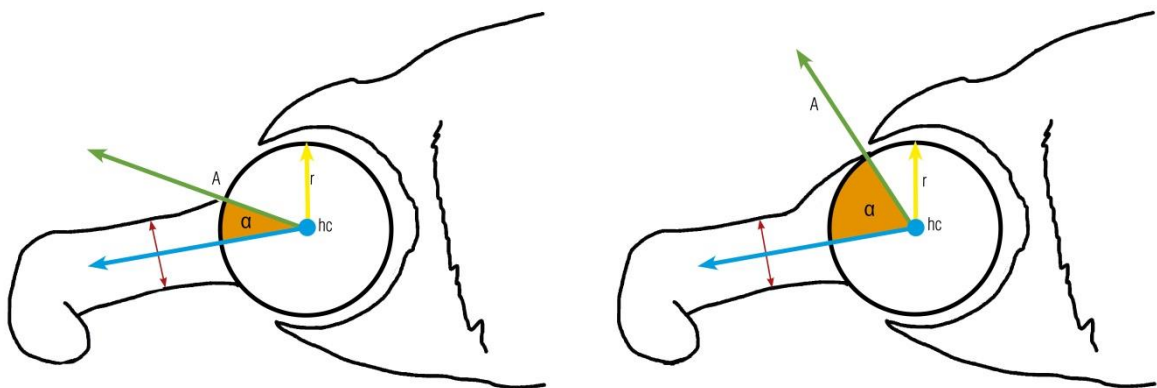
**Abb. 2:** Centrum-Collum-Diaphysen-Winkel, Schematische Darstellung

Centrum-Collum-Diaphysen-Winkel, gebildet durch a und b;

a = Schenkelhalsachse, b = Femurschaftachse, x = CCD

### 2.3.3 Alpha-Winkel

Der Alpha-Winkel (AA) wurde 2002 von Nötzli et al. zur Beurteilung der Taillierung des femoralen Kopf-Hals-Übergangs entwickelt. Der AA nach Nötzli (siehe Abb. 3) lässt sich auf einer axial-obliquen Schnittebene durch die Schenkelhalsachse bestimmen. Die Schenkelhalsachse verläuft durch die Mitte des Schenkelhalses und den Femurkopfmittelpunkt. Weiterhin bildet sich die Achse A durch die Verbindung des Hüftkopfmittelpunktes sowie den Punkt, an dem der Hüftkopf seine Sphärizität verlässt, ab. Der AA wird durch die Schenkelhalsachse und die Achse A aufgespannt [104].

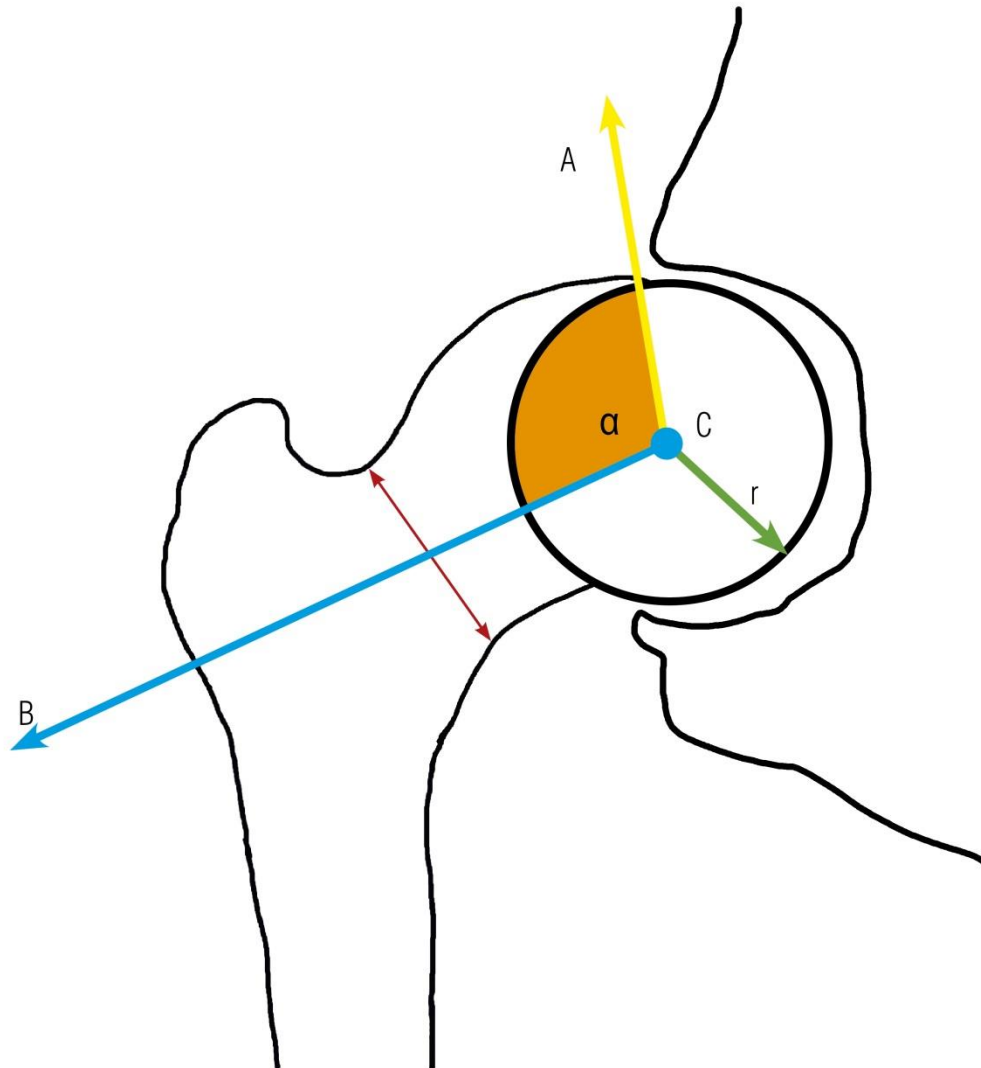


**Abb. 3:** Alpha-Winkel nach Nötzli bei normalem (links) und pathologischem (rechts) Kopf-Hals-Übergang, Schematische Darstellung

A = Punkt, an dem Femurkopf die Sphärizität verlässt, , r = Radius

hc = Femurkopfmittelpunkt,  $\alpha$  = Alpha-Winkel.

Der von Gosvig et al. beschriebene, modifizierte AA (siehe Abb. 4) wird anhand einer a.p. Röntgenaufnahme ermittelt [117]. Analog dazu erfolgt die Messung des modifizierten AA im coronalen Schnitt des MRT [114,115]. Dieser modifizierte AA wird zwischen der Schenkelhalsachse und der Achse A bestimmt.



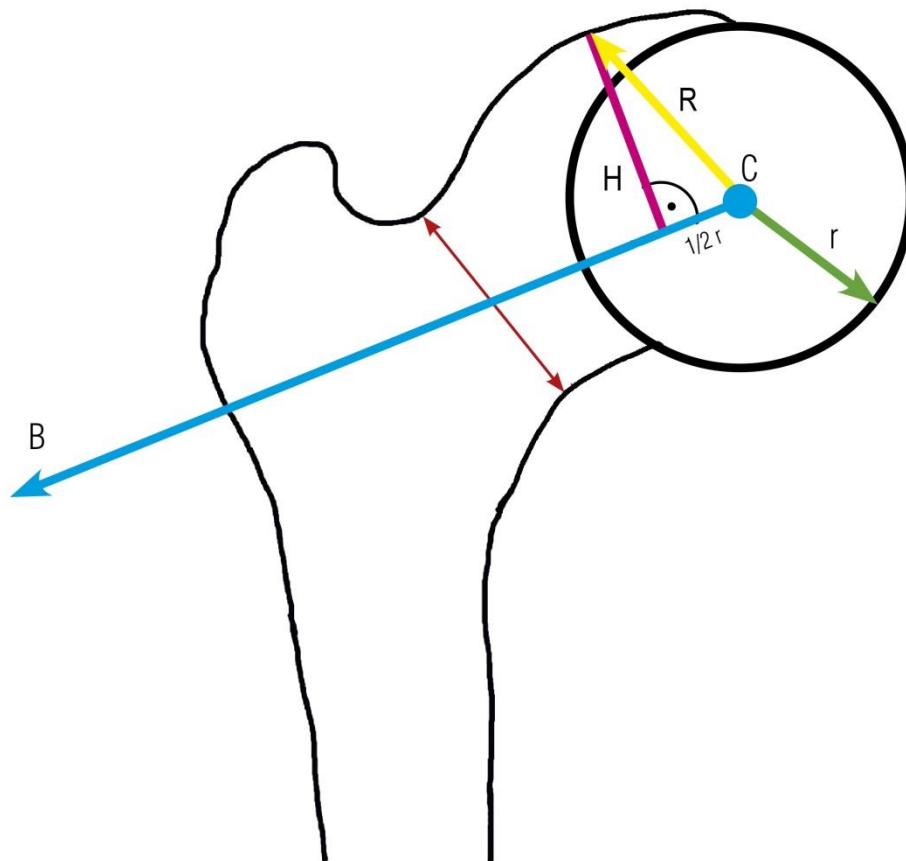
**Abb. 4: Modifizierter Alpha-Winkel nach Gosvig, Schematische Darstellung**

Modifizierter Alpha-Winkel nach Gosvig, gebildet durch A und B;

A = Achse an dem Femurkopf Sphärizität verlässt, B = Schenkelhalsachse,  
C = Femurkopfmittelpunkt, r = Radius,  $\alpha$  = Alpha-Winkel

### 2.3.4 Triangulärer Index

Der Trianguläre Index (TI) lässt sich in der gleichen Ebene wie der CE bestimmen [115]. Zunächst erfolgt die Messung des Radius ( $r$ ) des Femurkopfes um den Femurkopfmittelpunkt. Nachfolgend wird bei  $\frac{1}{2} r$  orthogonal zur Schenkelhalsachse, die durch den Hüftkopfmittelpunkt sowie den Schenkelhalsmittelpunkt bestimmt ist, die Höhe  $H$  zur Kortikalis quantifiziert (siehe Abb. 5). Anhand des Satzes des Pythagoras kann mit Hilfe von  $H$  und  $\frac{1}{2} r$  der neue Radius  $R$  errechnet werden, der TI wird dann durch die Formel:  $TI = R - (r + 2 \text{ mm})$  ermittelt [51].

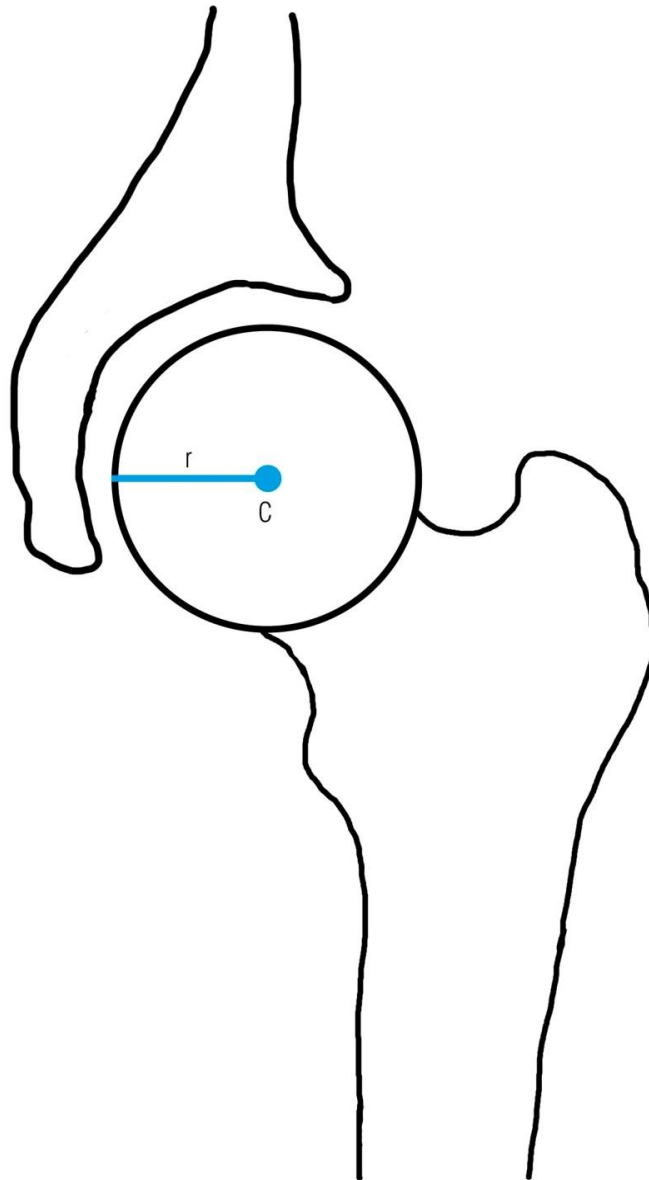


**Abb. 5: Triangulärer Index nach Gosvig, Schematische Darstellung**

B = Schenkelhalsachse, H = Höhe, r = Radius, C = Femurkopfmittelpunkt,  
R = neuer Radius R

### 2.3.5 Femurkopfdurchmesser

Der Femurkopfdurchmesser (HD) lässt sich mit Hilfe einer Kreisschablone ermitteln, mit der auch der Femurkopfmittelpunkt bestimmt werden kann. Hierbei wird ein Kreis gezogen, der möglichst genau um den Hüftkopf passt [16,64,138]. Durch Anlegen der Kreisschablone und Bestimmen der Hüftkopfmittle können der Radius und damit der Durchmesser ermittelt werden (siehe Abb. 6).

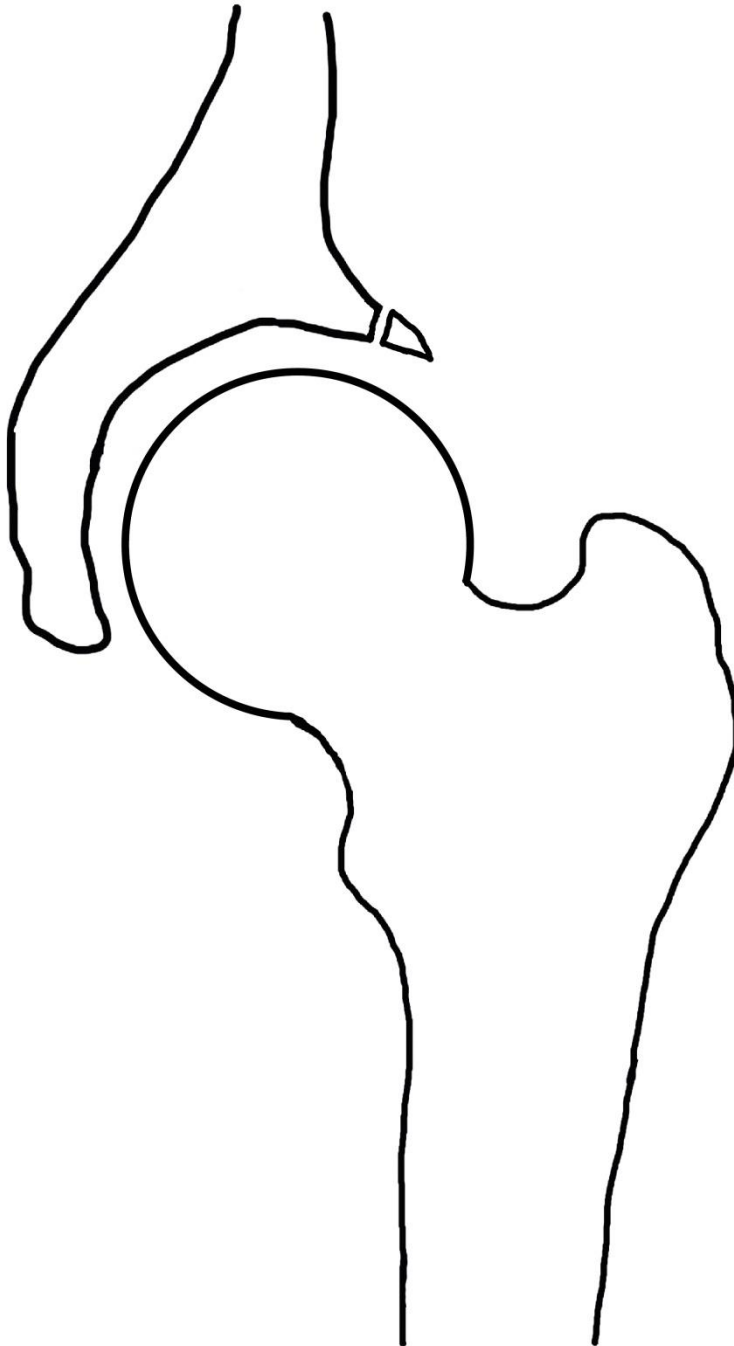


**Abb. 6:** Femurkopfdurchmesser, Schematische Darstellung

C = Femurkopfmittelpunkt, r = Radius des Femurkopfes

### 2.3.6 Os acetabuli

Zur Erfassung eines Os acetabuli werden die coronalen Schichten „durchgescrollt“ und auf das Vorhandensein von Knochenfragmenten nahe der Hüftpfanne, die keine Verbindung zum Acetabulum aufweisen, überprüft [152,168](siehe Abb. 7).

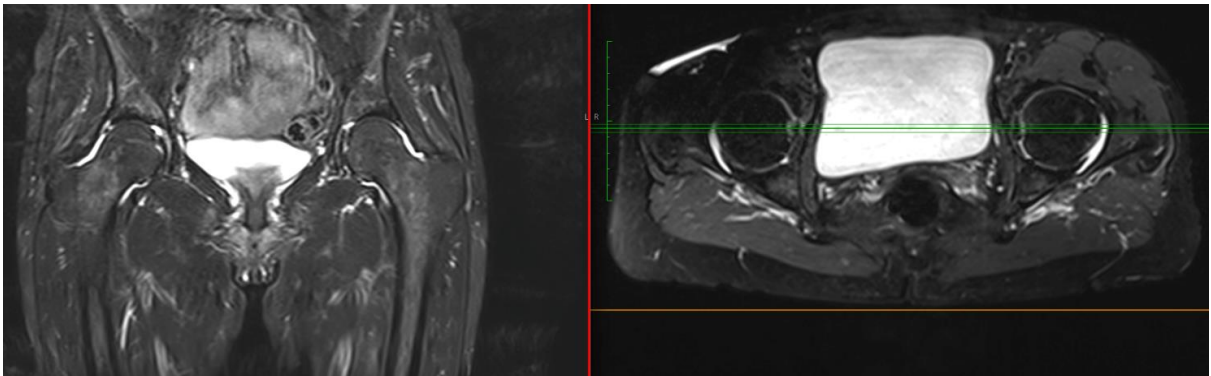


**Abb. 7: Os acetabuli, Schematische Darstellung**

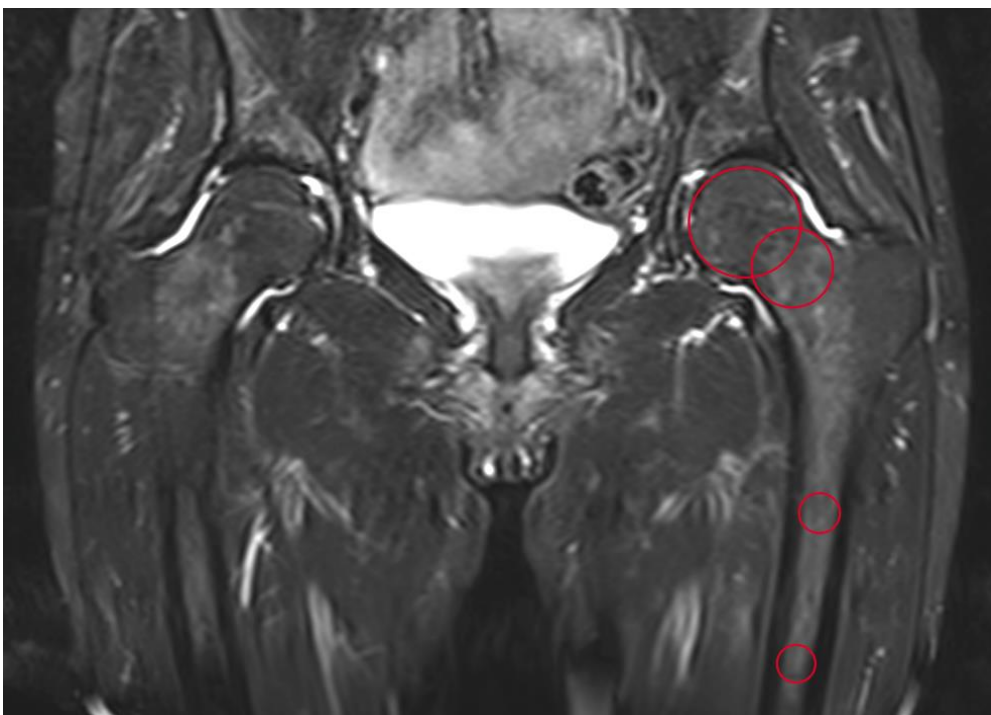
## 2.4 Datenerfassung mit OsiriX-Plugin

Für die Erfassung der an den MRT-Bildern gemessenen Werte wurde ein OsiriX-Plugin verwendet. Das Ziel dabei war es, Übertragungsfehler beim Übertragen der Messwerte vom Bildbetrachtungsprogramm OsiriX in die SHIP-Datenbank zu vermeiden. Zudem sollte das Plugin die Möglichkeit bieten, alle Winkel möglichst effizient zu messen. Dabei wurde die Funktion des Plugins für die Messungen nach folgendem Schema geplant:

Nach der wie in Kapitel 2.3 beschriebenen Festlegung der richtigen Messebene (siehe Abb. 8) ermittelte das Plugin den CCD über die Mittelpunkte der vier manuell eingezeichneten Kreise (Hüftkopfmittelpunkt, Schenkelhalsmittelpunkt, zwei Mittelpunkte des Femurschaftes) und speicherte diese Daten ab (siehe Abb. 9).

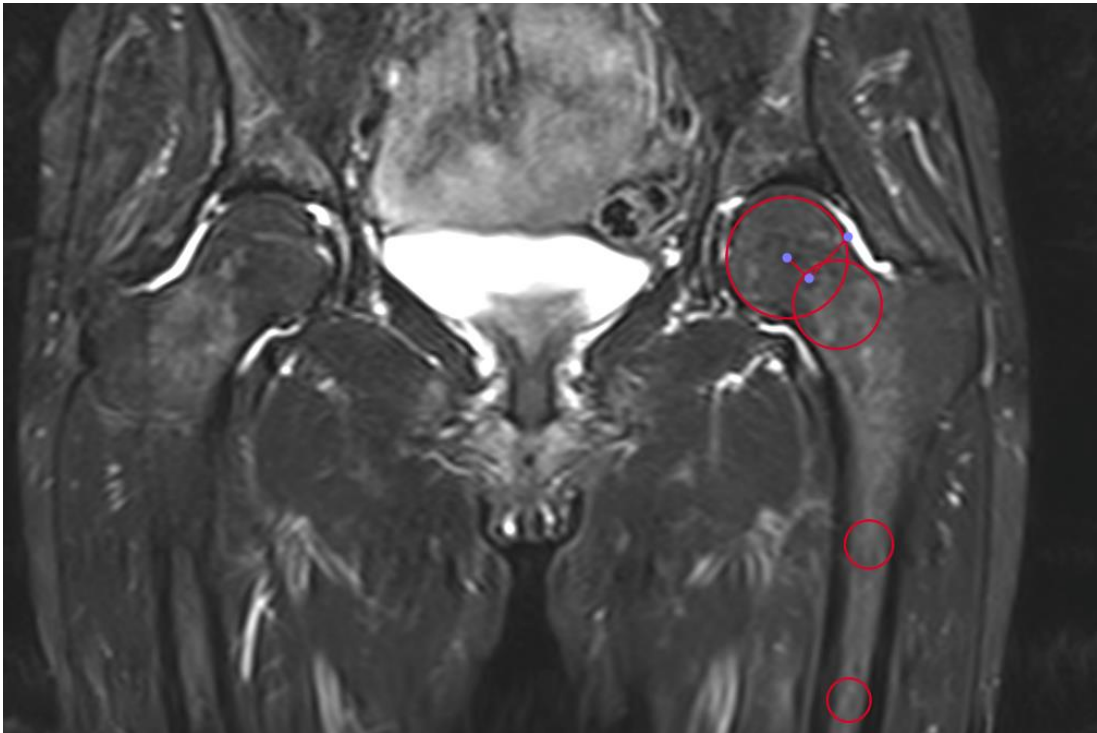


**Abb. 8:** Ermittlung der coronalen Messebene mit Überprüfung in der axialen Eben



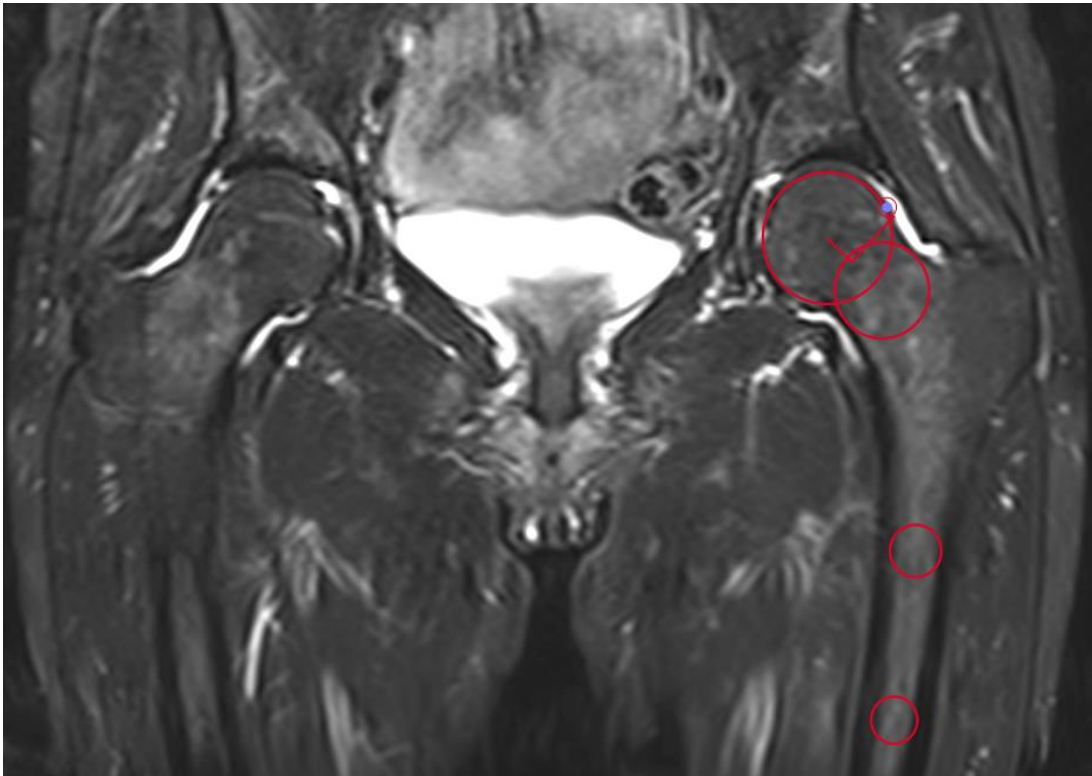
**Abb. 9:** Kreise zur Ermittlung des CCD

Nachfolgend bestimmte das Plugin auf der durch den Femurkopfmittelpunkt und den Schenkelhalsmittelpunkt gebildeten Schenkelhalsachse bei der Hälfte des Femurkopfradius eine Orthogonale. Diese wurde zur Berechnung der Höhe H manuell bis zum äußeren Rand der Kortikalis gezogen (siehe Abb. 10). Das Plugin errechnete nun aus H und  $\frac{1}{2} r$ , über den Satz des Pythagoras, den neuen Radius R, der für die Berechnung des TI nötig ist. Zudem wurde der nun bekannte Femurkopfradius gesichert, um daraus später den Femurkopfdurchmesser zu errechnen.



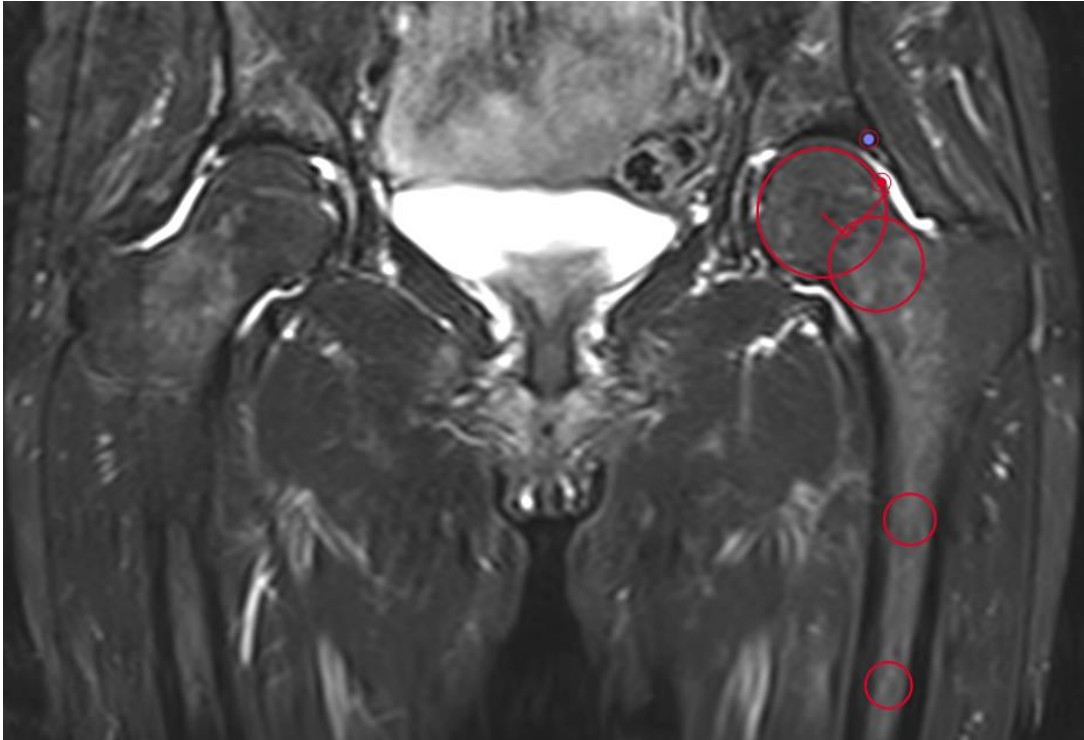
**Abb. 10:** Ermittlung der Länge des TI

Über den manuell bestimmten Punkt, an dem der Femurkopf seine Sphärizität verlässt (siehe Abb. 11), und die bei der CCD-Messung ermittelte Schenkelhalsachse wurde durch das Plugin der AA gemessen.



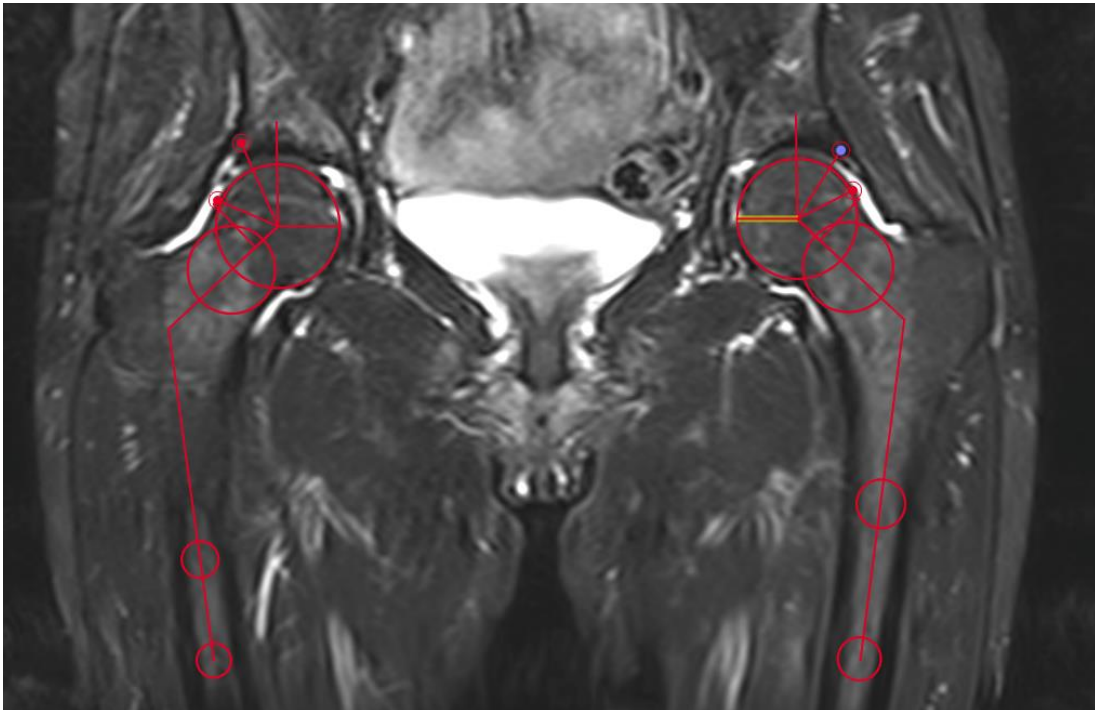
**Abb. 11:** Setzen des Punktes an dem die Femurkopfsphärizität überschritten wird

Zur CE-Bestimmung wurde nun der laterale Acetabulumrand manuell markiert (siehe Abb. 12). Zur Komplettierung des CE entnahm das Plugin die restlichen Informationen aus den schon vorhandenen Daten zu den Femurkopfmittelpunkten bzw. einer Orthogonalen zu deren Verbindungslinie.



**Abb. 12: Setzen des Punktes am lateralen Acetabulumrand zur CE Bestimmung**

Freundlicherweise programmierte Herr Laqua ein nach unserem Schema arbeitendes OsiriX-Plugin für die vorliegende Studie. Am Ende der Messungen gab dieses OsiriX-Plugin nochmals ein Übersichtsbild (siehe Abb. 13), in dem alle gemessenen Winkel eingezeichnet waren. Die ermittelten Werte wurden anschließend mit der jeweiligen Probandennummer versehen, als XML-Datei ausgegeben und konnten so ohne Übertragungsfehler über eine Webmaske in die Datenbank importiert werden. Vor der Übertragung erfolgte zusätzlich in der Webmaske die Dokumentation über das Vorliegen eines Os acetabulis.



**Abb. 13: Übersichtsbild nach Abschluss der Messungen**

## **2.5 Statistische Methoden**

Die Auswertungen der Studiendaten erfolgten durch das Institut für Community Medicine mit den Programmen Stata 12 (Zertifizierungsdaten: M. Albers, J. Henke und C.O. Schmidt) und Stata 14.1 (deskriptive und statistische Analysen: T. Ittermann).

### **2.5.1 Zertifizierungsdaten**

Die Readerzertifizierung erfolgte anhand von 25 MRT-Datensätzen. Dabei wurden zur Intrareader-Validierung die Datensätze doppelt, an zwei verschiedenen Tagen, durch den Verfasser dieser Arbeit vermessen. Die gleichen 25 Datensätze bearbeitete Herr Dr. med. Jörn Lange nachfolgend zur Interreader-Validierung. Zur Prüfung der Übereinstimmung der Ergebnisse der beiden Beurteiler wurden für die jeweiligen Messwertpaare Bland-Altman-plots erstellt und die mittlere Abweichung mit Standardabweichung berechnet. Als gute Qualität galt eine mittlere Abweichung von  $< 5\%$  (Standardabweichung  $< 25\%$ ) [163]. Zusätzlich wurden die Messwertpaare der Hüftparameter mit dem T-Test für verbundene Stichproben verglichen. Weiterhin erfolgte die Analyse der Intra- und Interreader-Reliabilität für die Parameter mit dem Intraclass correlation coefficient (ICC) mit 95 %-Konfidenzintervall.

### **2.5.2 Allgemeine Probandendaten**

Zur Beschreibung der untersuchten Population wurden für alle Probanden neben demografischen und anamnestischen Parametern, Angaben zum Gelenkstatus (Gelenkverschleiß, entzündliche Gelenkerkrankung, Osteoporose) und zur sportlichen Aktivität ausgewertet. Die Darstellungen der Verteilungen der stetigen Parameter erfolgten tabellarisch unter der Angabe von Fallzahl, Missing, Mittelwert, Standardabweichung, Extrema und Quartilen. Die Charakterisierung der Verteilungen nominal oder ordinal skalierteter Parameter erfolgte über Kontingenztafeln, in denen neben der absoluten Anzahl auch die relative Häufigkeit angegeben wurde.

Die analysierten Verteilungen und Häufigkeiten wurden zwischen Männern und Frauen bzw. den beiden Körperseiten verglichen. Diese Vergleiche erfolgten für alle stetigen Daten mit dem Vorzeichen-Test bzw. bei verbundenen Stichproben mit dem T-Test, die Häufigkeiten wurden mit dem Chi-Quadrat-Test verglichen. Alle Tests im Rahmen dieser deskriptiven

Analyse wurden zweiseitig zum Signifikanzniveau  $\alpha = 0,05$  durchgeführt, eine Anpassung an das multiple Testproblem erfolgte aufgrund des rein beschreibenden Charakters dieser Analysen nicht.

### **2.5.3 Messdaten**

Bei den vorliegenden MRT-Bildern der Hüften der Probanden wurden die Hüftparameter CE, CCD, AA, TI und HD vermessen. In der deskriptiven Analyse erfolgte die Darstellung der Verteilungen der erfassten Daten (Fallzahl, Missing, Mittelwert, Standardabweichung, Extrema und Quartilen). In der nachfolgenden statistischen Analyse wurde zunächst der Zusammenhang zwischen den auf beiden Körperseiten gemessenen Parameter (rechts vs. links) mit dem Korrelationskoeffizienten nach Spearman bestimmt. Weiterhin wurden im Rahmen von linearen Regressionsanalysen der Einfluss der demografischen und anamnestischen Parameter auf die Hüftparameter sowie die Beziehung zwischen den Hüftparametern überprüft.

### **2.5.4 Ableitung von Normalbereichen**

Zur Ermittlung der Wertebereiche für gesunde Probanden konnten aus den Lageparametern der erhobenen Hüftparameter Normalbereiche berechnet werden. Als Normalbereich wurde der 95%-Referenzbereich definiert, der sich aus Mittelwert  $\pm 1,96$  \* Standardabweichung (SD) errechnet [57,118,121]. Die Bestimmung dieser Bereiche erfolgte für die gesamte Population sowie getrennt für Männer und Frauen. Zusätzlich wurden geschlechterspezifisch altersabhängige obere und untere Referenzwerte (2,5. und 97,5. Perzentile) anhand der Regressionsanalysen berechnet.

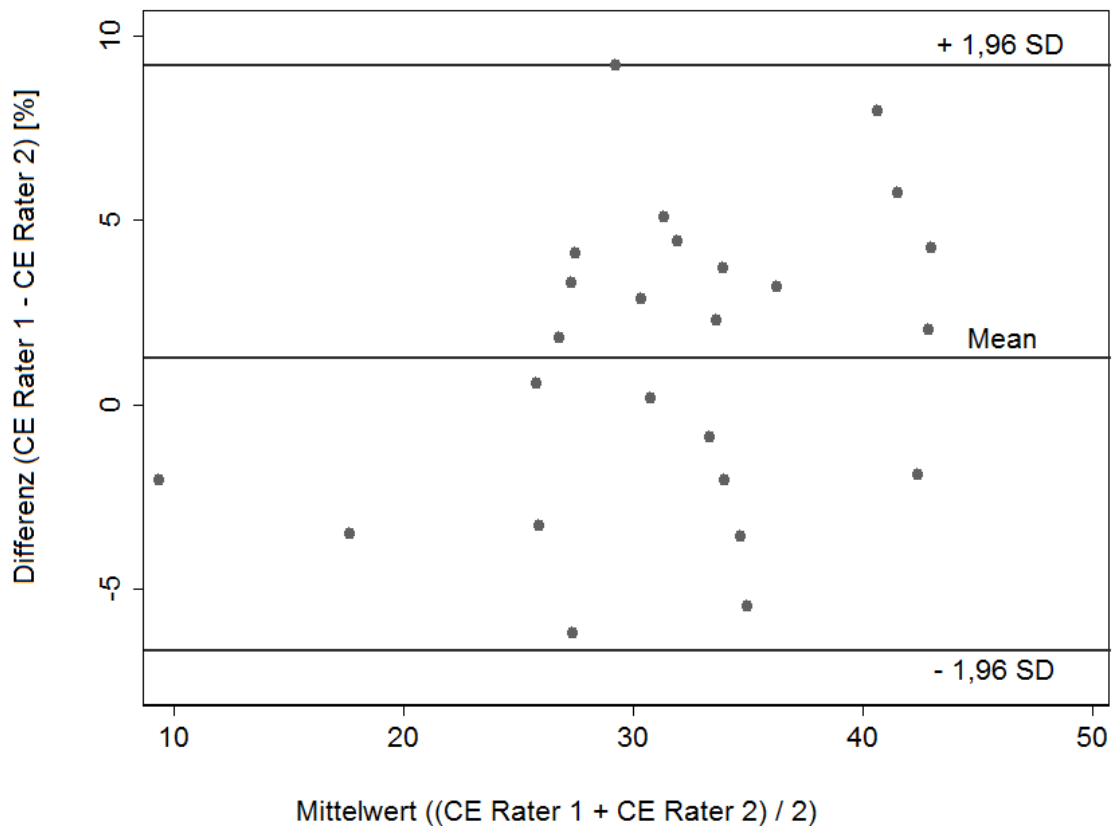
### **2.5.5 Bestimmung von Prävalenzen**

Anhand der erfassten Werte der Hüftparameter und in der Literatur beschriebenen Schwellenwerte wurden für die Hüfterkrankungen Dysplasie, Pincer-Deformität, Coxa vara, Coxa valga und Cam-Deformität die Häufigkeiten bestimmt.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Zertifizierungsdaten

Die Readerzertifizierung erfolgte anhand von 25 MRT-Datensätzen, das Vorgehen ist in Kapitel 2.5.1 beschrieben. Die nach der Bland-Altman-Methode bestimmte mittlere Streuung der Differenzen der einzelnen Messwertepaare je Hüftparameter lag zwischen  $-0,80 \% \pm 3,52$  und  $1,78 \% \pm 4,35$ . Damit sind die Qualitätsanforderungen an die Intra- und Interreader-Reliabilität für die MRT-Vermessung bei allen Hüftparametern erfüllt. Die p-Werte der T-Tests für verbundene Stichproben lagen nur beim Intrareader-Vergleich des CE-Winkels rechts ( $p = 0,033$ ) und beim Interreader-Vergleich des CE-Winkels links ( $p = 0,018$ ) unter 0,05 und zeigten damit einen ggf. auffälligen Unterschied innerhalb Rater 1 bzw. zwischen Rater 1 und 2 an. In Abb. 14 ist der Bland-Altman-plot für den CE rechts beispielhaft angegeben.



**Abb. 14:** Bland-Altman-Plot für CE rechts, Rater 1 vs. Rater 2

(Quelle: Darstellung von M. Albers, J. Henke und C.O. Schmidt, Community Medicine Greifswald)

### 3.2 Deskriptive Analyse – Ergebnisse der Messdaten

In der vorliegenden Arbeit erfolgte die Vermessung von insgesamt 3.226 MRT-Bildern aus der SHIP-2-Studie und der SHIP-TREND-Studie. Zur Beschreibung der untersuchten Population wurden für alle Probanden folgende demografische und anamnestische Angaben erhoben: Alter [Jahre], Geschlecht, Körpergewicht [kg], Körpergröße [cm] und Taillenumfang [cm]. Aus Körpergewicht und Körpergröße konnte der BMI [ $\text{kg}/\text{m}^2$ ] berechnet und die Kategorien Untergewicht ( $\text{BMI} < 18,5$ ), Normalgewicht ( $\text{BMI} \geq 18,5 - < 25$ ), Präadipositas ( $\text{BMI} \geq 25 - < 30$ ), Adipositas Grad 1 ( $\text{BMI} \geq 30 - < 35$ ), Adipositas Grad 2 und 3 ( $\text{BMI} \geq 35$ ) gebildet werden. Weiterhin wurden Angaben zum Gelenkstatus (Gelenkverschleiß, entzündliche Gelenkerkrankung, Osteoporose) und zur sportlichen Aktivität ausgewertet. Die Ergebnisse der Verteilungen sind in Tabelle 1 und Tabelle 2 angegeben.

Insgesamt waren 50,8 % ( $n = 1.639$ ) der Probanden weiblich, 49,2 % ( $n = 1.587$ ) männlich. Die Probanden hatten ein durchschnittliches Alter von 52,5 Jahren ( $\pm 13,8$ ), wobei zwischen Männern und Frauen kein Unterschied zu finden war ( $p = 0,802$ , Vorzeichen-Test). Das mittlere Körpergewicht lag bei 80,3 kg ( $\pm 15,1$ ), die mittlere Körpergröße betrug 170,2 cm ( $\pm 9,12$ ). Beide Parameter zeigten zwischen Männern und Frauen einen Unterschied (jeweils  $p < 0,001$ , Vorzeichen-Test). Der mittlere BMI der Probanden lag bei 26,6  $\text{kg}/\text{m}^2$  ( $\pm 4,41$ ), wobei die Männer einen auffällig höheren BMI hatten ( $p < 0,001$ , Vorzeichen-Test). Insgesamt waren 0,3 % ( $n = 10$ ) der Probanden untergewichtig, 29,6 % ( $n = 954$ ) normalgewichtig und 70,1 % ( $n = 2262$ ) übergewichtig. Von den Probanden mit Übergewicht hatten 59,7 % ( $n = 1352$ ) eine Präadipositas, 32,0 % ( $n = 723$ ) eine Adipositas Grad 1 und 8,3 % ( $n = 187$ ) eine Adipositas Grad 2 oder 3. Der gemessene Taillenumfang der Probanden betrug im Durchschnitt 90,0 cm ( $\pm 13,0$ ), auch hier war der Wert für die Männer höher ( $p < 0,001$ , Vorzeichen-Test).

Ein Verschleiß der Gelenke (z.B. Arthrose) lag bei ca. einem Viertel der Probanden vor (26,3 %,  $n = 850$ ). Dies betraf Männer seltener als Frauen ( $p = 0,001$ , Chi-Quadrat-Test). Auch eine entzündliche Gelenkerkrankung und Osteoporose war bei Frauen häufiger dokumentiert ( $p = 0,003$  bzw.  $p < 0,001$ , Chi-Quadrat-Test). Hinsichtlich der sportlichen Aktivität, die von 67,4 % ( $n = 2.173$ ) angegeben wurde, gab es keinen geschlechtsspezifischen Unterschied ( $p = 0,161$ , Chi-Quadrat-Test).

### 3.2.1 Demographische und anamnestische Angaben

**Tabelle 1: Demographische und anamnestische Daten**

|   | N      |       | Mw    | SD    | Min. | Max.  | Perzentile |      |       |
|---|--------|-------|-------|-------|------|-------|------------|------|-------|
|   | Gültig | Miss. |       |       |      |       | 25         | 50   | 75    |
| <b>Alter [Jahre] (<math>p = 0,802^*</math>)</b>   |        |       |       |       |      |       |            |      |       |
| Overall   | 3.226  | 0     | 52,5  | 13,8  | 21   | 90    | 42         | 53   | 63    |
| Männer  | 1.587  | 0     | 52,8  | 14,3  | 21   | 90    | 42         | 53   | 64    |
| Frauen  | 1.639  | 0     | 52,3  | 13,2  | 21   | 88    | 42         | 53   | 63    |
| <b>Körpergewicht [kg] (<math>p &lt; 0,001^*</math>)</b>   |        |       |       |       |      |       |            |      |       |
| Overall   | 3.226  | 0     | 80,3  | 15,1  | 43,6 | 142,7 | 69,1       | 79,3 | 90,7  |
| Männer  | 1.587  | 0     | 87,9  | 12,9  | 53,3 | 142,7 | 78,2       | 86,6 | 96,5  |
| Frauen  | 1.639  | 0     | 72,9  | 13,4  | 43,6 | 126,1 | 63,2       | 71,1 | 80,9  |
| <b>Körpergröße [cm] (<math>p &lt; 0,001^*</math>)</b>   |        |       |       |       |      |       |            |      |       |
| Overall   | 3.226  | 0     | 170,2 | 9,12  | 146  | 202   | 163        | 170  | 177   |
| Männer  | 1.587  | 0     | 176,6 | 6,74  | 156  | 202   | 172        | 177  | 181   |
| Frauen  | 1.639  | 0     | 164,0 | 6,35  | 146  | 189   | 159        | 164  | 168   |
| <b>BMI [<math>\text{kg}/\text{m}^2</math>] (<math>p &lt; 0,001^*</math>)</b>                      |        |       |       |       |      |       |            |      |       |
| Overall   | 3.226  | 0     | 27,6  | 4,41  | 17,3 | 48,1  | 24,5       | 27,3 | 30,4  |
| Männer  | 1.587  | 0     | 28,1  | 3,72  | 17,7 | 42,0  | 25,5       | 27,8 | 30,5  |
| Frauen  | 1.639  | 0     | 27,2  | 4,95  | 17,3 | 48,1  | 23,4       | 26,4 | 30,3  |
| <b>BMI &lt; 18,5 [<math>\text{kg}/\text{m}^2</math>] (Untergewicht)</b>                           |        |       |       |       |      |       |            |      |       |
| Overall   | 10     | 0     | 18,0  | 0,440 | 17,3 | 18,5  | 17,6       | 17,9 | 18,4  |
| <b>BMI <math>\geq 18,5 - &lt; 25</math> [<math>\text{kg}/\text{m}^2</math>] (Normalgewicht)</b>   |        |       |       |       |      |       |            |      |       |
| Overall   | 954    | 0     | 22,8  | 1,54  | 18,5 | 25,0  | 21,8       | 23,1 | 24,1  |
| <b>BMI <math>\geq 25 - &lt; 30</math> [<math>\text{kg}/\text{m}^2</math>] (Präadipositas)</b>     |        |       |       |       |      |       |            |      |       |
| Overall   | 1352   | 0     | 27,4  | 1,40  | 25,0 | 30,0  | 26,2       | 27,4 | 28,6  |
| <b>BMI <math>\geq 30 - &lt; 35</math> [<math>\text{kg}/\text{m}^2</math>] (Adipositas Grad 1)</b> |        |       |       |       |      |       |            |      |       |
| Overall   | 723    | 0     | 32,0  | 1,38  | 30,0 | 35,0  | 30,8       | 31,7 | 33,1  |
| <b>BMI <math>\geq 35</math> [<math>\text{kg}/\text{m}^2</math>] (Adipositas Grad 2 und 3)</b>     |        |       |       |       |      |       |            |      |       |
| Overall   | 187    | 0     | 37,7  | 2,37  | 35,0 | 48,1  | 35,8       | 37,0 | 39,2  |
| <b>Taillenumfang [cm] (<math>p &lt; 0,001^*</math>)</b>   |        |       |       |       |      |       |            |      |       |
| Overall   | 3.223  | 3     | 90,0  | 13,0  | 54,5 | 144,5 | 80,0       | 89,9 | 99,5  |
| Männer  | 1.586  | 1     | 96,1  | 11,0  | 66,4 | 144,5 | 88,5       | 95,3 | 103,5 |
| Frauen  | 1.637  | 2     | 84,1  | 12,0  | 54,4 | 121,5 | 74,9       | 82,2 | 92,4  |

\*\* Vorzeichen-Test (Männer vs. Frauen)

**Tabelle 2: Gelenkstatus und Erkrankungen**

| Parameter [% (n)]                        | Ausprägung   | Overall<br>(n = 3.226) | Männer<br>(n = 1.587) | Frauen<br>(n = 1.639) | p-Wert** |
|--|--------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|----------|
| <b>Gelenkverschleiß*</b>                 | Ja           | 26,3 (850)             | 23,7 (376)            | 28,9 (474)            | 0,001    |
|  | Nein         | 72,6 (2.342)           | 75,2 (1.194)          | 70,0 (1.148)          |          |
|  | Keine Angabe | 1,1 (34)               | 1,1 (17)              | 1,0 (17)              |          |
| <b>Entzündliche<br/>Gelenkerkrankung</b> | Ja           | 4,9 (159)              | 3,8 (60)              | 6,0 (99)              | 0,003    |
|  | Nein         | 93,8 (3.025)           | 95,0 (1.508)          | 92,6 (1.517)          |          |
|  | Keine Angabe | 1,3 (42)               | 1,2 (19)              | 1,4 (23)              |          |
| <b>Osteoporose</b>                       | Ja           | 3,7 (119)              | 1,8 (28)              | 5,6 (91)              | < 0,001  |
|  | Nein         | 94,3 (3.041)           | 96,1 (1.525)          | 92,5 (1.516)          |          |
|  | Keine Angabe | 2,0 (66)               | 2,1 (34)              | 2,0 (32)              |          |
| <b>Diabetes</b>                          | Ja           | 9,0 (291)              | 10,1 (160)            | 8,0 (131)             | 0,042    |
|  | Nein         | 89,1 (2.873)           | 88,2 (1.400)          | 89,9 (1.473)          |          |
|  | Keine Angabe | 1,9 (62)               | 1,7 (27)              | 2,1 (35)              |          |

\* Gelenkverschleiß = z.B. Arthrose in einem Gelenk

\*\* Chi-Quadrat-Test (Männer vs. Frauen, ohne Missings)

### 3.2.2 Befunde aus den MRT-Bildern

An den vorliegenden MRT-Bildern (n = 3.226) wurden die Hüftparameter CE, CCD, AA, TI und HD vermessen. Hierbei erfolgte die Analyse der Ergebnisse jeweils für die rechte und linke Körperseite getrennt. Nachfolgend wurden die Werte aus rechter und linker Seite gemittelt (siehe Tabelle 3 bis Tabelle 7 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**)

Der mittlere CE betrug 31,1 Grad ( $\pm 7,02$ ), wobei Männer einen kleineren CE hatten als Frauen ( $p < 0,001$  Vorzeichen-Test). Auch für den CE ließ sich ein auffälliger Unterschied zwischen den Körperseiten zeigen ( $p < 0,001$ , T-Test für verbundene Stichproben), wobei der Winkel der linken Körperseite größer war (siehe Tabelle 3).

**Tabelle 3: Center-Edge-Winkel (CE) [Grad]<sup>#</sup>**

|                                  | N      |       | Mw   | SD   | Min. | Max. | Perzentile |      |      |
|----------------------------------|--------|-------|------|------|------|------|------------|------|------|
|                                  | Gültig | Miss. |      |      |      |      | 25         | 50   | 75   |
| <i>Rechts (p &lt; 0,001*)</i>    |        |       |      |      |      |      |            |      |      |
| <b>Overall</b>                   | 3.226  | 0     | 29,5 | 7,69 | 1,77 | 60,8 | 24,3       | 29,5 | 34,5 |
| <b>Männer</b>                    | 1.587  | 0     | 28,8 | 7,88 | 1,77 | 55,8 | 23,3       | 28,8 | 34,0 |
| <b>Frauen</b>                    | 1.639  | 0     | 30,2 | 7,45 | 5,53 | 60,8 | 25,3       | 34,9 | 30,1 |
| <i>Links (p &lt; 0,001*)</i>     |        |       |      |      |      |      |            |      |      |
| <b>Overall</b>                   | 3.226  | 0     | 32,7 | 7,76 | 3,64 | 61,0 | 27,5       | 32,7 | 37,9 |
| <b>Männer</b>                    | 1.587  | 0     | 32,0 | 7,74 | 3,64 | 59,8 | 26,7       | 31,9 | 37,0 |
| <b>Frauen</b>                    | 1.639  | 0     | 33,4 | 7,72 | 6,62 | 61,0 | 28,5       | 33,5 | 38,5 |
| <i>Gemittelt (p &lt; 0,001*)</i> |        |       |      |      |      |      |            |      |      |
| <b>Overall</b>                   | 3.226  | 0     | 31,1 | 7,02 | 7,21 | 60,5 | 26,4       | 31,1 | 35,7 |
| <b>Männer</b>                    | 1.587  | 0     | 30,4 | 7,03 | 10,4 | 55,3 | 25,8       | 30,2 | 35,1 |
| <b>Frauen</b>                    | 1.639  | 0     | 31,8 | 7,93 | 7,21 | 60,5 | 27,2       | 31,8 | 36,4 |

<sup>#</sup> Vergleich rechts vs. links overall:  $p < 0,001$  (T-Test für verbundene Stichproben)

\* Vorzeichentest (Männer vs. Frauen)

Der CCD betrug durchschnittlich 126,9 Grad ( $\pm 6,66$ ), ein geschlechtsspezifischer Unterschied lag mit  $p = 0,001$  vor (Frauen > Männer). Auch der Unterschied zwischen den Körperseiten war auffällig ( $p < 0,001$ , T-Test für verbundene Stichproben), hier fand sich ein größerer Winkel auf der rechten Körperseite (siehe Tabelle 4).

Für den AA wurde ein mittlerer Wert von 54,5 Grad ( $\pm 8,15$ ) gemessen. Bei Männern ergab sich ein größerer Winkel als bei Frauen ( $p < 0,001$ , Vorzeichen-Test). Ein Unterschied zwischen den Körperseiten konnte nicht festgestellt werden ( $p = 0,976$ , T-Test für verbundene Stichproben; siehe Tabelle 5).

**Tabelle 4: Centrum-Collum-Diaphysen-Winkel (CCD) [Grad]<sup>#</sup>**

|   | N      |       | Mw    | SD   | Min.  | Max.  | Perzentile |       |       |
|---|--------|-------|-------|------|-------|-------|------------|-------|-------|
|   | Gültig | Miss. |       |      |       |       | 25         | 50    | 75    |
| <b>Rechts (<math>p = 0,379^*</math>)</b>    |        |       |       |      |       |       |            |       |       |
| <b>Overall</b>                              | 3.226  | 0     | 127,6 | 7,06 | 96,0  | 152,8 | 123,3      | 127,8 | 132,6 |
| <b>Männer</b>                               | 1.587  | 0     | 127,7 | 7,06 | 96,0  | 152,8 | 123,2      | 127,9 | 132,4 |
| <b>Frauen</b>                               | 1.639  | 0     | 127,9 | 7,06 | 98,8  | 152,1 | 123,3      | 127,7 | 132,8 |
| <b>Links (<math>p &lt; 0,001^*</math>)</b>  |        |       |       |      |       |       |            |       |       |
| <b>Overall</b>                              | 3.226  | 0     | 126,0 | 7,44 | 100,5 | 152,5 | 121,1      | 126,1 | 131,1 |
| <b>Männer</b>                               | 1.587  | 0     | 125,3 | 7,68 | 100,5 | 150,5 | 120,2      | 125,5 | 130,6 |
| <b>Frauen</b>                               | 1.639  | 0     | 126,8 | 7,12 | 103,4 | 152,5 | 122,0      | 126,7 | 131,8 |
| <b>Gemittelt (<math>p = 0,001^*</math>)</b> |        |       |       |      |       |       |            |       |       |
| <b>Overall</b>                              | 3.226  | 0     | 126,9 | 6,66 | 101,9 | 150,6 | 122,4      | 126,8 | 131,4 |
| <b>Männer</b>                               | 1.587  | 0     | 126,5 | 6,75 | 102,4 | 150,6 | 122,1      | 126,7 | 131,2 |
| <b>Frauen</b>                               | 1.639  | 0     | 127,4 | 6,55 | 101,9 | 149,4 | 123,1      | 127,0 | 131,8 |

<sup>#</sup> Vergleich rechts vs. links overall:  $p < 0,001$  (T-Test für verbundene Stichproben)

\* Vorzeichentest (Männer vs. Frauen)

**Tabelle 5: Alpha-Winkel (AA) [Grad]<sup>#</sup>**

|  | N      |       | Mw   | SD   | Min. | Max.  | Perzentile |      |      |
|--|--------|-------|------|------|------|-------|------------|------|------|
|  | Gültig | Miss. |      |      |      |       | 25         | 50   | 75   |
| <b>Rechts (<math>p &lt; 0,001^*</math>)</b>    |        |       |      |      |      |       |            |      |      |
| <b>Overall</b>                                 | 3.226  | 0     | 54,7 | 10,0 | 31,8 | 133,1 | 48,1       | 52,6 | 58,7 |
| <b>Männer</b>                                  | 1.587  | 0     | 57,6 | 10,3 | 36,8 | 99,7  | 50,2       | 55,5 | 63,3 |
| <b>Frauen</b>                                  | 1.639  | 0     | 51,9 | 8,90 | 31,8 | 133,1 | 46,5       | 50,6 | 55,2 |
| <b>Links (<math>p &lt; 0,001^*</math>)</b>     |        |       |      |      |      |       |            |      |      |
| <b>Overall</b>                                 | 3.226  | 0     | 54,3 | 9,72 | 29,1 | 108,8 | 47,8       | 52,5 | 58,5 |
| <b>Männer</b>                                  | 1.587  | 0     | 57,2 | 10,3 | 35,8 | 100,5 | 49,8       | 55,0 | 65,0 |
| <b>Frauen</b>                                  | 1.639  | 0     | 51,5 | 8,20 | 29,1 | 108,8 | 46,2       | 50,6 | 55,1 |
| <b>Gemittelt (<math>p &lt; 0,001^*</math>)</b> |        |       |      |      |      |       |            |      |      |
| <b>Overall</b>                                 | 3.226  | 0     | 54,5 | 8,15 | 33,9 | 110,6 | 48,8       | 53,0 | 59,1 |
| <b>Männer</b>                                  | 1.587  | 0     | 57,4 | 8,49 | 39,4 | 96,4  | 51,1       | 56,1 | 62,8 |
| <b>Frauen</b>                                  | 1.639  | 0     | 51,7 | 6,69 | 33,9 | 110,6 | 47,3       | 50,8 | 54,9 |

<sup>#</sup> Vergleich rechts vs. links overall:  $p = 0,976$  (T-Test für verbundene Stichproben)

\* Vorzeichentest (Männer vs. Frauen)

Im Mittel wurde für den TI -2,29 mm ( $\pm 0,667$ ) gemessen, wobei Männer einen niedrigeren TI hatten als Frauen ( $p < 0,001$ , Vorzeichen-Test). Auch zwischen den beiden Körperseiten fand sich ein auffälliger Unterschied, dabei war der Winkel der linken Körperseite deutlich kleiner ( $p < 0,001$ , T-Test für verbundene Stichproben; siehe Tabelle 6).

**Tabelle 6: Triangulärer Index (TI) [mm]<sup>#</sup>**

|  | N      |       | Mw    | SD    | Min.  | Max.  | Perzentile |       |       |
|--|--------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|-------|-------|
|  | Gültig | Miss. |       |       |       |       | 25         | 50    | 75    |
| <b>Rechts (<math>p &lt; 0,001^*</math>)</b>    |        |       |       |       |       |       |            |       |       |
| <b>Overall</b>                                 | 3.226  | 0     | -2,24 | 0,819 | -7,76 | -1,11 | -2,31      | -1,99 | -1,78 |
| <b>Männer</b>                                  | 1.587  | 0     | -2,43 | 0,983 | -7,76 | -1,15 | -2,61      | -2,06 | -1,81 |
| <b>Frauen</b>                                  | 1.639  | 0     | -2,05 | 0,562 | -6,75 | -1,11 | -2,17      | -1,95 | -1,74 |
| <b>Links (<math>p &lt; 0,001^*</math>)</b>     |        |       |       |       |       |       |            |       |       |
| <b>Overall</b>                                 | 3.226  | 0     | -2,33 | 0,837 | -7,99 | -1,17 | -2,38      | -2,09 | -1,86 |
| <b>Männer</b>                                  | 1.587  | 0     | -2,53 | 0,997 | -7,50 | -1,28 | -2,82      | -2,17 | -1,89 |
| <b>Frauen</b>                                  | 1.639  | 0     | -2,14 | 0,586 | -7,99 | -1,17 | -2,25      | -2,04 | -1,84 |
| <b>Gemittelt (<math>p &lt; 0,001^*</math>)</b> |        |       |       |       |       |       |            |       |       |
| <b>Overall</b>                                 | 3.226  | 0     | -2,29 | 0,667 | -6,51 | -1,33 | -2,41      | -2,07 | -1,88 |
| <b>Männer</b>                                  | 1.587  | 0     | -2,48 | 0,801 | -6,51 | -1,37 | -2,84      | -2,18 | -1,93 |
| <b>Frauen</b>                                  | 1.639  | 0     | -2,10 | 0,428 | -5,61 | -1,33 | -2,21      | -2,00 | -1,84 |

<sup>#</sup> Vergleich rechts vs. links overall:  $p < 0,001$  (T-Test für verbundene Stichproben)

\* Vorzeichentest (Männer vs. Frauen)

Der HD betrug durchschnittlich 44,6 mm ( $\pm 3,94$ ). Bei Männern fand sich ein größerer Durchmesser als bei Frauen ( $p < 0,001$ , Vorzeichen-Test). Auch zwischen den beiden Körperseiten konnte ein Unterschied festgestellt werden, wobei der HD der linken Seite durchschnittlich um 0,3 mm größer war ( $p < 0,001$ , T-Test für verbundene Stichproben; siehe Tabelle 7).

**Tabelle 7: Femurkopfdurchmesser (HD) [mm]<sup>#</sup>**

|  | N      |       | Mw   | SD   | Min. | Max. | Perzentile |      |      |
|--|--------|-------|------|------|------|------|------------|------|------|
|  | Gültig | Miss. |      |      |      |      | 25         | 50   | 75   |
| <b>Rechts (<math>p &lt; 0,001^*</math>)</b>    |        |       |      |      |      |      |            |      |      |
| <b>Overall</b>                                 | 3.226  | 0     | 44,4 | 4,03 | 34,0 | 58,2 | 41,3       | 44,1 | 47,5 |
| <b>Männer</b>                                  | 1.587  | 0     | 47,4 | 2,96 | 39,1 | 58,2 | 45,5       | 47,5 | 49,4 |
| <b>Frauen</b>                                  | 1.639  | 0     | 41,5 | 2,55 | 34,0 | 50,1 | 39,8       | 41,6 | 43,3 |
| <b>Links (<math>p &lt; 0,001^*</math>)</b>     |        |       |      |      |      |      |            |      |      |
| <b>Overall</b>                                 | 3.226  | 0     | 44,7 | 4,04 | 32,4 | 58,6 | 41,7       | 44,2 | 47,7 |
| <b>Männer</b>                                  | 1.587  | 0     | 47,7 | 2,93 | 39,5 | 58,6 | 45,7       | 47,7 | 49,6 |
| <b>Frauen</b>                                  | 1.639  | 0     | 41,8 | 2,52 | 32,4 | 51,2 | 40,0       | 41,8 | 43,3 |
| <b>Gemittelt (<math>p &lt; 0,001^*</math>)</b> |        |       |      |      |      |      |            |      |      |
| <b>Overall</b>                                 | 3.226  | 0     | 44,6 | 3,94 | 33,9 | 58,1 | 41,6       | 44,3 | 47,5 |
| <b>Männer</b>                                  | 1.587  | 0     | 47,6 | 2,81 | 39,3 | 58,1 | 45,7       | 47,5 | 49,3 |
| <b>Frauen</b>                                  | 1.639  | 0     | 41,7 | 2,39 | 33,9 | 49,9 | 40,0       | 41,7 | 43,3 |

<sup>#</sup> Vergleich rechts vs. links overall:  $p < 0,001$  (T-Test für verbundene Stichproben)

\* Vorzeichentest (Männer vs. Frauen)

**Tabelle 8: Os acetabuli**

| Parameter [% (n)]   | Ausprägung      | Overall<br>(n = 3.226) | Männer<br>(n = 1.587) | Frauen<br>(n = 1.639) | p-Wert** |
|---------------------|-----------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|----------|
| <b>Os acetabuli</b> | Rechts          | 2,9 (93)               | 3,2 (50)              | 2,6 (43)              | 0,371    |
|                     | Links           | 1,8 (58)               | 1,9 (30)              | 1,7 (28)              | 0,697    |
|                     | Nicht vorhanden | 95,3 (3.075)           | 94,9 (1.507)          | 95,7 (1.568)          |          |

\*\* Chi-Quadrat-Test (Männer vs. Frauen, ohne Missings)

Ein Os acetabuli wurde insgesamt bei 4,3 % (n = 138) der Probanden festgestellt, bei 0,4 % (n = 13) der Probanden trat es beidseitig auf. Weder auf der linken noch auf der rechten Körperseite unterschied sich die Häufigkeit eines Os acetabuli zwischen den Geschlechtern (rechts p = 0,371, links p = 0,697, jeweils Chi-Quadrat-Test; siehe Tabelle 8).

### 3.3 Beziehungen der Hüftparameter

#### 3.3.1 Korrelationen der beiden Körperseiten

**Tabelle 9: Korrelation der rechten und linken Hüftparameter (n = 3.226)**

| Parameter                       | Ausprägung       | Korr.koeff $r_{\text{Spearman}}$ | p-Wert t-Test |
|---------------------------------|------------------|----------------------------------|---------------|
| Center-Edge-Winkel              | Rechts vs. links | 0,647                            | < 0,001       |
| Centrum-Collum-Diaphysen-Winkel | Rechts vs. links | 0,683                            | 0,001         |
| Alpha-Winkel                    | Rechts vs. links | 0,366                            | < 0,001       |
| Triangulärer Index              | Rechts vs. links | 0,209                            | < 0,001       |
| Femurkopfdurchmesser            | Rechts vs. links | 0,907                            | < 0,001       |

Zur Prüfung des Zusammenhangs der gemessenen Hüftparameter zwischen der rechten und der linken Körperhälfte wurde für jeden Parameter der Korrelationskoeffizient nach Spearman bestimmt. Eine sehr hohe Korrelation der Messungen beider Körperseiten konnte nur für den HD ( $r = 0,907$ ) festgestellt werden. Die Analysen beim CE ( $r = 0,647$ ) und beim CCD ( $r = 0,683$ ) ergaben jeweils eine mittlere Korrelation, beim AA ( $r = 0,366$ ) und beim TI ( $r = 0,209$ ) korrelierten die Messungen der beiden Körperseiten nur wenig (siehe Tabelle 9).

### 3.3.2 Einflussfaktoren auf die gemessenen Hüftparameter

Wie in Kapitel 2.4.3 angegeben, wurde der Einfluss der demografischen und anamnestischen Parameter auf die Hüftparameter sowie die Beziehung zwischen den Hüftparametern mithilfe linearer Regressionsanalysen überprüft.

#### 3.3.2.1 Geschlecht

Der Einfluss des Geschlechts auf die Hüftparameter ist in Tabelle 10 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** angegeben. Danach hat das Geschlecht auf alle gemessenen Hüftparameter einen auffälligen Einfluss (jeweils  $p < 0,001$ ). Frauen haben einen 1,4 Grad größeren CE als Männer, der CCD ist 0,896 Grad größer und der TI um 0,382 mm. Dagegen ist der AA um 5,74 Grad und der HD um 5,91 mm kleiner.

**Tabelle 10: Regressionsanalyse – Einflussfaktor Geschlecht (Frauen) auf die gemittelten Hüftparameter (n = 3.226)**

| Parameter                       | Geschätzter Effekt | 95%-KI        | p-Wert  |
|---------------------------------|--------------------|---------------|---------|
| Center-Edge-Winkel              | 1,40               | 0,920 – 1,88  | < 0,001 |
| Centrum-Collum-Diaphysen-Winkel | 0,896              | 0,437 – 1,36  | < 0,001 |
| Alpha-Winkel                    | -5,74              | -6,26 – -5,21 | < 0,001 |
| Triangulärer Index              | 0,382              | 0,338 – 0,426 | < 0,001 |
| Femurkopfdurchmesser            | -5,91              | -6,09 – -5,73 | < 0,001 |

#### 3.3.2.2 Alter

Die Analyse der Altersabhängigkeit erfolgte mit einem multivariaten polynominalen Regressionsmodell (multivariable fractional polynomial model). Die aus diesem Modell vorhergesagten Hüftparameter wurden für verschiedene Alterslevel berechnet. Hierbei steigen CE, AA, TI und HD an, der CCD fällt ab (siehe Abb. 15, Abb. 16 und Tabelle 16).

Beim Anstieg des CE mit zunehmendem Alter ( $p < 0,001$ ) nimmt der Unterschied zwischen den Altersstufen jedoch mit zunehmendem Alter ab. Probanden im Alter von 20 Jahren haben mit 21,8 Grad einen 4,1 Grad geringeren CE als Probanden im Alter von 30 Jahren. Der Unterschied zwischen 60- und 70-Jährigen beträgt dagegen nur 1,6 Grad (32,8 Grad bzw. 34,4 Grad).

Der CCD nimmt mit zunehmendem Alter auffällig ab ( $p < 0,001$ ), die Werte liegen in einem Bereich von 131,3 Grad bei 20-Jährigen bis 123,2 Grad bei 80-Jährigen. Der Unterschied zwischen den 10-Jahres-Altersstufen liegt bei 1,3 – 1,4 Grad.

Beim AA ist für die 10-Jahres-Altersstufen eine geringe, jedoch auffällige Veränderung ( $p = 0,002$ ) festzustellen, der Winkel steigt jeweils um 0,3 Grad. Dabei haben Probanden mit einem Alter von 20 Jahren einen AA von 53,5 Grad und Probanden im Alter von 80 Jahren einen AA von 55,4 Grad.

Mit zunehmendem Alter wird der TI auffällig negativer ( $p = 0,001$ ). Dieser Abfall liegt, mit einem Range von -2,20 mm bei 20-Jährigen bis -2,36 mm bei 80-Jährigen, jedoch nur bei ca. 0,03 mm pro 10 Lebensjahre.

Der HD steigt ebenfalls mit zunehmendem Alter auffällig an ( $p = 0,001$ ), hierbei nimmt der Unterschied zwischen den Altersstufen mit zunehmendem Alter jedoch zu. Bei Probanden im Alter von 20 Jahren liegt der HD mit 44,3 mm ebenso hoch wie bei Probanden im Alter von 30 Jahren. Bei 60- und 70-Jährigen hingegen liegt der Unterschied bei 0,3 mm (44,6 mm bzw. 44,9 mm).

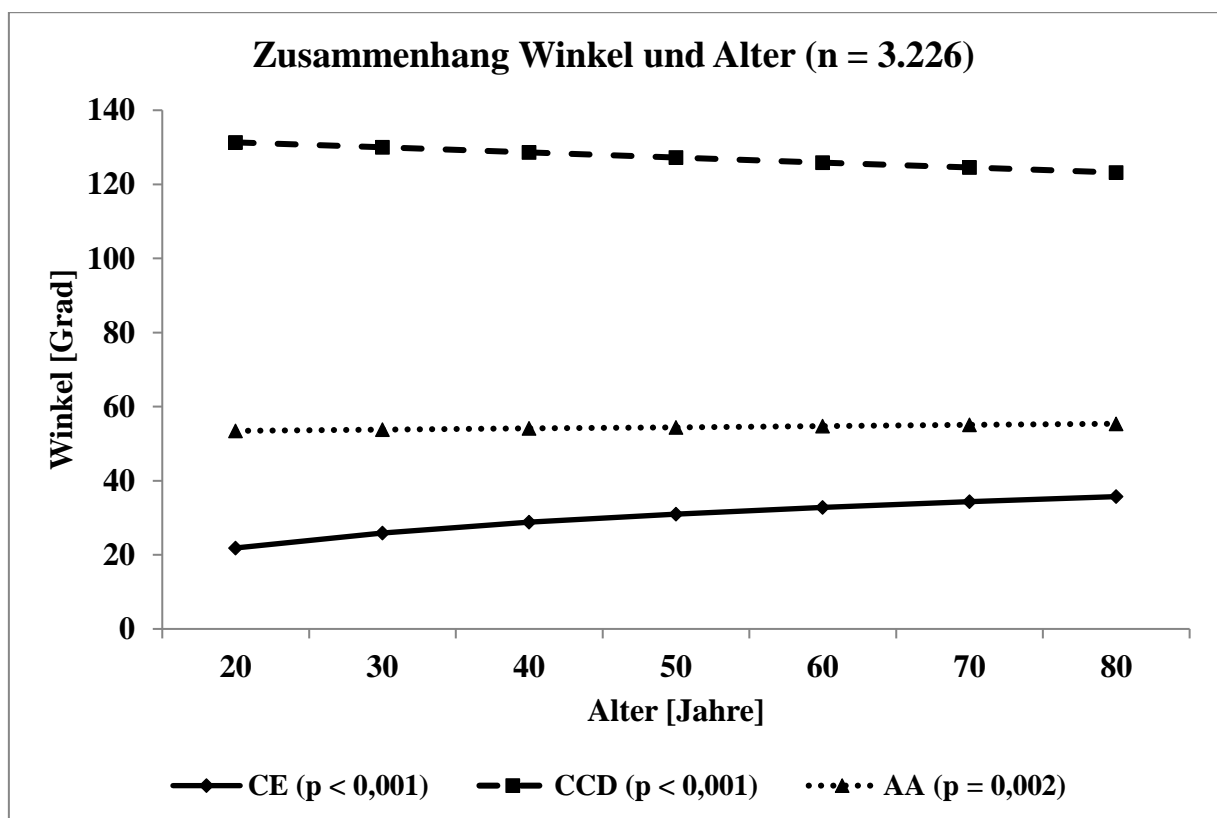
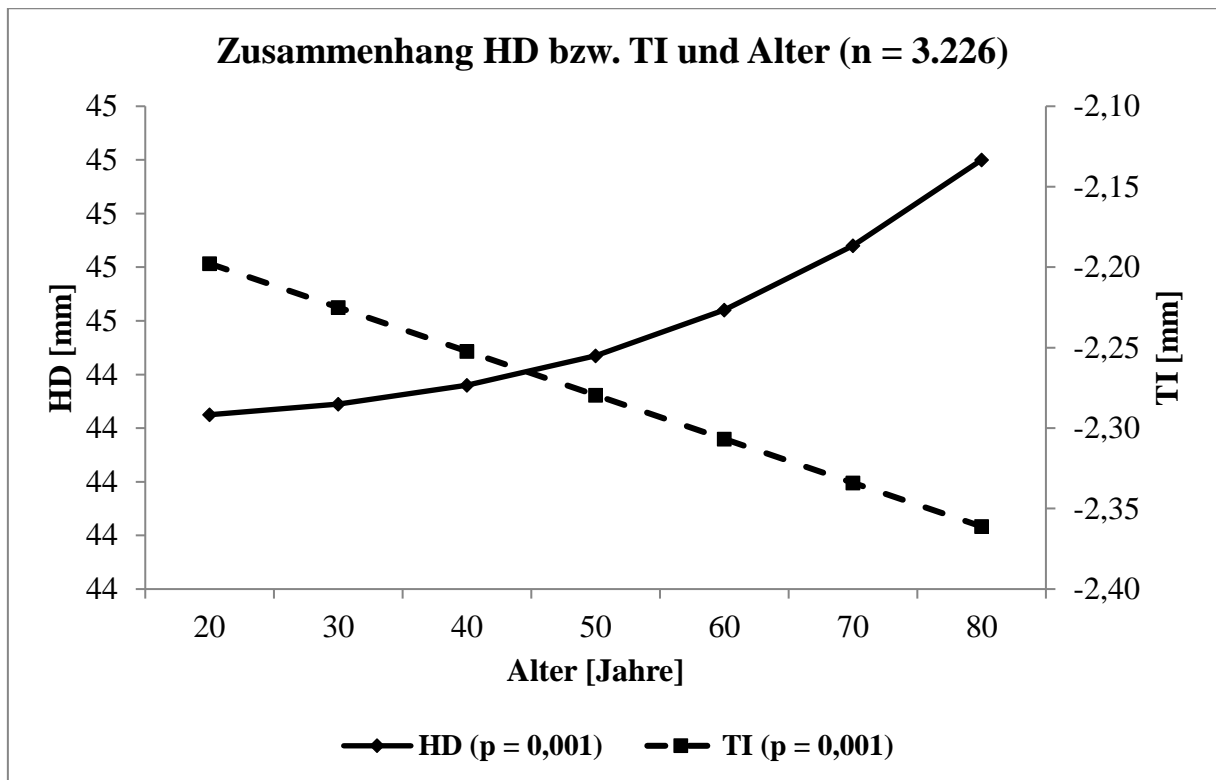


Abb. 15: Regressionsanalyse zum Zusammenhang von Winkel und Alter



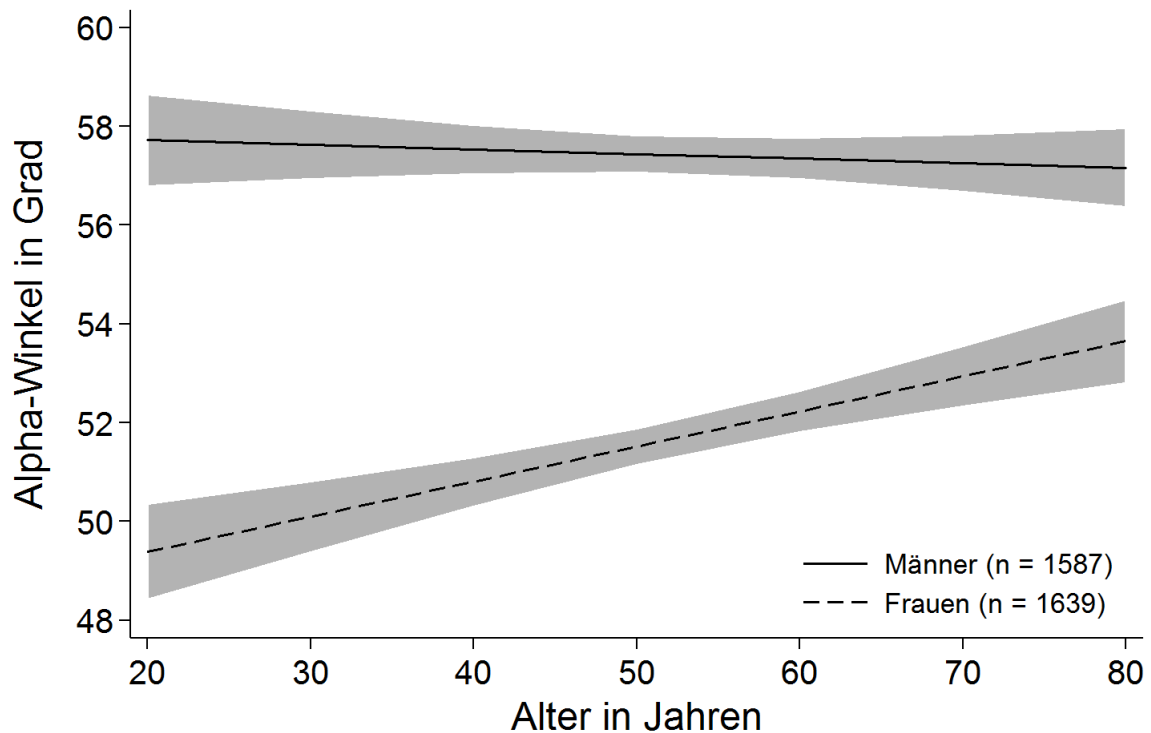
**Abb. 16: Regressionsanalyse zum Zusammenhang von Femurkopfdurchmesser (HD) bzw. Triangulärem Index (TI) und Alter**

### 3.3.2.3 Interaktion zwischen Alter und Geschlecht

Weiterhin wurde der Einfluss einer möglichen Interaktion von Alter und Geschlecht auf die aus rechter und linker Körperseite gemittelten Hüftparameter analysiert. Nachfolgend sind die p-Werte der geprüften Interaktion angegeben:

- Center-Edge-Winkel: p = 0,119
- Centrum-Collum-Diaphysen-Winkel: p = 0,396
- Alpha-Winkel: p < 0,001
- Triangulärer Index: p = 0,065
- Femurkopfdurchmesser: p = 0,323

Die einzige auffällige Interaktion bestand beim AA zwischen Alter und Geschlecht (p < 0,001; siehe Abb. 17). Die Prüfung einer möglichen zusätzlichen Interaktion zwischen Alter und BMI, getrennt für Männer und Frauen, erbrachte keine Auffälligkeit (p = 0,516 bei Männern und p = 0,656 bei Frauen). Beim TI gab es Hinweise auf eine mögliche Interaktion, die jedoch aktuell nicht auffällig war (p = 0,065). Auch hier erbrachte die Prüfung einer möglichen zusätzlichen Interaktion zwischen Alter und BMI, getrennt für Männer und Frauen, keine Auffälligkeit (p = 0,375 bei Männern und p = 1,000 bei Frauen).



**Abb. 17: Alpha-Winkel-Regressionsanalyse für die Interaktion von Alter und Geschlecht**

Grauer Bereich: 95 %-Konfidenzintervall, Regressionsgleichung:  $y = 57,9 + -0,009 \cdot \text{Alter} + -9,95 \cdot \text{Frau} + 0,080 \cdot \text{Alter} \cdot \text{Frau}$

(Quelle: Darstellung von T. Ittermann, Community Medicine Greifswald)

### 3.3.2.4 BMI

Der Einfluss des BMI auf die gemessenen Winkel wurde ebenfalls in einem linearen Regressionsmodell analysiert (siehe Abb. 18, Abb. 19 und Tabelle 17). Hierbei nehmen CE, AA, TI und HD jeweils bei steigendem BMI ab, der CCD hingegen nimmt zu.

Bei der Abnahme des CE mit zunehmendem BMI ( $p < 0,001$ ) wird der Unterschied zwischen den BMI-Stufen mit zunehmendem BMI größer. Zwischen Probanden mit einem BMI von 20  $\text{kg}/\text{m}^2$  (31,7 Grad) und Probanden mit einem BMI von 25  $\text{kg}/\text{m}^2$  (31,3 Grad) fällt der CE nur um 0,4 Grad. Der Unterschied zwischen Probanden mit einem BMI von 30  $\text{kg}/\text{m}^2$  zu Probanden mit einem BMI von 35  $\text{kg}/\text{m}^2$  beträgt dagegen 1,4 Grad (30,5 Grad bzw. 29,1 Grad).

Der CCD nimmt ebenfalls mit zunehmendem BMI ab ( $p < 0,001$ ). Der Unterschied zwischen niedrigeren BMI-Werten ist hierbei größer als der zwischen hohen. Zwischen 20  $\text{kg}/\text{m}^2$  (128,2

Grad) und  $25 \text{ kg/m}^2$  ( $127,1 \text{ Grad}$ ) findet sich eine Differenz von  $1,1 \text{ Grad}$ . Beim Vergleich von  $30 \text{ kg/m}^2$  zu  $35 \text{ kg/m}^2$  beträgt der Unterschied  $0,4 \text{ Grad}$  ( $126,6 \text{ Grad}$  bzw.  $126,2 \text{ Grad}$ ).

Der AA fällt mit steigendem BMI ab ( $p < 0,001$ ), wobei sich die Abnahme mit zunehmendem BMI vergrößert. Der Unterschied zwischen Probanden mit einem BMI von  $20 \text{ kg/m}^2$  ( $55,6 \text{ Grad}$ ) und  $25 \text{ kg/m}^2$  ( $55,1 \text{ Grad}$ ) liegt bei  $0,5 \text{ Grad}$ . Die Differenz zwischen Probanden mit einem BMI von  $30 \text{ kg/m}^2$  und Probanden mit einem BMI von  $35 \text{ kg/m}^2$  beträgt jedoch  $1,7 \text{ Grad}$  ( $54,1 \text{ Grad}$  bzw.  $52,4 \text{ Grad}$ ).

Auch beim TI zeigt sich eine auffällige Abnahme bei zunehmendem BMI ( $p < 0,001$ ). Beim Vergleich von  $20 \text{ kg/m}^2$  ( $-2,17 \text{ mm}$ ) zu  $25 \text{ kg/m}^2$  ( $-2,27 \text{ mm}$ ) beträgt der Unterschied  $0,1 \text{ mm}$ , bei BMI-Werten von  $30 \text{ kg/m}^2$  ( $-2,32 \text{ mm}$ ) zu  $35 \text{ kg/m}^2$  ( $-2,35 \text{ mm}$ ) beläuft sich die Differenz nur auf  $0,03 \text{ mm}$ .

Beim HD ist ebenfalls eine Abnahme bei steigendem BMI vorhanden ( $p < 0,001$ ), wobei auch dieser Parameter bei zunehmendem BMI stärker abnimmt. Der Unterschied zwischen BMI-Werten von  $20 \text{ kg/m}^2$  ( $45,5 \text{ mm}$ ) und  $25 \text{ kg/m}^2$  ( $45,0 \text{ mm}$ ) beträgt beispielsweise  $0,5 \text{ mm}$ . Zwischen Probanden mit  $30 \text{ kg/m}^2$  ( $44,3 \text{ mm}$ ) und  $35 \text{ kg/m}^2$  ( $43,0 \text{ mm}$ ) liegt er mit  $1,3 \text{ mm}$  deutlich höher.

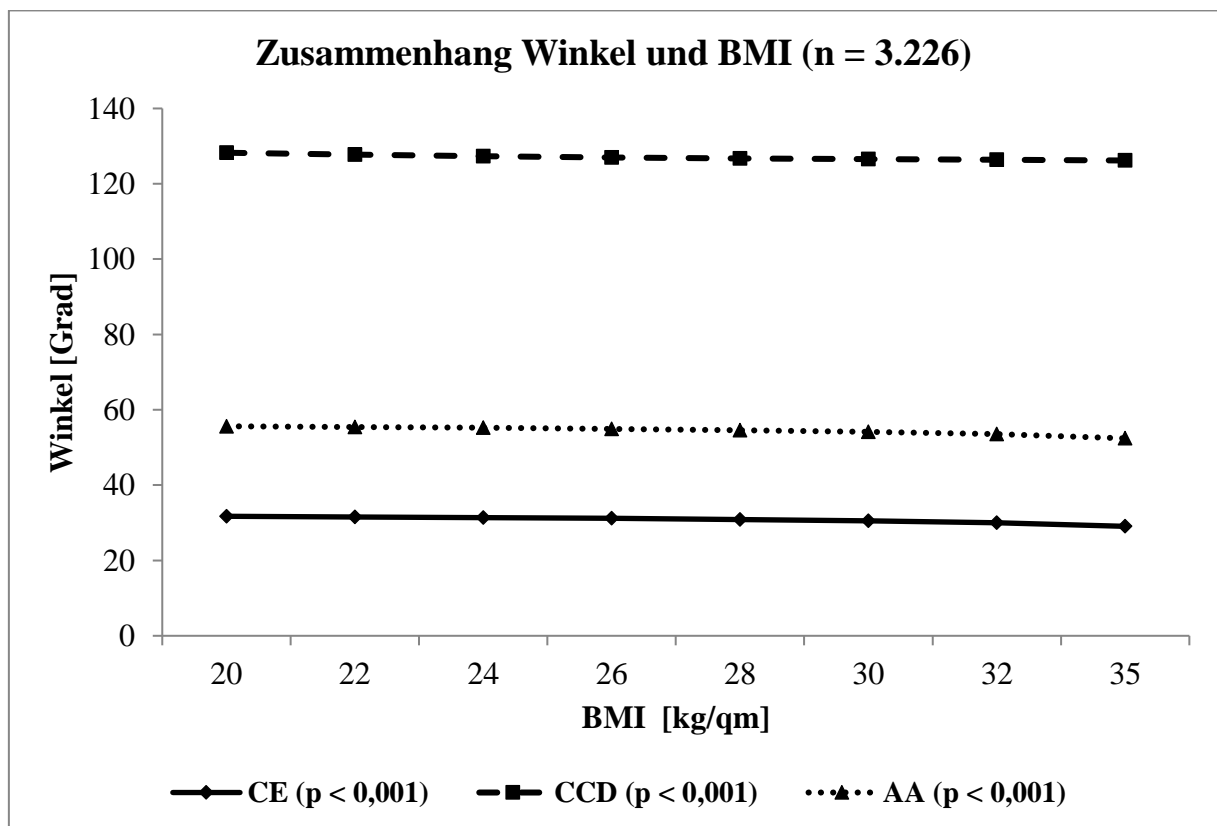
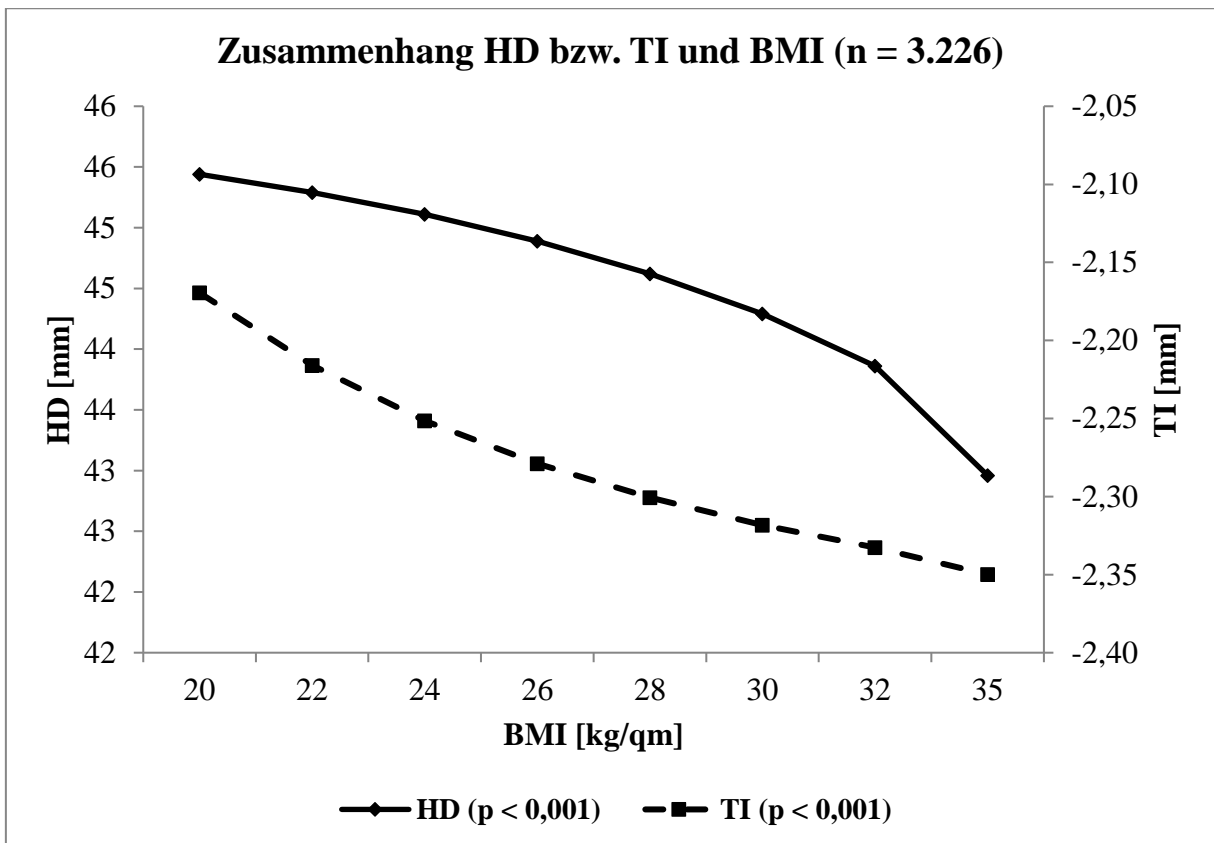


Abb. 18: Regressionsanalyse zum Zusammenhang von Winkel und BMI



**Abb. 19: Regressionsanalyse zum Zusammenhang von Femurkopfdurchmesser (HD) bzw. Triangulärem Index (TI) und BMI**

Für alle Winkel konnte ein auffälliger Unterschied zwischen Normalgewicht und Präadipositas sowie zwischen Normalgewicht und Adipositas Stufe 1 festgestellt werden (jeweils  $p < 0,001$ ; siehe Tabelle 11). Der CE ist zusätzlich zwischen Normalgewicht und Adipositas Stufe 2 + 3 ( $p = 0,038$ ) und zwischen Normalgewicht und Untergewicht ( $p = 0,018$ ) unterschiedlich. Letzteres sollte jedoch aufgrund der stark unbalancierten Gruppen eher einem zufälligen Effekt zugeschrieben werden.

**Tabelle 11: Regressionsanalyse – Vergleich der gemittelten Hüftparameter bei den BMI-Gruppen (n = 3.226)**

| Parameter                              | Normalgewicht (n = 954) vs.#     | p-Wert  |
|--|----------------------------------|---------|
| <b>Center-Edge-Winkel</b>              | Untergewicht (n = 10)            | 0,420   |
|  | Präadipositas (n = 1.352)        | 0,001   |
|  | Adipositas Stufe 1 (n = 723)     | 0,001   |
|  | Adipositas Stufe 2 + 3 (n = 187) | 0,038   |
| <b>Centrum-Collum-Diaphysen-Winkel</b> | Untergewicht (n = 10)            | 0,018   |
|  | Präadipositas (n = 1.352)        | < 0,001 |
|  | Adipositas Stufe 1 (n = 723)     | < 0,001 |
|  | Adipositas Stufe 2 + 3 (n = 187) | 0,535   |
| <b>Alpha-Winkel</b>                    | Untergewicht (n = 10)            | 0,079   |
|  | Präadipositas (n = 1.352)        | < 0,001 |
|  | Adipositas Stufe 1 (n = 723)     | < 0,001 |
|  | Adipositas Stufe 2 + 3 (n = 187) | 0,833   |
| <b>Triangulärer Index</b>              | Untergewicht (n = 10)            | 0,563   |
|  | Präadipositas (n = 1.352)        | < 0,001 |
|  | Adipositas Stufe 1 (n = 723)     | < 0,001 |
|  | Adipositas Stufe 2 + 3 (n = 187) | 0,933   |
| <b>Femurkopfdurchmesser</b>            | Untergewicht (n = 10)            | 0,799   |
|  | Präadipositas (n = 1.352)        | < 0,001 |
|  | Adipositas Stufe 1 (n = 723)     | < 0,001 |
|  | Adipositas Stufe 2 + 3 (n = 187) | 0,441   |

# Untergewicht BMI < 18,5; Normalgewicht BMI 18,5 – < 25; Präadipositas BMI 25 – < 30; Adipositas Stufe 1 BMI 30 – < 35; Adipositas Stufe 2 +3 BMI ≥ 35

### 3.3.2.5 Körpergewicht

Beim Regressionsmodell für das Körpergewicht nehmen alle gemessenen Hüftparameter ab. Die Abnahme ist jedoch nur beim AA, TI und HD auffällig (siehe Abb. 20, Abb. 21 und Tabelle 18).

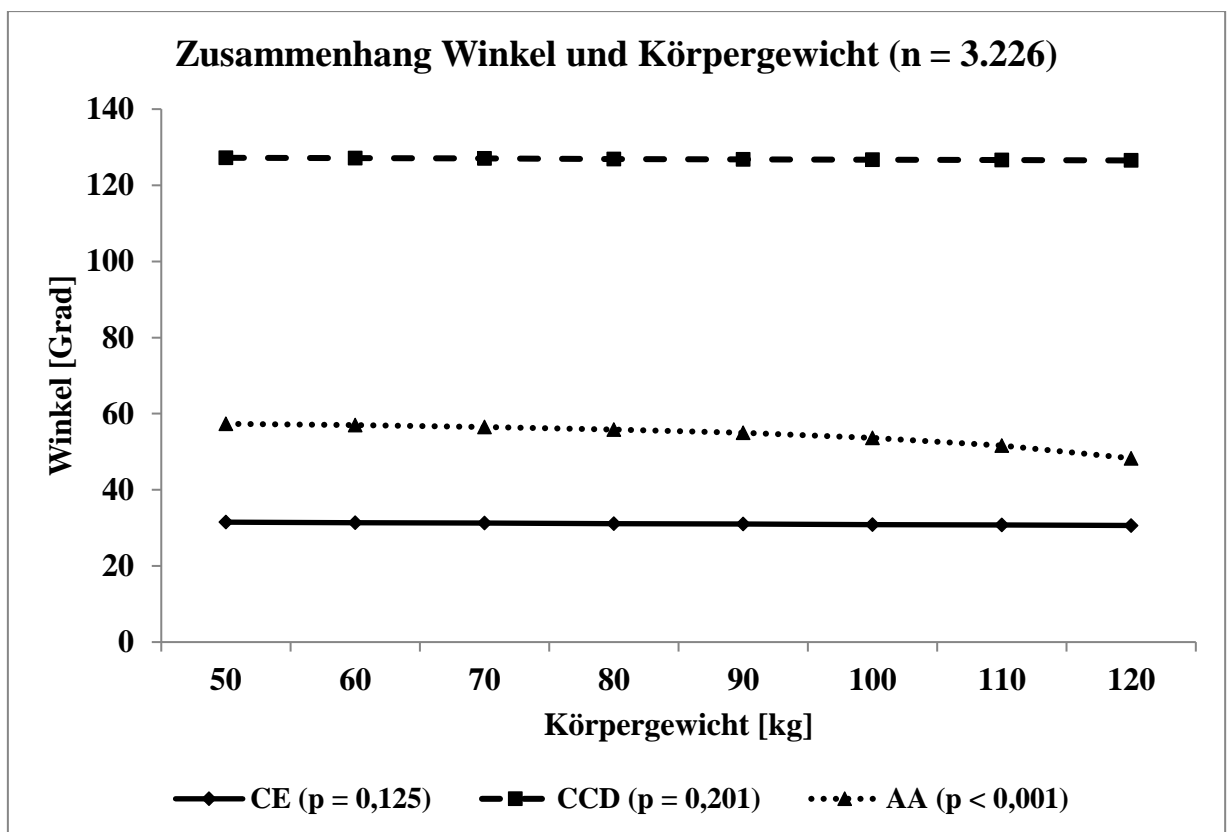
Der CE verkleinert sich mit steigendem Körpergewicht von 31,5 Grad bei 50 kg schweren Probanden bis zu 30,8 Grad bei 110 kg schweren Probanden. Diese geringe Abnahme ist jedoch statistisch nicht auffällig (p = 0,125).

Ebenso unauffällig nimmt der CCD mit steigendem Körpergewicht ab (p = 0,201), der Range reicht von 127,2 Grad bei 50 kg bis 126,6 Grad bei 110 kg.

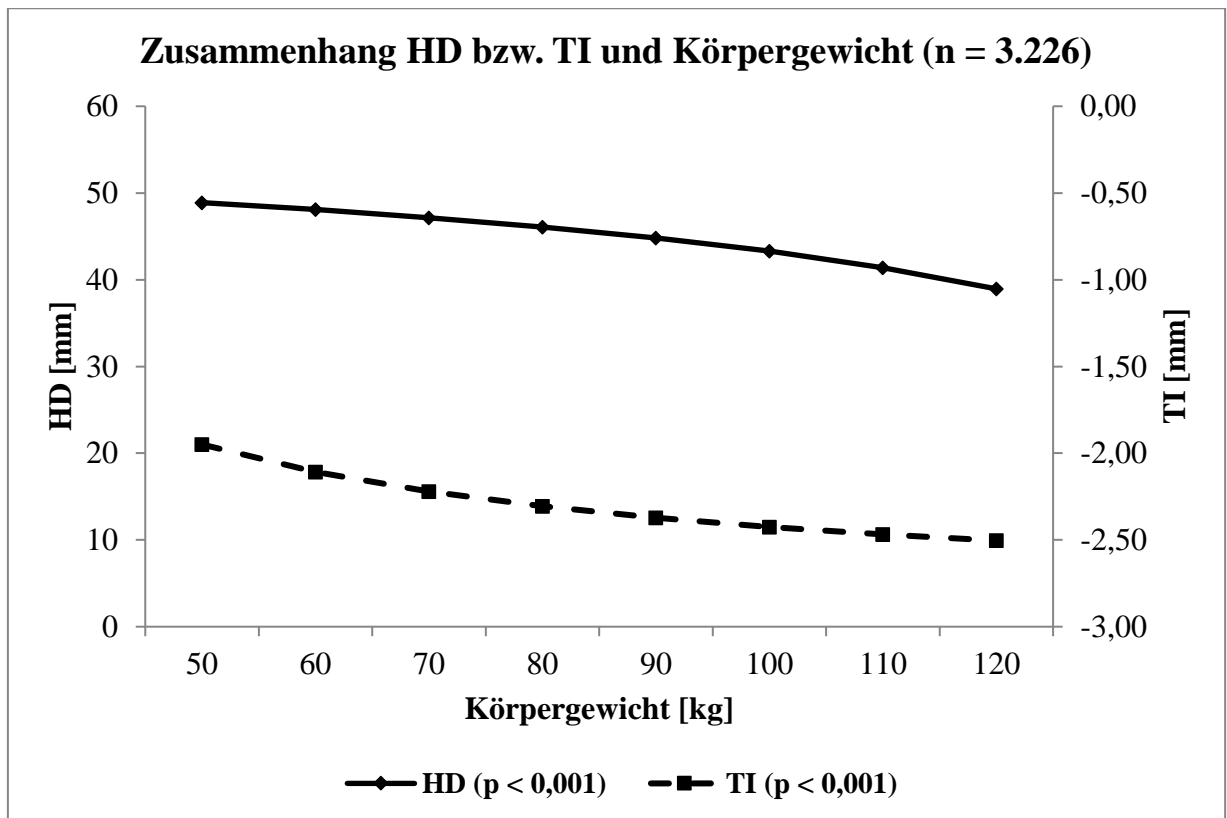
Der AA hingegen wird mit höherem Körpergewicht der Probanden auffällig kleiner ( $p < 0,001$ ). Zudem erhöht sich die Abnahme des AA mit steigendem Gewicht. Zwischen Probanden mit 50 kg (57,3 Grad) und 70 kg (56,5 Grad) nimmt der AA um 0,8 Grad ab. Mit einer Abnahme von 3,4 Grad zwischen Probanden mit 90 kg (55,0 Grad) und 110 kg (51,6 Grad) findet sich ein über das 4-fache größerer Unterschied.

Auch der TI nimmt bei steigendem Körpergewicht auffällig ab ( $p < 0,001$ ). Für Probanden mit 50 kg wird aus dem Regressionsmodell ein TI von -1,95 mm vorhergesagt. Dieser ist um 0,27 mm kleiner als bei Probanden mit 70 kg (-2,22 mm). Zwischen Probanden mit 90 kg (-2,37 mm) und 110 kg (-2,47 mm) beträgt der Unterschied nur 0,1 mm.

Der HD verkleinert sich bei zunehmendem Körpergewicht ebenso ( $p < 0,001$ ). Zwischen Probanden mit 50 kg (48,9 mm) und 70 kg (47,2 mm) liegen hierbei 1,7 mm. Der Unterschied zwischen 90 kg (44,8 mm) und 110 kg (41,4 mm) schweren Probanden ist mit 3,4 mm genau doppelt so groß.



**Abb. 20: Regressionsanalyse zum Zusammenhang von Winkel und Körpergewicht**



**Abb. 21: Regressionsanalyse zum Zusammenhang von Femurkopfdurchmesser (HD) bzw. Triangulärem Index (TI) und Körpergewicht**

### 3.3.2.6 Körpergröße

Im Regressionsmodell zeigt sich ein Einfluss der Körpergröße auf alle gemessenen Winkel, wobei der CE mit zunehmender Körpergröße abnimmt und alle anderen Hüftparameter zunehmen (siehe Abb. 22, Abb. 23 und Tabelle 19).

Der CE wird von der Körpergröße beeinflusst ( $p < 0,001$ ), wobei er mit zunehmender Größe kleiner wird. Es zeigen sich Werte von 32,3 Grad bei 160 cm bis 28,9 Grad bei 190 cm, die Differenz in 10 cm Schritten liegt bei 1,1 Grad.

Mit zunehmender Körpergröße ergibt sich ein größerer CCD ( $p = 0,004$ ). Zwischen 160 cm (126,5 Grad) und 190 cm (127,6 Grad) ist dieser Anstieg mit insgesamt 1,1 Grad relativ gering. Dennoch steigt der CCD hierbei annähernd konstant mit 0,4 Grad pro 10 cm.

Auch der AA wächst mit zunehmender Größe ( $p < 0,001$ ), der Anstieg von 160 cm (52,0 Grad) bis 190 cm (59,4 Grad) beträgt 7,4 Grad. Insgesamt findet sich in Schritten von 10 cm ein Anstieg von etwa 2,5 Grad.

Der TI nimmt mit zunehmender Körpergröße auffällig ab ( $p < 0,001$ ). Dabei fällt der TI von -2,11 mm bei 160 cm Körpergröße jeweils um ca. 0,17 mm pro 10 cm auf einen Wert von -2,63 mm bei 200 cm Körpergröße.

Bei zunehmender Körpergröße steigt der HD ebenfalls nahezu linear an ( $p < 0,001$ ). Es zeigt sich ein kontinuierlicher Zuwachs um etwa 3,3 mm pro 10 cm von 150 cm Körpergröße (37,9 mm) bis zu 200 cm Körpergröße (54,5 mm).

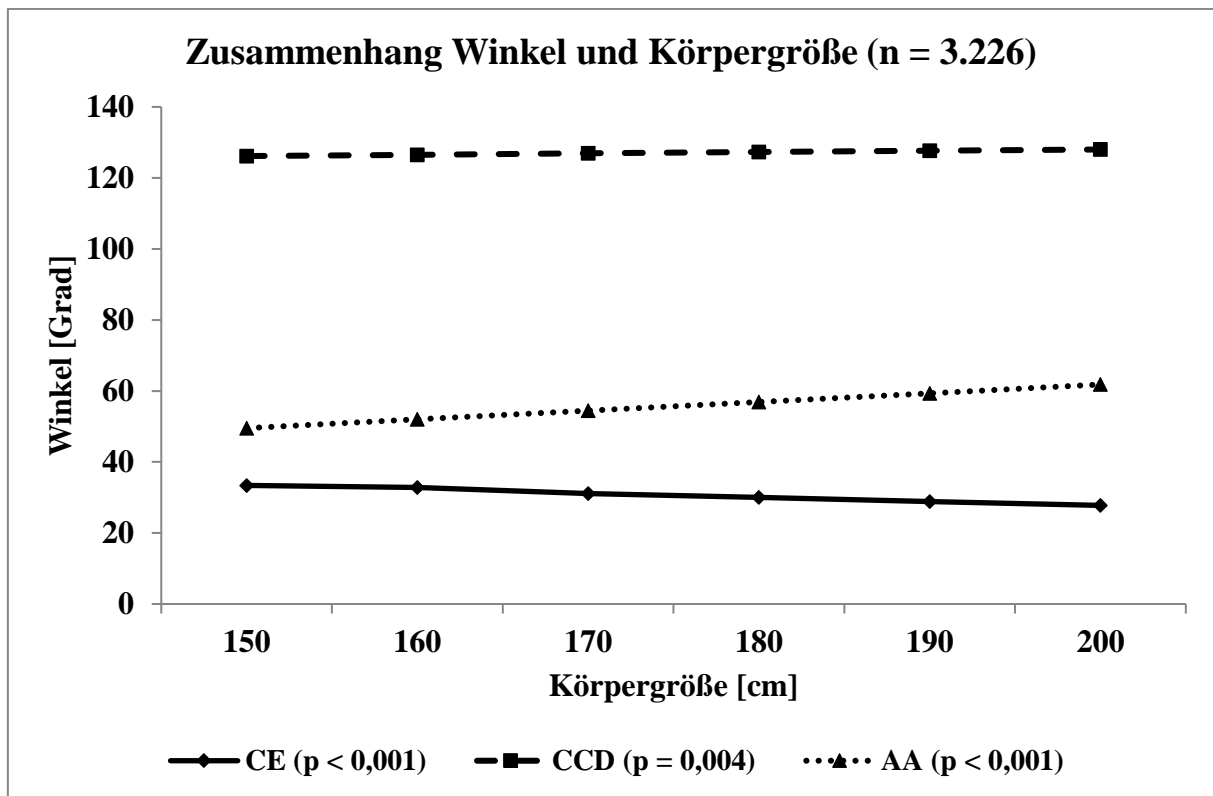
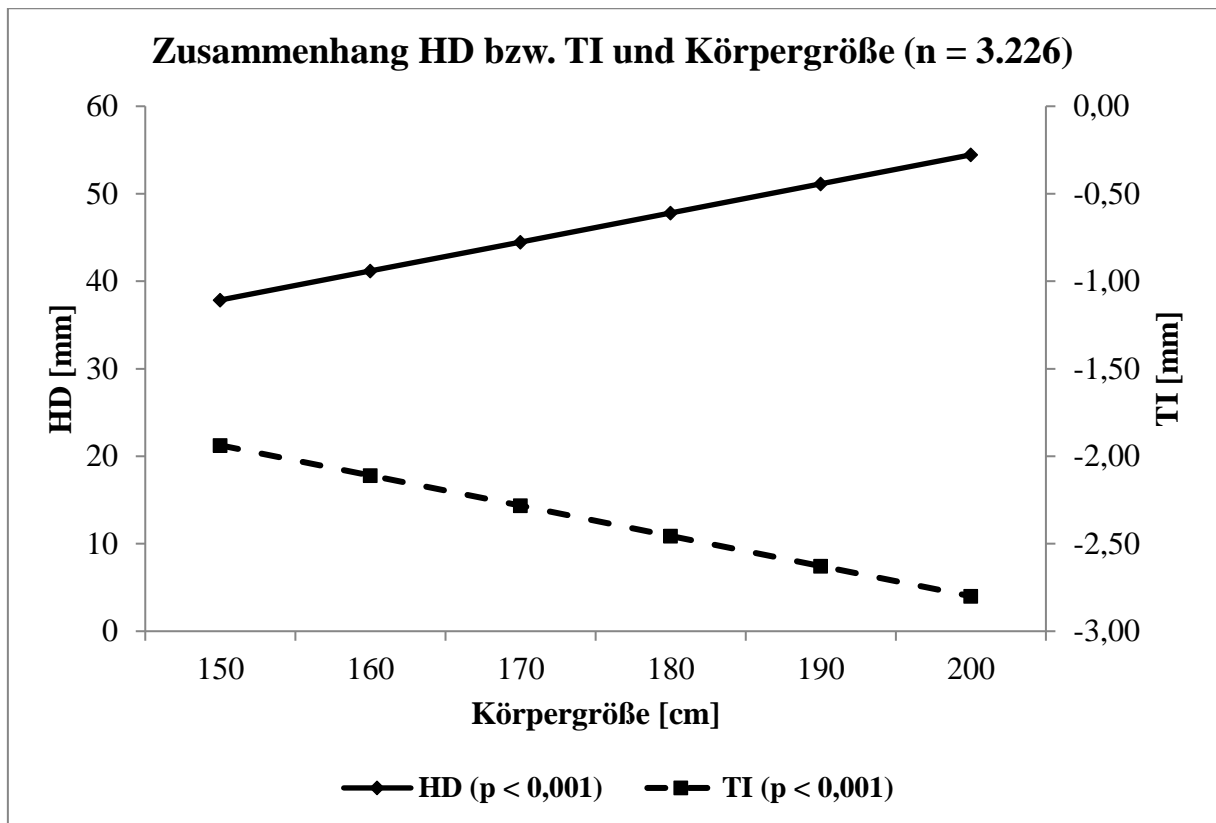


Abb. 22: Regressionsanalyse zum Zusammenhang von Winkel und Körpergröße



**Abb. 23: Regressionsanalyse zum Zusammenhang von Femurkopfdurchmesser (HD) bzw. Triangulärem Index (TI) und Körpergröße**

### 3.3.2.7 Taillenumfang

Mit zunehmendem Taillenumfang zeigen sich im Regressionsmodell abnehmende Werte für alle gemessenen Parameter, einzig der CCD wird größer (siehe Abb. 24, Abb. 25 und Tabelle 20).

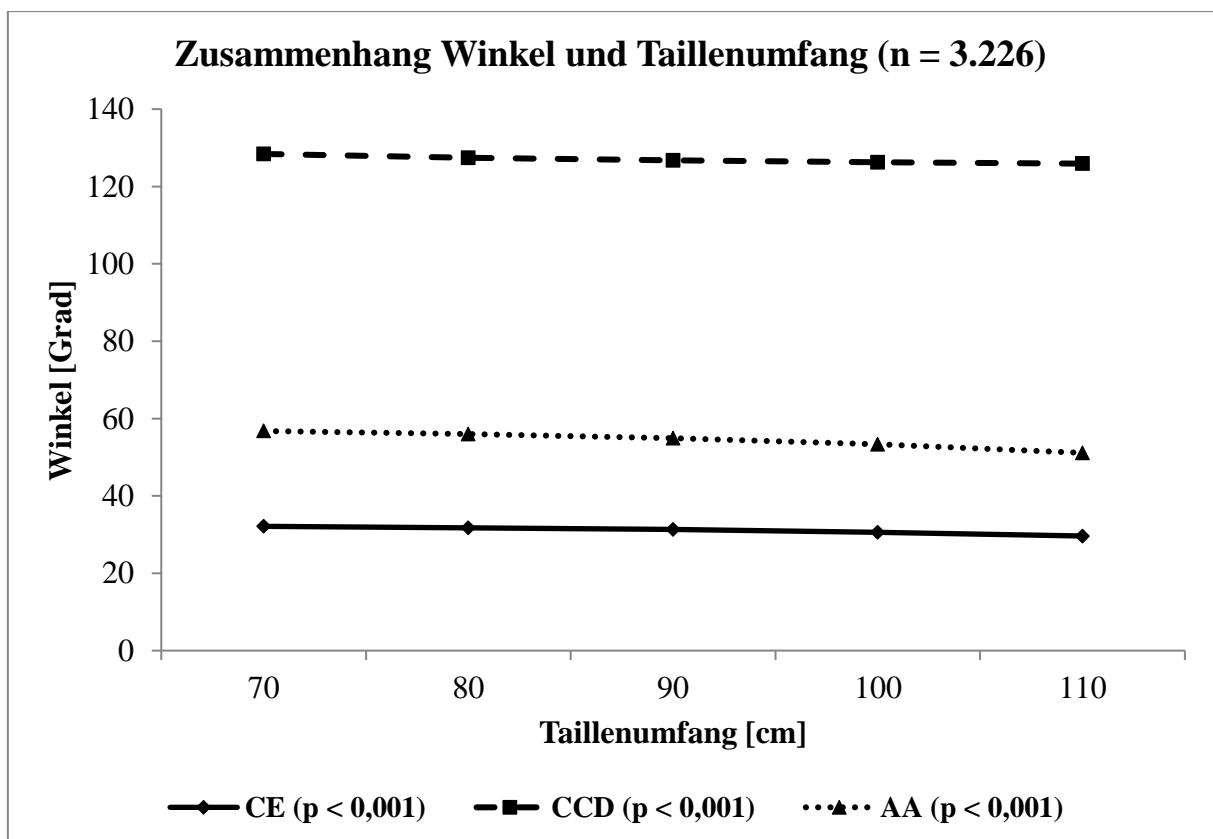
Für den CE wurden abnehmende Werte mit steigendem Taillenumfang ermittelt ( $p < 0,001$ ). Dabei erhöht sich die Differenz größtenteils bei zunehmendem Taillenumfang. Der Unterschied zwischen einem Taillenumfang von 70 cm (32,1 Grad) vs. 80 cm (31,8 Grad) beträgt nur 0,3 Grad. Zwischen 90 cm (31,3 Grad) und 100 cm Taillenumfang (30,6 Grad) ist die Differenz mit 0,7 Grad deutlich höher.

Beim CCD fallen die Werte mit zunehmendem Taillenumfang ( $p < 0,001$ ). Bei kleinerem Taillenumfang nimmt der CCD zunächst 1,0 Grad je 10 cm höherem Taillenumfang ab (128,4 Grad bei 70 cm, 127,4 Grad bei 80 cm). Bei größeren Taillenumfängen verringert sich die Abnahme. Zwischen einem Taillenumfang von 90 cm (126,7 Grad) und einem von 100 cm (126,3 Grad) liegen 0,3 Grad. Die Differenz zwischen 100 cm und 110 cm (125,9 Grad) beträgt 0,4 Grad.

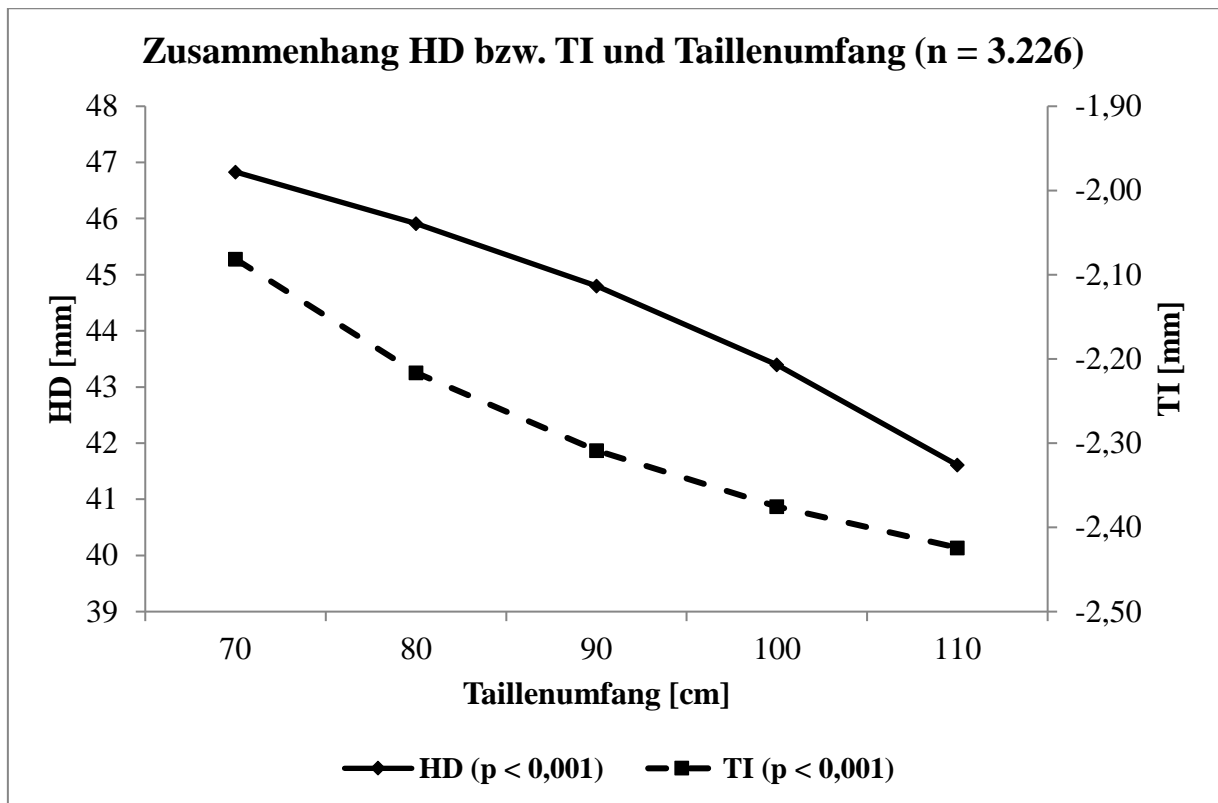
Eine Abnahme des Winkels zeigt sich auch beim AA ( $p < 0,001$ ), wobei die Höhe der Abnahme mit steigendem Taillenumfang zunimmt. Zwischen 56,8 Grad bei 70 cm Taillenumfang und 56,0 Grad bei 80 cm Taillenumfang ist ein Unterschied von 0,8 Grad zu sehen. Mit 2,2 Grad Unterschied zwischen 100 cm (53,3 Grad) und 110 cm (51,1 Grad) ist die Differenz bei größeren Umfängen deutlich höher.

Der TI verändert sich ebenso im Sinne einer Abnahme bei steigendem Taillenumfang ( $p < 0,001$ ), wobei hier die Differenzen mit zunehmendem Taillenumfang abnehmen. Beim Umfang von 70 cm (-2,08 mm) zu 80 cm (-2,22 mm) ist der Unterschied beispielsweise 0,14 mm, zwischen 90 cm (-2,31 mm) und 100 cm (-2,38 mm) beträgt er jedoch nur 0,07 mm.

Auch der HD nimmt bei größer werdendem Taillenumfang ab ( $p < 0,001$ ). Der Unterschied beträgt bei kleinerem Taillenumfang nur 0,9 mm pro 10 cm Umfang (46,8 mm bei 70 cm und 45,9 mm bei 80 cm). Bei zunehmendem Umfang erhöht sich die Differenz auf beispielsweise 1,8 mm zwischen 100 cm (43,4 mm) und 110 cm (41,6 mm).



**Abb. 24: Regressionsanalyse zum Zusammenhang von Winkel und Taillenumfang**



**Abb. 25:** Regressionsanalyse zum Zusammenhang von Femurkopfdurchmesser (HD) bzw. Triangulärem Index (TI) und Taillenumfang

### 3.3.2.8 Nicht untersuchte Einflussfaktoren

Der Einfluss des Auftretens eines Os acetabulis auf die gemessenen Hüftparameter wurde nicht untersucht, da insgesamt nur bei 4,3 % (n = 138; siehe Tabelle 8) der untersuchten Probanden diese Anomalie aufgetreten war. Daher wurden auch mögliche Zusammenhänge mit den demografischen und anamnestischen Parametern nicht analysiert. Auch bei der Erhebung der Osteoporose wurden nur wenige Fälle festgestellt (3,7 %, n = 119; siehe Tabelle 2: Gelenkstatus und Erkrankungen). Eine entzündliche Gelenkerkrankung wurde von 4,9 % (n = 159; siehe Tabelle 2: Gelenkstatus und Erkrankungen) der untersuchten Probanden angegeben, insgesamt 9 % (n = 291) der Probanden litten unter Diabetes. Die Anzahl der dokumentierten Hüft- oder Oberschenkelhals-Frakturen lag bei n = 10 (0,3 %), wobei ein Zusammenhang zwischen Frakturen und Hüftparametern in einer longitudinalen Untersuchung zu analysieren wäre. Bei diesen fünf möglichen Faktoren war aufgrund der geringen Häufigkeiten und den damit entstehenden unbalancierten Gruppen methodisch nicht zu erwarten, dass mit Regressionsanalysen verwertbare Ergebnisse erzielt werden.

Die Häufigkeit einer Arthrose wurde bei 26,3 % (n = 850; siehe Tabelle 2: Gelenkstatus und Erkrankungen) der Probanden dokumentiert, wobei diese Angabe nicht gelenkspezifisch erhoben wurde. Damit war die Überprüfung eines Zusammenhangs mit den gemessenen Hüftparametern nicht zielführend.

14,6 % (n = 470) der Probanden gaben Schmerzen in den Beinen in den letzten 7 Tagen an. Dieser Parameter war für eine Analyse des Zusammenhangs mit Hüftschmerzen in der Fragestellung zu undifferenziert formuliert.

### **3.3.3 Beziehungen der Hüftparameter untereinander**

Zwischen dem CE und dem CCD sowie dem CE und HD bestand ein auffälliger Zusammenhang (siehe Tabelle 12). Beim CCD betrug der geschätzte Effekt -0,074 (-0,108 – -0,391;  $p < 0,001$ ), d.h. eine Zunahme des CCD um ein Grad bedeutet eine Abnahme des CE um 0,074 Grad. Insgesamt war der Einfluss des CCD auf den CE jedoch geringer als der Einfluss der demographischen Parameter (Geschlecht, Alter, BMI, Körpergewicht, Körpergröße und Taillenumfang). Der HD hatte einen geschätzten Effekt von -0,221 (-0,305 – -0,136;  $p < 0,001$ ) auf den CE und lag damit in der Größenordnung des Einflusses des Körpergewichtes. Weder für den AA noch für den TI gab es einen auffälligen Zusammenhang mit dem CE.

Für den CCD konnte ein Zusammenhang mit dem AA und dem TI festgestellt werden. Der geschätzte Effekt des AA lag bei -0,062 (-0,091 – -0,033;  $p < 0,001$ ) und war insgesamt geringer als der Einfluss der demographischen Parameter (Geschlecht, Alter, BMI, Körpergewicht, Körpergröße und Taillenumfang). Der TI hatte mit 0,620 (0,276 – 0,925;  $p < 0,001$ ) einen deutlich größeren Einfluss auf den CCD. Dieser entsprach in etwa dem Einfluss von BMI und Körpergewicht mit umgekehrtem Vorzeichen, lag jedoch deutlich unter dem Einfluss von Geschlecht und Alter.

Der AA hing sowohl mit dem TI als auch mit dem HD zusammen. Dabei betrug der geschätzte Effekt des TI -9,33 (-9,58 – -9,07;  $p < 0,001$ ), d.h. eine Zunahme des TI um 1 mm bedeutet eine Abnahme des AA um 9,33 Grad. Der HD hatte einen geschätzten Effekt von -0,193 (-0,295 – -0,093;  $p < 0,001$ ) auf den AA und war damit kleiner als einer der Effekte der demographischen Parameter.

Für den TI konnte außer den bereits angegebenen Auffälligkeiten mit dem CCD und dem AA kein weiterer Zusammenhang mit anderen Parametern festgestellt werden.

**Tabelle 12: Regressionsanalyse – Beziehung zwischen den gemittelten Hüftparametern**

| Parameter                              | Einflussfaktor <sup>#</sup> | Geschätzter Effekt | 95%-KI          | p-Wert  |
|--|-----------------------------|--------------------|-----------------|---------|
| <b>Center-Edge-Winkel</b>              | CCD                         | -0,074             | -0,108 – -0,391 | < 0,001 |
|  | AA                          | 0,028              | -0,001 – 0,057  | 0,058   |
|  | TI                          | 0,134              | -0,212 – 0,480  | 0,447   |
|  | HD                          | -0,221             | -0,305 – -0,136 | < 0,001 |
| <b>Centrum-Collum-Diaphysen-Winkel</b> | AA                          | -0,062             | -0,091 – -0,033 | < 0,001 |
|  | TI                          | -0,620             | -0,965 – -0,276 | < 0,001 |
|  | HD                          | -0,078             | -0,162 – 0,008  | 0,075   |
| <b>Alpha-Winkel</b>                    | TI                          | -9,33              | -9,58 – -9,07   | < 0,001 |
|  | HD                          | -0,193             | -0,295 – -0,093 | < 0,001 |
| <b>Triangulärer Index</b>              | HD                          | 0,002              | -0,006 – 0,011  | 0,575   |

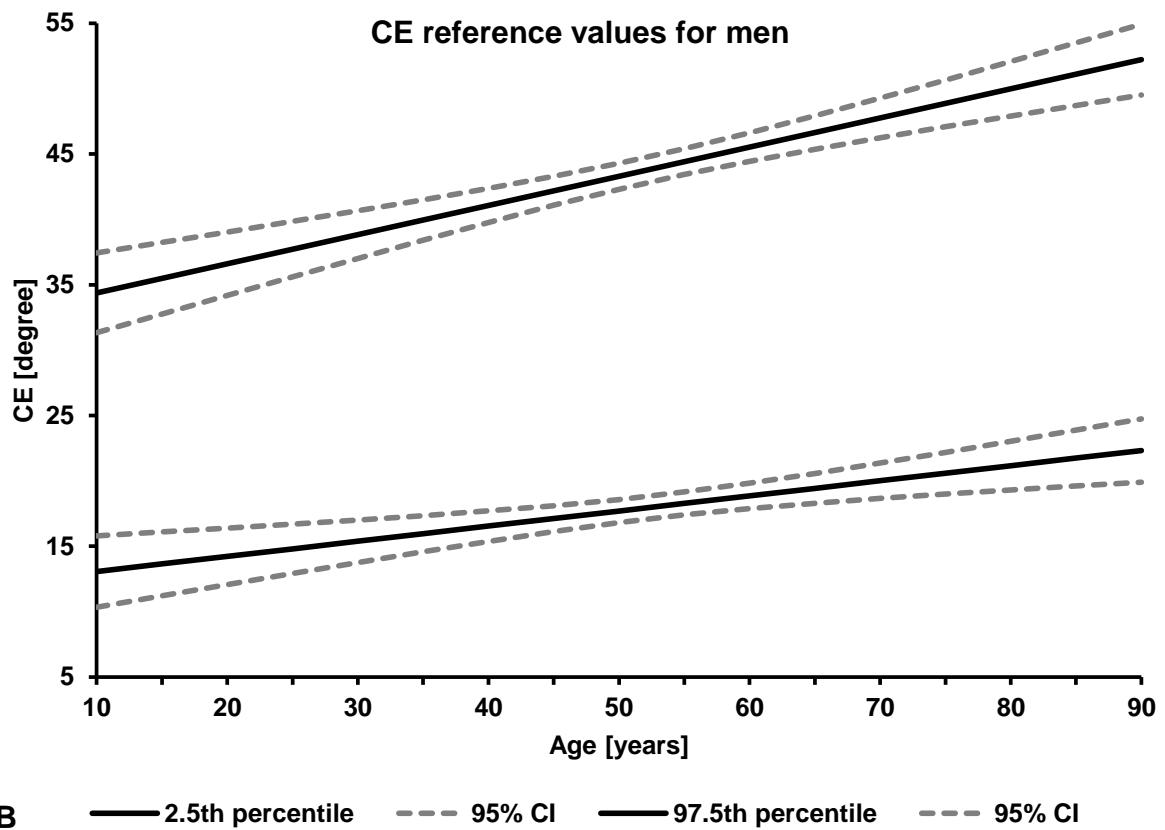
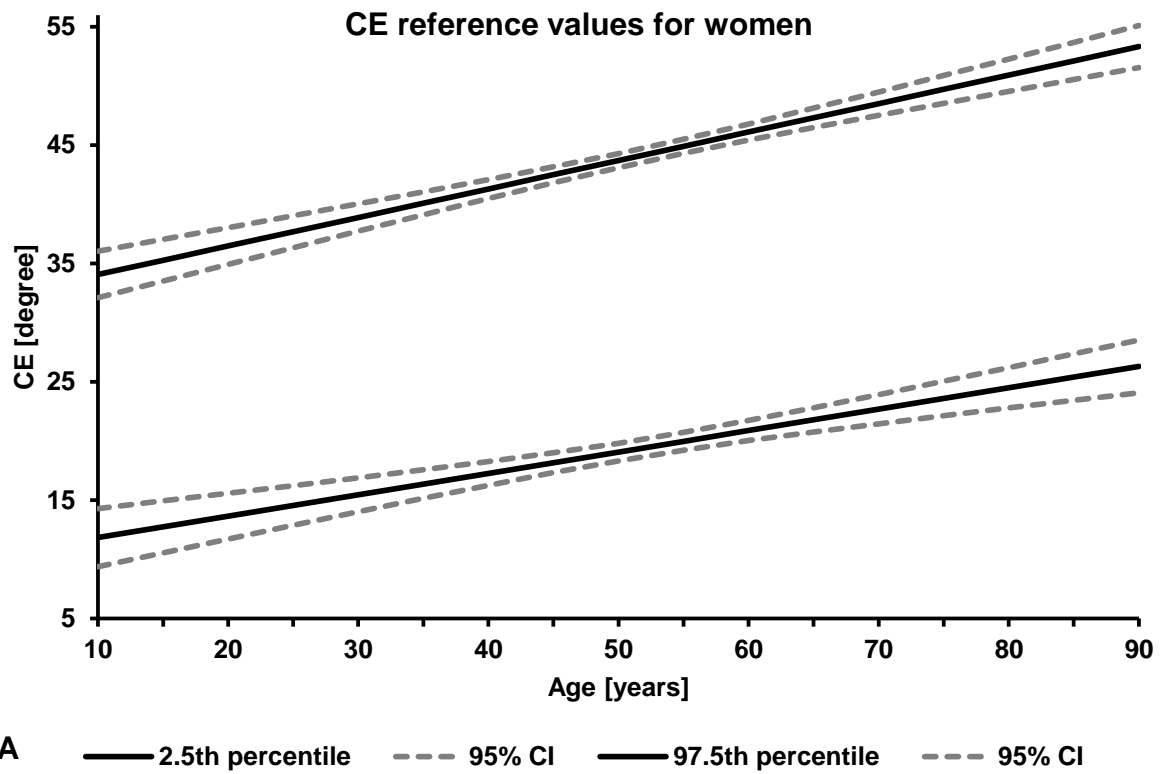
<sup>#</sup> Adjustiert auf Alter, Geschlecht und BMI

### 3.4 Normbereiche

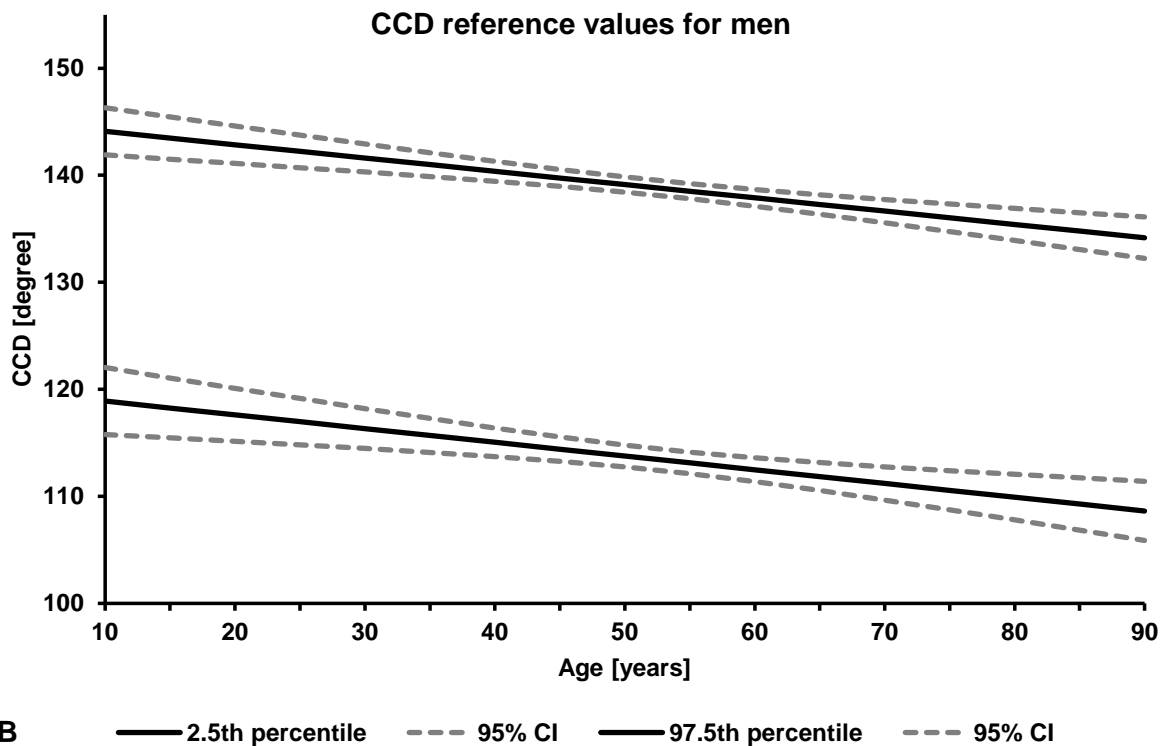
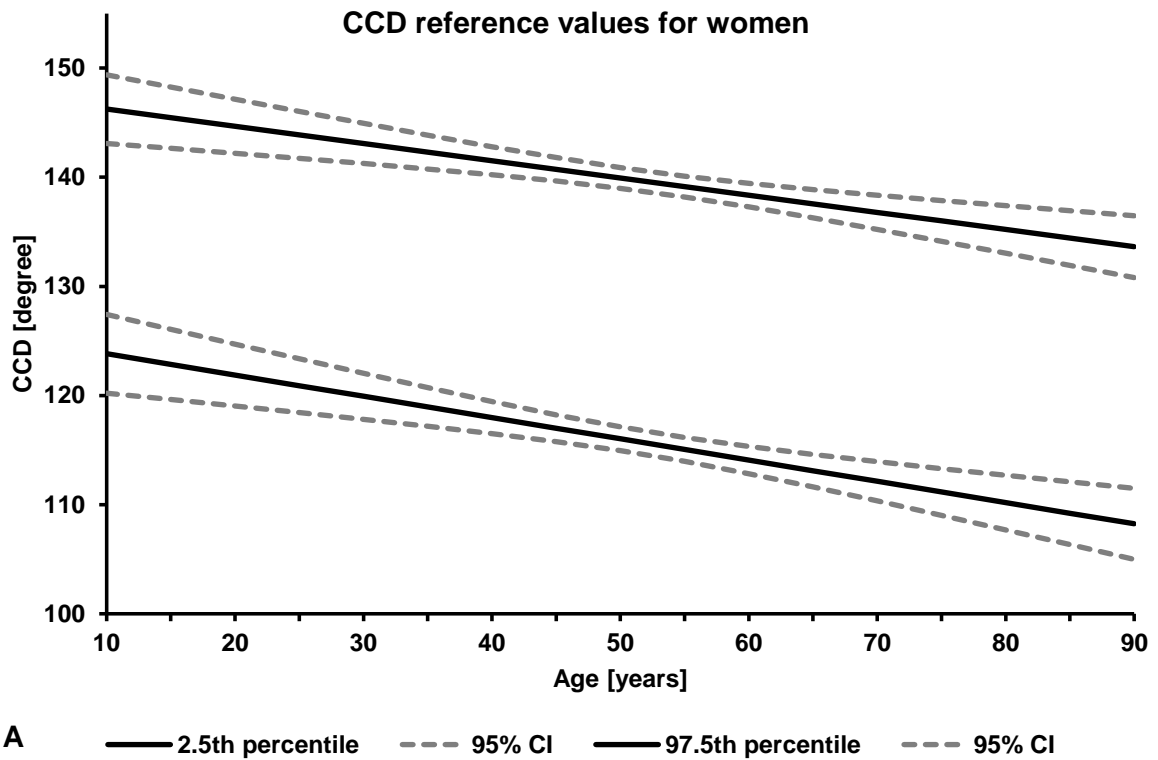
Aus den für die Hüftparameter CE, CCD, AA, TI und HD analysierten Mittelwerten wurden die 95 %-Referenzbereiche entsprechend der Angabe in Kapitel 2.5.4 berechnet, die Ergebnisse sind in Tabelle 13 angegeben. Aufgrund der gegebenen Abhängigkeiten wurden für CE, CCD und AA auf Alter und Geschlecht adjustierte Referenzwerte ermittelt (Abb. 26 – Abb. 28).

**Tabelle 13: Abgeleitete Normbereiche der gemessenen Hüftparameter**

| Parameter                              | Population         | Mittelwert | 95 %-Referenzbereich |
|--|--------------------|------------|----------------------|
| <b>Center-Edge-Winkel</b>              | Gesamt (n = 3.226) | 31,1       | 17,4 – 44,9          |
|  | Männer (n = 1.587) | 30,4       | 16,6 – 44,2          |
|  | Frauen (n = 1.639) | 31,8       | 18,2 – 45,4          |
| <b>Centrum-Collum-Diaphysen-Winkel</b> | Gesamt (n = 3.226) | 126,9      | 113,9 – 140,0        |
|  | Männer (n = 1.587) | 126,5      | 113,2 – 139,7        |
|  | Frauen (n = 1.639) | 127,4      | 114,5 – 140,2        |
| <b>Alpha-Winkel</b>                    | Gesamt (n = 3.226) | 54,5       | 38,5 – 70,5          |
|  | Männer (n = 1.587) | 57,4       | 40,8 – 74,1          |
|  | Frauen (n = 1.639) | 51,7       | 38,6 – 64,8          |
| <b>Triangulärer Index</b>              | Gesamt (n = 3.226) | -2,29      | -3,60 – -0,983       |
|  | Männer (n = 1.587) | -2,48      | -4,05 – -0,910       |
|  | Frauen (n = 1.639) | -2,10      | -2,94 – -1,26        |
| <b>Femurkopfdurchmesser</b>            | Gesamt (n = 3.226) | 44,6       | 36,8 – 52,3          |
|  | Männer (n = 1.587) | 47,6       | 42,1 – 53,1          |
|  | Frauen (n = 1.639) | 41,7       | 37,0 – 46,3          |

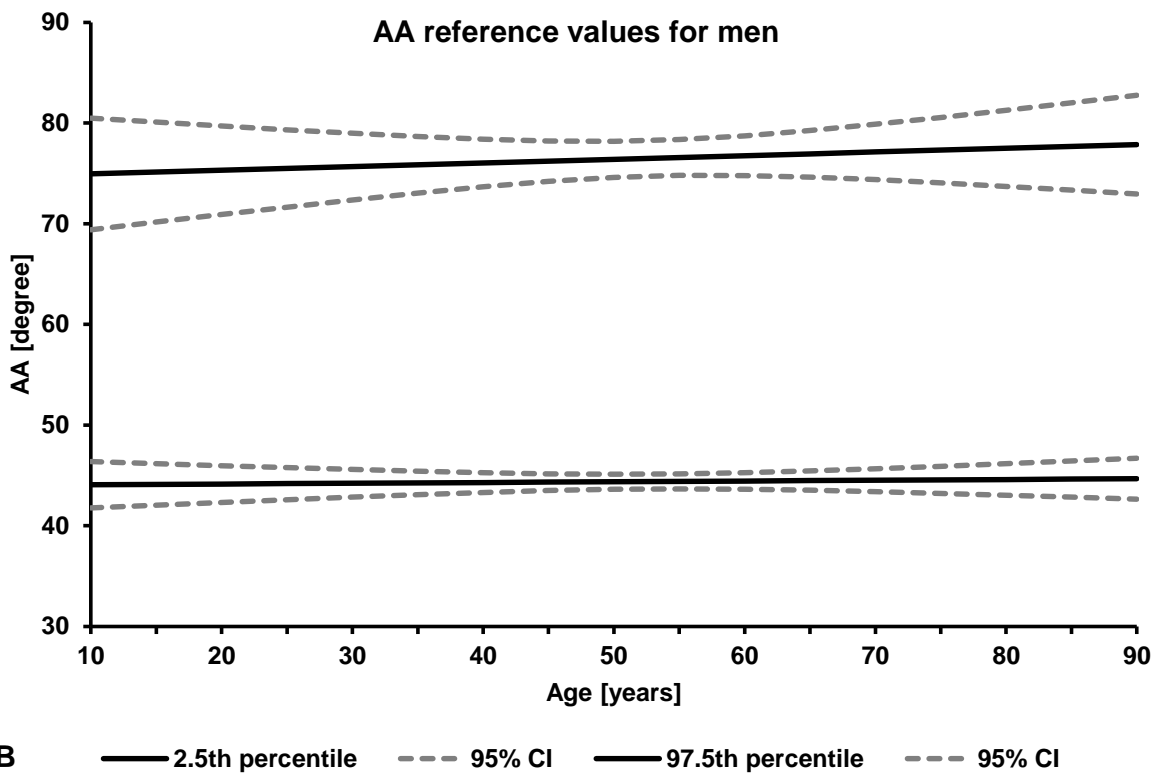
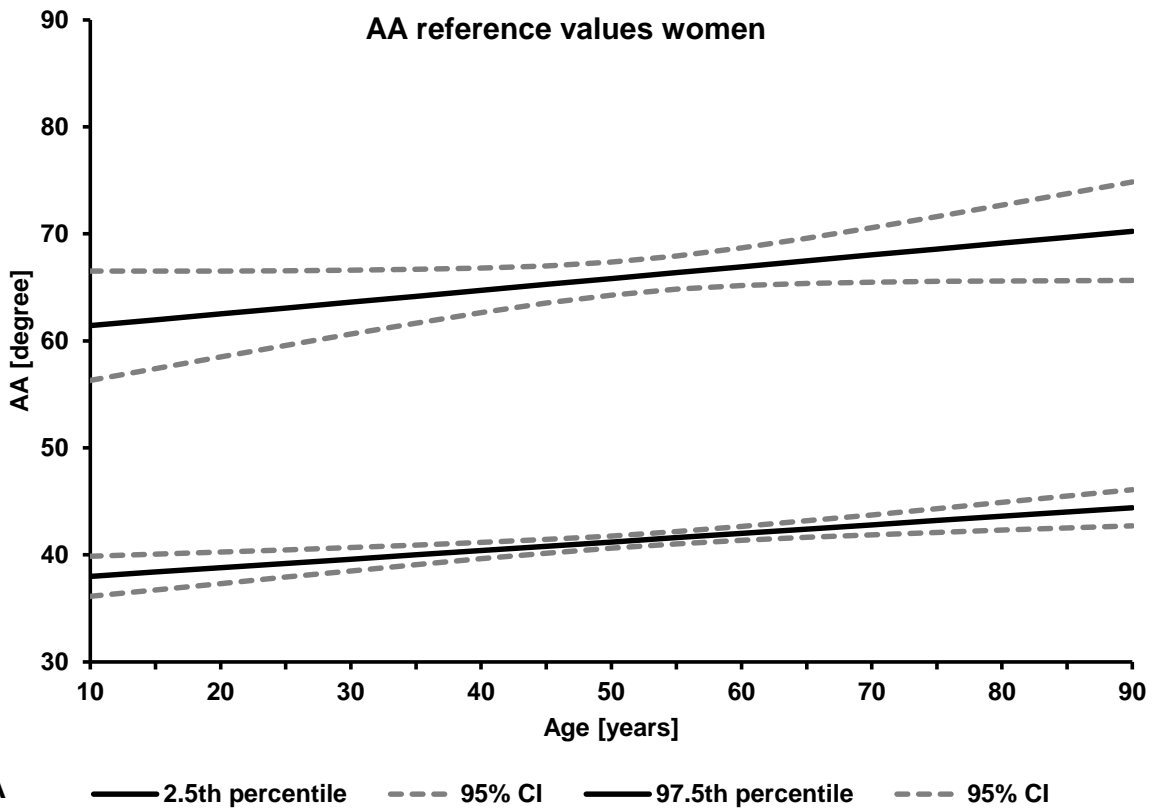


**Abb. 26: Alters- und geschlechtsabhängige Referenzwerte des CE**  
 A) CE bei Frauen: Unteres Limit  $10.04 + 0.181 \cdot \text{Alter}$ , Oberes Limit  $31.68 + 0.241 \cdot \text{Alter}$   
 B) CE bei Männern: Unteres Limit  $11.91 + 0.116 \cdot \text{Alter}$ , Oberes Limit  $32.15 + 0.223 \cdot \text{Alter}$



**Abb. 27: Alters- und geschlechtsabhängige Referenzwerte des CCD**

A) CCD bei Frauen: Unteres Limit  $125.78 - 0.195 \cdot \text{Alter}$ , Oberes Limit  $147.82 - 0.158 \cdot \text{Alter}$   
 B) CCD bei Männern: Unteres Limit  $120.18 - 0.128 \cdot \text{Alter}$ , Oberes Limit  $145.34 - 0.124 \cdot \text{Alter}$



**Abb. 28**

**Alters- und geschlechtsabhängige Referenzwerte des AA**

A) AA für Frauen: Unteres Limit  $37.19 + 0.080 \cdot \text{Alter}$ , Oberes Limit  $60.31 + 0.110 \cdot \text{Alter}$

B) AA für Männer: Unteres Limit  $43.99 + 0.008 \cdot \text{Alter}$ , Oberes Limit  $74.58 + 0.036 \cdot \text{Alter}$

### 3.5 Prävalenzen abnormer Werte

Zur Berechnung der Prävalenzen wurde, sowohl bei den auf der rechten Körperseite gemessenen Winkeln als auch bei den auf der linken Körperseite gemessenen Winkeln die Häufigkeit der Überschreitung von in der Literatur vorliegenden Schwellenwerten analysiert. Die Angaben in der Literatur zu Schwellenwerten, die auf Pathologien hinwiesen, schwanken erheblich (siehe Tabelle 14).

**Tabelle 14: Prävalenzen pathologischer Winkelwerte – Prävalenzen nach verschiedenen Schwellenwerten (n = 6.452)**

| Pathologie   | Winkel  | Schwellenwert | Quelle des Schwellenwertes   | Prävalenz [% (n)] |
|--|---|---------------|--|-------------------|
| <b>Dysplasie</b><br><b>Borderline</b><br><b>Normal</b>         | <b>CE</b>   | < 20°         | Wiberg [2], Jacobsen et al. [23],<br>Monazzam et al. [56],<br>Delaunay et al. [4], Mast et al.<br>[55],                                      | 8,1 (521)         |
|  |   | 20° - 25°     |  | 14,2 (919)        |
|  |   | > 25°         |  | 64,6 (4.168)      |
| <b>Pincer-Deformität</b>                                       |   | ≥ 40°         | Chung et al. [44], Clohisy et al. [7],<br>Monazzam et al. [14]   | 13,1 (844)        |
|  |   | ≥ 45°         | Gosvig et al. [51], Waldt et al. [6],<br>Lepage-Saucier et al. [57]  | 4,1 (262)         |
| <b>Coxa Vara</b><br><br><br><b>Normal</b><br><b>Coxa Valga</b> | <b>CCD</b>  | < 120°        | Beall et al. [35], Waldt et al. [6],<br>Dolan et al. [15], Aly et al. [64],<br>Boese et al. [67].  | 16,8 (1.081)      |
|  |   | < 125°        | Delaunay et al. [4]  | 38,8 (2.506)      |
|  |   | < 126°        | Tönnis & Heinecke [69], Mast et al.<br>[55]  | 44,0 (2.837)      |
|  |   | 125° - 135°   | Delaunay et al. [4]  | 48,5 (3.127)      |
|  |   | > 130°        | Waldt et al. [6], Morvan et al. [39]   | 33,7 (2.172)      |
|  |   | > 135°        | Beall et al. [35], Aly et al. [64],<br>Boese et al. [67]   | 12,7 (819)        |
|  |   | > 139°        | Tönnis & Heinecke [69], Mast et al.<br>[55]  | 4,3 (274)         |
| > 140°   | Delaunay et al. [4], Dolan et al.<br>[15], Morvan et al. [39] | 3,3 (213)     |  |                   |
| <b>Cam-Deformität</b>  | <b>AA</b>   | > 50°         | Nötzli et al. [104], Kapron et al.<br>[40], Dolan et al. [15]  | 64,5 (4.159)      |
|  |   | > 50,5°       | Beaulé et al. [105], Hack et al.<br>[110],   | 61,4 (3.958)      |
|  |   | > 55°         | Hack et al. [110], Kang et al. [128],<br>Chakraverty et al. [112], Tsitskaris<br>et al. [133], Ergen et al. [31], Van<br>Houcke et al. [42], | 38,1 (2.458)      |
|  |   | > 60°         | Sutter et al. [111]  | 21,4 (1.381)      |
|  |   | > 65°         | Kumar et al. [115]   | 15,6 (1.007)      |
|  |   | > 78°         | Agricola et al. [119]  | 2,4 (155)         |
| <b>Cam-Deformität</b>  | <b>TI</b>   | ≥ 2 mm        | Gosvig et al. [117]  | 5,8 (376)         |

## 4 Diskussion

### 4.1 Einflussfaktoren auf Messdaten

In der Literatur wird über den Einfluss des CE, CCD, AA, TI und HD auf Geschlecht, Alter der Probanden, BMI, Körpergewicht und Körpergröße referiert. Für die ermittelten Messdaten der vorliegenden Arbeit zeigt sich zu diesen Einflussfaktoren folgendes Bild (siehe Tabelle 15):

**Tabelle 15: Überblick zum Zusammenhang zwischen den Messdaten und möglichen Einflussfaktoren**

| Parameter                | CE [Grad]      | CCD [Grad]     | AA [Grad]      | TI [mm]        | HD [mm]        |
|--------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Geschlecht ♀ vs. ♂       | ↑              | ↑              | ↓              | ↑              | ↓              |
| Alter [Jahre]            | ↑              | ↓              | ↑              | ↓              | ↑              |
| BMI [kg/m <sup>2</sup> ] | ↓              | ↓              | ↓              | ↓              | ↓              |
| Körpergewicht [kg]       | ↓ <sup>a</sup> | ↓ <sup>a</sup> | ↓              | ↓              | ↓              |
| Körpergröße [cm]         | ↓              | ↑              | ↑              | ↓              | ↑              |
| Taillenumfang [cm]       | ↓              | ↓              | ↓              | ↓              | ↓              |
| CE [Grad]                |                | ↓              | ↑ <sup>a</sup> | ↓ <sup>a</sup> | ↓              |
| CCD [Grad]               |                |                | ↓              | ↑              | ↓ <sup>a</sup> |
| AA [Grad]                |                |                |                | ↓              | ↓              |
| TI [mm]                  |                |                |                |                | ↑ <sup>a</sup> |

<sup>a</sup> kein auffälliger Zusammenhang; ↑ = Zunahme des Parameters; ↓ = Abnahme des Parameters

#### 4.1.1 Center-Edge-Winkel

In der Frage der Geschlechtsabhängigkeit des CE besteht aktuell wenig Einigkeit. Häufig wird ein höherer CE bei männlichen Probanden beschrieben [20,27–30]. Fast ebenso häufig findet sich in der Literatur jedoch ein höherer CE für Frauen [9,23,25,26] bzw. kein Unterschied zwischen Frauen und Männern [31–34]. Diese Uneinigkeit könnte durch die Untersuchung ethnisch verschiedener Populationen begründet sein. Bei den in der vorliegenden Arbeit untersuchten norddeutschen Probanden fand sich, mit einer Differenz der Mittelwerte von 1,4 Grad (31,8 Grad vs. 30,4 Grad), ein auffällig größerer CE bei Frauen ( $p < 0,001$ ).

Bei der Betrachtung einer Altersabhängigkeit des CE zeigt sich in der schon bestehenden Literatur meist ein Anstieg des CE mit zunehmendem Probandenalter. Einige Autoren weisen klar einen Zusammenhang nach [28,30,35,36], andere beobachteten nur eine sehr schwache Korrelation [9,32,37]. Diese Altersabhängigkeit wurde in den hier untersuchten MRT-Bildern ebenfalls festgestellt ( $p < 0,001$ ), dabei vergrößerte sich der CE bei Jüngeren stärker als bei Älteren.

Zu somatometrischen Daten, wie BMI, Körpergröße, Körpergewicht und Taillenumfang finden sich in der Literatur derzeit wenig bis keine Angaben. Bei Untersuchungen zum BMI konnte bislang kein Zusammenhang festgestellt werden [34,41]. Bei Betrachtung des Körpergewichts beschrieben Kapron et al. einen Konnex zum CE [40]. Zeng et al. hingegen konnten weder zum Körpergewicht noch zur Körpergröße einen Zusammenhang ermitteln [34]. In der vorliegenden Arbeit fanden sich bei höherem BMI niedrigere CE-Werte ( $p < 0,001$ ). Dabei wurde die Abnahme des CE mit zunehmendem BMI größer. Beim Vergleich von normalgewichtigen zu präadipösen Probanden ( $p < 0,001$ ) und Probanden mit Adipositas Stufe 1 ( $p < 0,001$ ) sowie Stufe 2+3 ( $p < 0,036$ ) konnte zudem ein signifikanter Unterschied ermittelt werden. Der CE fiel mit steigendem Körpergewicht. Diese Abnahme war jedoch nicht auffällig ( $p = 0,125$ ), dagegen war die Abnahme des CE bei steigender Körpergröße auffällig ( $p < 0,001$ ). Wie beim BMI nahm der CE auch mit steigendem Taillenumfang ab ( $p > 0,001$ ), wobei diese Abnahme des CE mit zunehmendem Taillenumfang größer war.

#### **4.1.2 Centrum-Collum-Diaphysen-Winkel**

Bei der Analyse der Geschlechtsabhängigkeit des CCD wurde häufig über größere CCD-Werte bei Männern berichtet, wobei die Unterschiede je nach Untersucher deutlich differieren [36,71,72,78–80]. Dagegen dokumentierten Boissonneault et al. in ihrer Studie einen größeren CCD für Frauen [77]. Andere Autoren stellten in ihren Arbeiten wiederum keinerlei Unterschiede zwischen Männern und Frauen fest [81–84]. Die Population dieser Studie wies mit einer Differenz von 0,896 Grad einen geringen, jedoch auffälligen Unterschied auf ( $p = 0,001$ ).

Eine Altersabhängigkeit des CCD wird von vielen Autoren bislang verneint [76,78,81,82,85]. Einige Arbeiten beschreiben jedoch einen fallenden CCD mit zunehmendem Alter [26,35,67]. Auch in den hier untersuchten Datensätzen konnte ein signifikanter Abfall des CCD mit fortschreitendem Alter gezeigt werden ( $p < 0,001$ ).

Die Verbindung zwischen somatometrischen Daten und dem CCD ist bislang, ebenso wie beim CE, nicht sehr häufig untersucht worden. Zum BMI wurde an a.p.-Röntgenbildern und DXA-Daten jeweils kein Zusammenhang gefunden [72,80]. Zum Einfluss von Körpergewicht ermittelten Lekamwasam et al. keinen Anhalt [70]. Nissen et al. konnten jedoch einen negativen Zusammenhang des CCD zum Körpergewicht bei Frauen feststellen [78]. Mit steigender Körpergröße dokumentierten einige Studien hingegen einen höheren CCD [70,78,89]. Zum Taillenumfang finden sich bislang kaum Untersuchungen. In der vorliegenden Arbeit konnte mit zunehmendem BMI ein fallender CCD festgestellt werden. Dabei verringerte sich die Abnahme des CCD bei höheren BMI-Werten. Auch im Vergleich von Normalgewicht zu Präadipositas und Adipositas Stufe 1 stellte sich ein signifikanter Unterschied des CCD dar ( $p < 0,001$ ). Bei Adipositas Stufe 2+3 dagegen zeigte sich, vermutlich aufgrund der kleinen Fallzahl ( $n = 187$ ), kein signifikanter Unterschied ( $p = 0,535$ ). Die Abnahme des CCD bei steigendem Körpergewicht war nicht signifikant ( $p = 0,201$ ). Mit zunehmender Körpergröße jedoch steigt der CCD signifikant an ( $p = 0,004$ ). Ein erhöhter Taillenumfang führte zu einem Abfall des CCD ( $p < 0,001$ ).

### **4.1.3 Alpha-Winkel**

Für den AA beschreiben bislang veröffentlichte Arbeiten fast einheitlich eine Geschlechtsabhängigkeit. Hierbei wurde bei männlichen Probanden ein höherer AA gefunden als bei weiblichen [31,105,107,111,117,121,122,125–127]. Nur sehr wenige Studien konnten diesen Trend nicht oder sogar invers ermitteln [114,118,128]. Im SHIP-Normalkollektiv zeigte sich mit 57,4 Grad vs. 51,7 Grad ein signifikant höherer AA bei Männern ( $p < 0,001$ ).

Ein Zusammenhang zwischen dem Probandenalter und dem AA wird in der gegenwärtigen Literatur häufig verneint [105,110,111,114,127]. Wenige Studien konnten jedoch bei ihren Untersuchungen bzw. einem Teil ihrer Population einen größeren AA mit steigendem Alter feststellen [107,121]. Diese schwache, aber auffällige Steigerung des AA konnte in der vorliegenden Studie ebenfalls ermittelt werden ( $p = 0,002$ ). Der AA stieg dabei jedoch nur um 0,3 Grad pro 10 Jahre. Zudem fand sich eine auffällige Interaktion zwischen Alter und Geschlecht.

Der Zusammenhang zwischen AA und BMI wird in der Literatur kontrovers diskutiert. Einige Autoren beschreiben einen Konnex [40,106], andere bestätigen diesen jedoch nicht [110,124,127]. Bei Betrachtung der SHIP-Daten stellte sich ein Zusammenhang zwischen AA und BMI dar ( $p < 0,001$ ). Interessanterweise nahm dabei der AA mit steigendem BMI ab.

Zudem vergrößerte sich diese Abnahme mit zunehmendem BMI. Entsprechend dem CCD konnten auch beim AA signifikante Unterschiede zwischen Normalgewichtigen und Präadipösen bzw. Probanden mit Adipositas Stufe 1 gefunden werden. Ein Zusammenhang zum Körpergewicht wurde von Kapron et al. beschrieben [40]. In der vorliegenden Studie konnte eine signifikante Abnahme mit steigendem Körpergewicht festgestellt werden ( $p > 0,001$ ). Im SHIP-Normalkollektiv wurde zudem eine Zunahme des AA zwischen 160 cm und 190 cm Körpergröße um ca. 2,5 Grad pro 10 cm beobachtet. Wie beim BMI ergab sich für einen steigenden Taillenumfang ebenfalls eine Abnahme des AA ( $p < 0,001$ ). Die Differenz des AA zwischen großen Taillenumfängen (z.B. 100 cm und 110 cm) war dabei deutlich größer als die zwischen kleinen Taillenumfängen (z.B. 70 cm und 80 cm).

#### **4.1.4 Triangulärer Index**

Zum TI finden sich bislang vergleichsweise wenige Ergebnisse in der Literatur. Insgesamt wurden eine männliche Prädominanz [117,121], kein Zusammenhang zum Alter [121,124] und kein Zusammenhang mit dem BMI [124] beschrieben. Bei den Untersuchungen der vorliegenden Arbeit hingegen konnten folgende Tendenzen beobachtet werden: Männer hatten im Mittel einen kleineren TI ( $p < 0,001$ ). Der TI nimmt, im Gegensatz zu anderen Studien [121,124], mit dem Alter ( $p = 0,001$ ), steigendem BMI, höherem Körpergewicht und zunehmender Körpergröße ab ( $p < 0,001$ ).

#### **4.1.5 Femurkopfdurchmesser**

Der HD wird in den bisherigen Arbeiten einheitlich als geschlechtsabhängig beschrieben. Dabei wurde in den hier betrachteten Studien ein deutlich größerer HD bei männlichen Probanden festgestellt [78,79,83,140–143,169]. Die in dieser Arbeit erhobenen Werte stimmen mit diesem Unterschied der Geschlechter überein.

Einige Arbeiten ermittelten zudem eine positive Korrelation des HD zum Alter der Probanden [78,89]. Diese Ergebnisse konnten jedoch nicht von Iyem et al. bestätigt werden [83]. Bei den SHIP-Probanden nahm der HD signifikant mit dem Alter zu ( $p < 0,001$ ). Der Anstieg war insgesamt jedoch mit etwa 1 Grad innerhalb einer Zeitspanne von 60 Jahren (20 - 80 Jahre) sehr gering.

Für Zusammenhänge des HD mit somatometrischen Daten werden in der Literatur folgende Angaben gemacht: zum BMI wurde kein Zusammenhang gesehen [80], zum Körpergewicht [89] und zur Körpergröße konnte jeweils eine positive Korrelation gefunden werden [78,80,89,144]. Der HD zeigte in der vorliegenden Studie eine signifikante Abnahme mit steigendem BMI ( $p < 0,001$ ), wobei sich die Abnahme mit zunehmenden BMI-Werten erhöhte. Wie bei den anderen untersuchten Parametern fand sich auch für den HD ein auffälliger Unterschied der Werte beim Vergleich von Normalgewichtigen mit Präadipösen und Probanden mit Adipositas Stufe 1. Des Weiteren nahm der HD mit steigendem Körpergewicht zunehmend ab ( $p < 0,001$ ). Mit steigender Körpergröße hingegen stieg der HD fast linear ( $p < 0,001$ ). Der kontinuierliche Zuwachs des HD betrug im Bereich von 150 cm bis 200 cm Körpergröße etwa 3,3 mm pro 10 cm Körpergröße. Wie der BMI nahm auch der HD mit zunehmendem Taillenumfang ab ( $p < 0,001$ ).

#### **4.1.6 Beziehungen der Hüftparameter untereinander**

Zur Frage, ob die in dieser Arbeit erfassten Hüftparameter Beziehungen untereinander haben, finden sich in der Literatur folgende Aussagen: Zum CE wurde eine schwach negative Korrelation des CCD beschrieben [39], Park et al. konnten jedoch keinen Zusammenhang zwischen CCD und CE feststellen [36]. Auch zwischen CCD und HD konnte keine Verbindung gezeigt werden [78]. Zwischen AA und TI wurde schon bei der Entwicklung durch Gosvig et al. sowie in einer anderen Studie eine hohe Korrelation beschrieben [115,117]. Darüber hinaus fand sich bei der Arbeit von Iyem et al. eine positive Korrelation des HD zum CCD [83], frühere Arbeiten konnten diese Korrelation nicht dokumentieren [88,145]. Wie bei Morvan et al. [39] ergab sich für den CE in der vorliegenden Studie ein auffälliger, wenn auch geringer negativer Effekt des CCD (-0,074). Dieser Befund ist deutlich geringer als der Einfluss der demographischen Parameter und sollte daher als unbedeutend eingeordnet werden. Ein deutlich höherer Effekt konnte für den HD mit -0,221 gefunden werden. Dieses Ergebnis lag damit in der Größenordnung des Einflusses des Körpergewichts. Für den CCD konnte wie bei Nissen et al. [78] kein Einfluss des HD festgestellt werden. Allerdings zeigte sich eine Wirkung des AA und des TI auf den CCD. Der Einfluss des AA fiel sehr gering aus (-0,062), der des TI (-0,620) hingegen entsprach dem von BMI und Körpergewicht, lag jedoch deutlich unter dem Einfluss von Geschlecht und Alter. Zwischen AA und TI fand sich, wie in früheren Arbeiten beschrieben [115,117,124], ein auffälliger Zusammenhang. Bei den vorliegenden Daten konnte ein großer Einfluss des TI (-9,33) beobachtet werden. Zusätzlich konnte ein Zusammenhang des AA mit dem HD dokumentiert

werden. Der Einfluss des HD lag jedoch mit einem geschätzten Effekt von -0,193 unter den Effekten der demographischen Parameter.

## **4.2 Normwerte der Messdaten**

### **4.2.1 Center-Edge-Winkel**

In den bisher publizierten Studien mit Angabe eines CE-Mittelwertes für asymptotische Probanden fand sich für die Röntgendiagnostik ein Bereich von 26 [21] bis 39 Grad [22] (siehe Tabelle 21). Der Mittelwert aller hier betrachteten Studien, in denen Röntgenbilder analysiert worden waren, betrug 34,50 Grad (n = 20.623). Für Frauen (n = 8.874) ergab sich ein mittlerer CE von 34,50 Grad, für Männer (n = 9.962) ein CE von 34,68 Grad. Anhand von coronalen Schnittbildaufnahmen (CT und MRT) wurden Mittelwerte von 31 Grad [24] bis 41 Grad [13] beschrieben. Der Gesamtmittelwert der hier betrachteten Studien mit Schnittbildern betrug 34,79 Grad (n = 3.151), für Frauen (n = 535) ergab sich ein mittlerer CE von 33,92 Grad und für Männer (n = 555) von 36,77 Grad.

In der SHIP-Population fand sich insgesamt ein CE-Mittelwert von 31,1 Grad. Männer wiesen dabei einen mittleren Wert von 30,4 Grad und Frauen von 31,8 Grad auf. Wie

Abb. 29 und Abb. 30 verdeutlichen, stimmen diese Werte mit einigen der bisher in der Literatur angegebenen CE-Mittelwerte überein. Insgesamt liegen die anhand der Analyse der SHIP-Population gefundenen Werte etwa 3 Grad unter den publizierten Gesamtmittelwerten. Bei Betrachtung der nach Geschlechtern getrennten Studien zeigt sich dieser Trend ebenfalls, jedoch stimmen die hier erhobenen Werte annähernd mit den großen röntgenologischen Populationsstudien von Laborie et al., Jacobsen et al. und Gosvig et al. überein [10,23,51]. Den Arbeiten von Gosvig et al. und Jacobsen et al. liegt dabei mit der Copenhagen City Heart Study jeweils fast dieselbe Population zu Grunde. Diese Population ähnelt durch ihr Studiendesign und der hohen Probandenzahl am ehesten der vorliegenden Arbeit [23,51]. Trotzdem zeigt sich ein Unterschied zu den in dieser Arbeit erhobenen Mittelwerten. Dies könnte einerseits durch regionale Unterschiede zu erklären sein, andererseits ist die Population von Gosvig et al. deutlich älter. Da der CE mit dem Probandenalter steigt [9,28,30,32,35–37], könnte dies auch eine mögliche Erklärung sein. Damit könnte auch erklärt werden, weshalb die junge Kohorte von Laborie et al. ebenfalls kleinere CE aufweist [10]. Man könnte annehmen, dass die Werte von Laborie et al. aufgrund des jungen Alters der

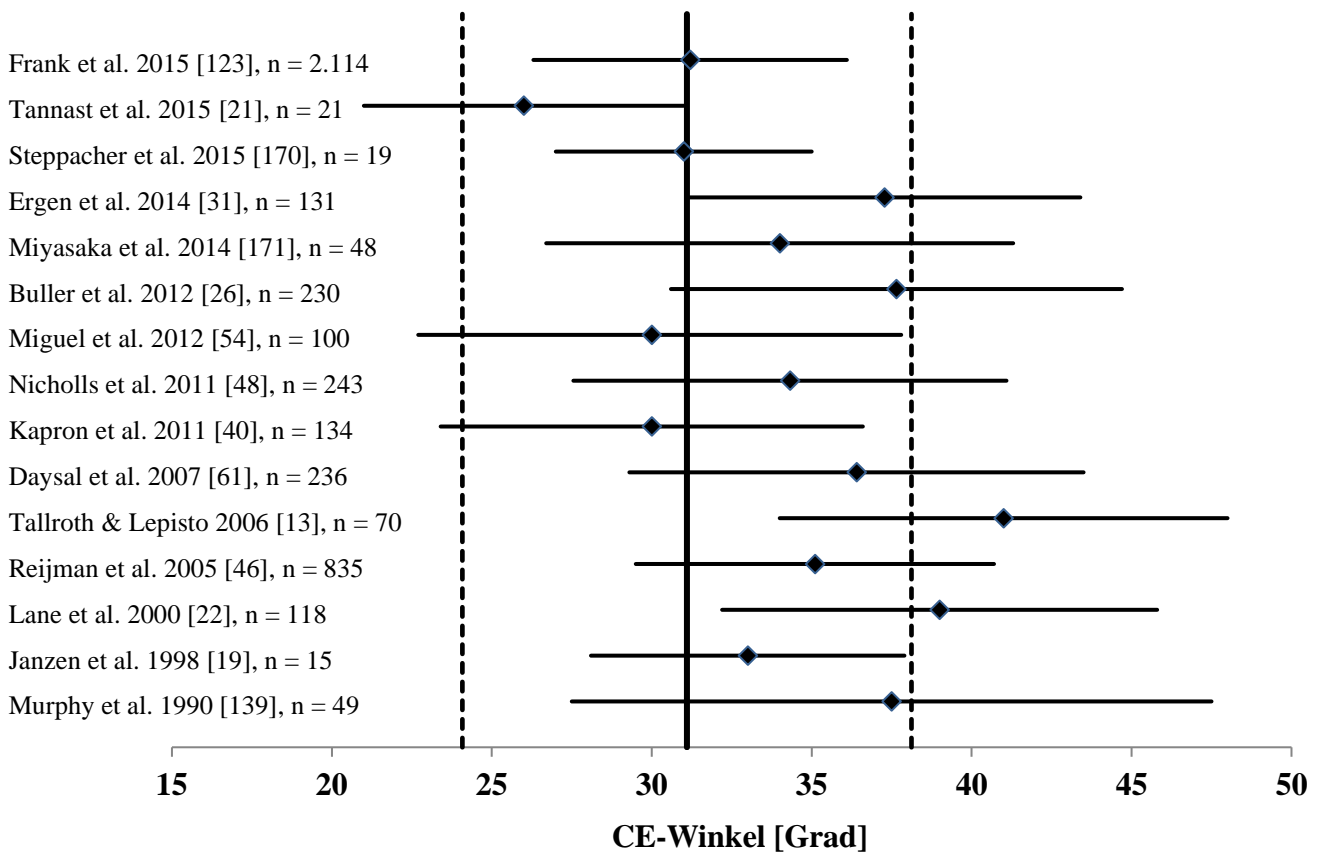
Kohorte kleiner als die vorliegenden Werte sein müssten. Jedoch wurden die Probanden von Laborie et al. im Falle einer angeborenen Hüftdysplasie wahrscheinlich konsequenter behandelt. Aufgrund dieses Unterschieds ist die Vergleichbarkeit der Werte fraglich, da auch durch die angeborene Hüftdysplasie geringere Werte entstanden sein könnten. Der im Review von Frank et al. an MRT- und Röntgen-Daten angegebene mittlere CE von 31,2 Grad [123] liegt nur um 0,1 Grad höher als der in der vorliegenden Arbeit gefundene. Des Weiteren sind die hier erhobenen Daten mit einigen Studien der Schnittbilddiagnostik nahezu identisch [19,27,28,34,170]. Zwar zeigten andere Arbeiten weitaus höhere Werte [13,20,139], diese hatten jedoch zusammen genommen eine deutlich kleinere Fallzahl als die vorliegende Studie. Zudem können die Unterschiede auch an geographisch und ethnisch unterschiedlichen Populationen liegen. Insgesamt führt die Messung des CE im MRT also zu zuverlässigen Werten.

Als erste Normalwerte für den CE gab Wiberg Werte  $> 25$  Grad an [2]. Diese Normalwertgrenze wurde in nachfolgenden Arbeiten für Röntgenaufnahmen sowie CT-Daten bestätigt, wobei sich für CT-Untersuchungen Werte zwischen 22,5 und 50,1 Grad fanden [20]. In großen Studien konnten anhand von a.p.-Röntgenbildern Normwerte zwischen 18,1 und 48,0 Grad [9] bzw. 20,8 und 45,0 Grad für Männer und 19,6 – 43,4 Grad für Frauen ermittelt werden [10]. Laborie et al. führten zwar eine populationsbasierte Studie durch, jedoch handelte es sich bei der Kohorte lediglich um Patienten gleichen Jahrgangs [10]. Auch Werner et al. arbeiteten mit einer großen Probandenzahl. Diese war jedoch nicht populationsbasiert [9].

In der vorliegenden epidemiologischen Arbeit fand sich ein Normbereich zwischen 17,4 Grad und 44,9 Grad. Nach Geschlechtern getrennt ergaben sich CE-Werte von 16,6 – 44,2 Grad für Männer und von 18,2 – 45,4 Grad für Frauen. Die etwas niedrigeren unteren Schwellenwerte könnten sich hierbei durch die populationsbasierte Kohorte erklären lassen, die definitionsgemäß nicht zwischen „kranken“ und gesunden Probanden unterscheidet. Insgesamt stimmen diese Normalbereiche für den CE trotzdem sehr gut mit den in der Literatur angegebenen überein. Damit können die CE-Normwerte der röntgenologischen und computertomographischen Diagnostik direkt auf die MRT-Diagnostik übertragen werden. Jedoch sollten aufgrund der gezeigten Abhängigkeiten adjustierte Referenzwerte verwendet werden. Hierfür wurden alters- und geschlechtsabhängige Referenzwerte ermittelt (siehe Abb. 26).

Die Angaben zur bestimmten Prävalenz einer Hüftdysplasie anhand des CE (CE < 20 Grad) sind in der Literatur sehr unterschiedlich. Je nach untersuchter Population wurden Prävalenzen zwischen 3,3 % [41] und 17,0 % [38] nachgewiesen. Für die hier untersuchte Population fand sich bei diesen historischen Schwellenwerten eine Prävalenz von 8,1 %. Aufgrund der in dieser Arbeit ermittelten Abhängigkeiten wurden die in Abb. 26 gezeigten adjustierten oberen und unteren Schwellen vorgeschlagen.

### Angaben zum CE-Winkel in der Literatur

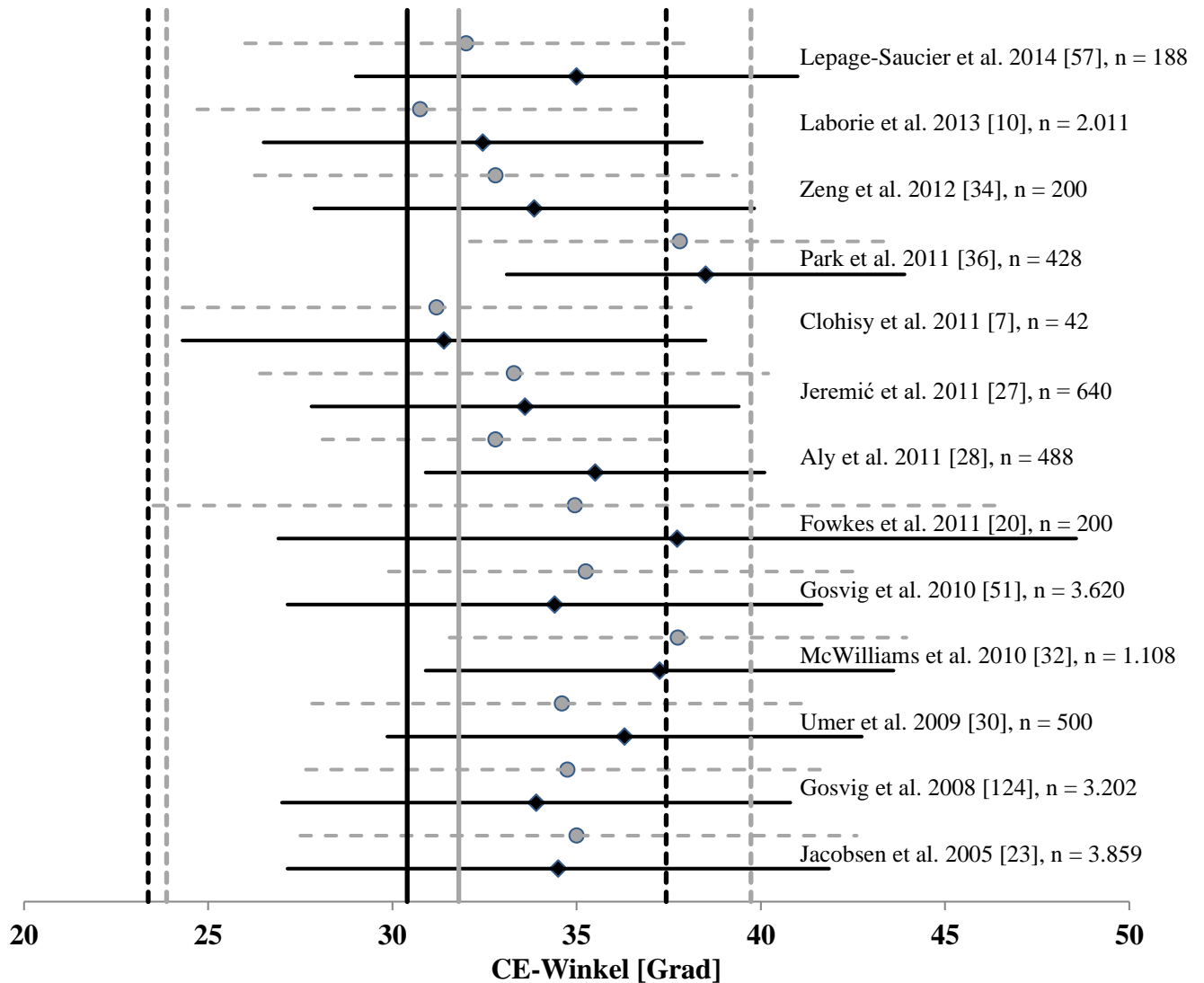


**Abb. 29:** Darstellung von publizierten und eigenen Ergebnissen zum CE

Horizontal: Mittelwert ± SD der angegebenen Studien

Vertikal: Mittelwert ± SD eigene Daten

## Angaben zum CE-Winkel nach Geschlecht in der Literatur



**Abb. 30: Darstellung von publizierten und eigenen Ergebnissen zum CE getrennt nach Geschlechtern**

Horizontal: Mittelwert  $\pm$  SD der angegebenen Studien

Vertikal: Mittelwert  $\pm$  SD eigene Daten

Farbe: Schwarz = Männer; Grau = Frauen

#### 4.2.2 Centrum-Collum-Diaphysen-Winkel

Für bisher publizierte CCD-Mittelwerte asymptomatischer Probanden zeigten sich bei DXA-Bildern Werte zwischen 123,2 Grad [70] und 131,4 Grad [71], bei Röntgenbildern Werte zwischen 123,1 Grad [73] und 132,8 Grad [74] und bei Schnittbildstudien CCD-Mittelwerte von 126,7 Grad [75] bis 131,9 Grad [67]. Der Mittelwert aller hier betrachteten Studien ohne Geschlechtertrennung betrug für zweidimensionale Aufnahmen 129,1 Grad ( $n = 39.795$ ). Bei geschlechtergetrennten Studien wiesen Frauen ( $n = 2.210$ ) einen Mittelwert von 127,6 Grad auf und Männer ( $n = 1.599$ ) einen Mittelwert von 129,7 Grad. Bei coronalen Schnittbildaufnahmen ( $n = 1.333$ ) ergab sich insgesamt ein Mittelwert von 129,8 Grad. Boese et al. beschrieben in ihrem Review anhand von 5.089 gesunden Probanden einen mittleren CCD von 128,8 Grad [68].

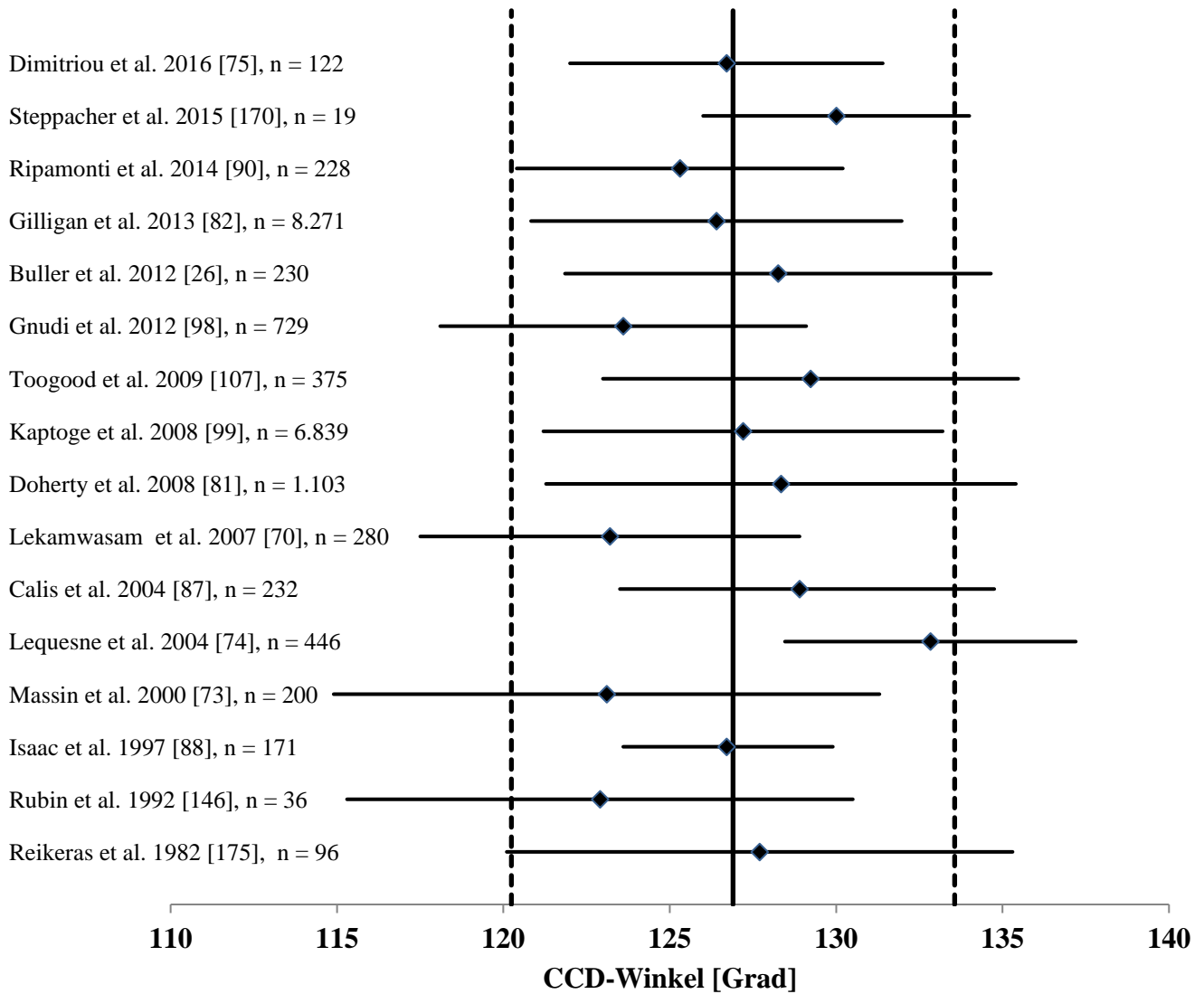
Diese Mittelwerte stimmen mit dem in der vorliegenden Arbeit ermittelten Mittelwert (126,9 Grad) gut überein. Bei männlichen Probanden betrug der Mittelwert 126,5 Grad, bei weiblichen Probanden 127,4 Grad. Die vorliegenden Werte weisen eine gute Übereinstimmung zu früher publizierten CCD-Werten auf (siehe Abb. 31). Beim Vergleich der geschlechtergetrennten Mittelwerte finden sich jedoch Unterschiede (siehe Abb. 32). Auch bei den Gesamtmittelwerten zeigt sich eine geringe Differenz. Beim Vergleich der Werte fällt jedoch auf, dass die Fallzahl der untersuchten Population außer bei DXA basierten Studien deutlich geringer war als die in der vorliegenden Studie zur Verfügung stehende Population. Ein Vergleich mit auf DXA-Bildern basierenden Studien ist jedoch aufgrund der limitierten Präzision von DXA-Aufnahmen schwierig. Zudem ist beschrieben, dass CCD-Werte stark variieren können [63,76]. Weiterhin entsprechen die hier bestimmten CCD-Werte denjenigen in Studien mit zweidimensionalen Aufnahmetechniken (DXA + Röntgen) und großen Populationen [80,99,100,172]. Aufgrund dieser Übereinstimmungen bei Normwerten wie Mittelwerten erscheint die CCD-Messung in der MRT-Diagnostik anwendbar.

Als Normalwerte des CCD finden sich in der Literatur unterschiedliche Bereiche. In Schnittbildstudien wurden einerseits Werte zwischen 120 und 135 Grad beschrieben [35,67], andererseits fanden sich auch größere Normalbereiche anhand von Röntgenbildern mit Werten zwischen 126 und 139 Grad [55] und kleinere Normalbereiche mit CCD-Werten von 125 bis 135 Grad (CT- und Röntgen-Diagnostik) [4,15]. Als oberes Limit wurde oft eine Schwelle von 140 Grad benannt [15,39]. Diese Schwellenwerte wurden jedoch meist von historischen Studien [69,173,174] übernommen. Aufgrund der veränderten sozialen Gewohnheiten und den damit assoziierten physiologischen Veränderungen der heutigen

Gesellschaft könnten neue Referenzwerte von Nutzen sein. Deshalb wurden diese Referenzwerte in der vorliegenden Arbeit berechnet. Dabei konnten anhand des 95 % Konfidenzintervalls Normalwerte von 113,9 – 140,2 Grad bestimmt werden. Für die einzelnen Geschlechter ergaben sich CCD-Werte zwischen 113,2 und 139,7 Grad für Männer und Werte zwischen 114,5 und 140,2 Grad für Frauen. Somit ergab sich für die obere Grenze fast exakt der bisher beschriebene Wert von 140 Grad. Unter Annahme des o.g. Normalbereichs von 120 bis 135 Grad ergab sich aus den vorliegenden Daten für 70,5 % der Probanden ein physiologischer CCD. Dies deckt sich mit den Ergebnissen von Boese et al. (69,8 %) [67]. Der in der vorliegenden Arbeit ermittelte untere Schwellenwert hingegen ist ca. 6 Grad kleiner als die bisher häufig verwendeten 120 Grad. Aufgrund der in Abb. 27 gezeigten geschlechts- und altersadjustierten Referenzwerte sollte diese historische Schwelle jedoch überdacht werden. Besonders bei Männern scheint ein  $\text{CCD} < 120$  Grad in jedem Alter durchaus physiologisch zu sein. Auch bei Frauen zeigten sich nur bis zum Alter von 29,64  $\text{CCD} < 120$  Grad als unter normwertig.

Nach historischen Schwellen fand sich in der SHIP-Population als Prävalenz einer Coxa vara ( $\text{CCD} < 120$  Grad) ein Wert von 16,8 %. Er ist deutlich höher als die von Boese et al. beschriebene Prävalenz. Mit einer Häufigkeit von 12,7 % für eine Coxa valga ( $\text{CCD} > 135$  Grad) fand sich wiederum eine niedrigere Prävalenz als die von Boese et al. angegebene [67]. Bei Verwendung eines Schwellenwerts von  $> 140$  Grad für eine Coxa valga wiederum konnte mit einer Häufigkeit von 3,3 % jedoch eine Prävalenz ermittelt werden, die sich gut mit den bisher veröffentlichten Häufigkeiten deckt [74,81].

## Angaben zum CCD-Winkel in der Literatur

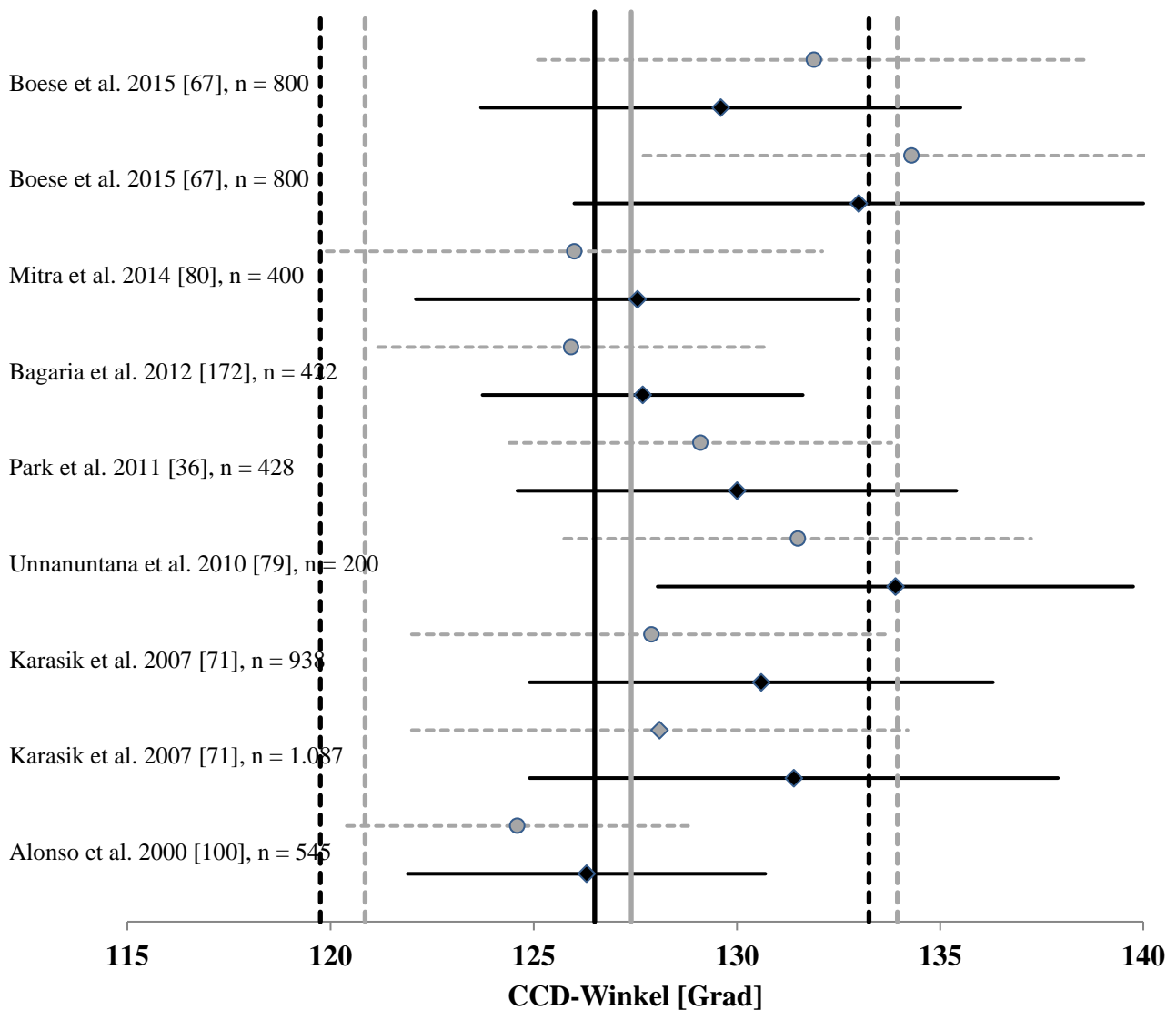


**Abb. 31: Darstellung von publizierten und eigenen Ergebnissen zum CCD**

Horizontal: Mittelwert  $\pm$  SD der angegebenen Studien

Vertikal: Mittelwert  $\pm$  SD eigene Daten

## Angaben zum CCD-Winkel nach Geschlecht in der Literatur



**Abb. 32:** Darstellung von publizierten und eigenen Ergebnissen zum CCD getrennt nach Geschlechtern

Horizontal: Mittelwert  $\pm$  SD der angegebenen Studien

Vertikal: Mittelwert  $\pm$  SD eigene Daten

Farbe: Schwarz = Männer; Grau = Frauen

### 4.2.3 Alpha-Winkel

In der Literatur ergaben sich für große Populationen Erwachsener an a.p.-Röntgenbildern AA-Mittelwerte von 44,4 Grad (Frauen) [117] bis 61,1 Grad (Männer) [122]. Der Mittelwert aller in dieser Arbeit betrachteten Studien ohne Geschlechtertrennung betrug für zweidimensionale Aufnahmen 51,3 Grad (n = 597). Bei geschlechtergetrennten Studien wiesen Frauen (n = 3.349) einen Mittelwert von 47,1 Grad auf, Männer (n= 2.197) einen von 55,6 Grad. Bei Schnittbildaufnahmen erwachsener Probanden (n = 2.652) ergab sich insgesamt ein Mittelwert von 53,4 Grad. In Studien mit nach Geschlechtern getrennten Ergebnissen zeigte sich ein Mittelwert von 53,1 Grad für Männer (n = 1.085) und 48,1 Grad für Frauen (n = 1.737). Bei radialen bzw. axial-obliquen Schnittbildstudien mit hoher Probandenanzahl (n > 400) konnten Mittelwerte zwischen 56 Grad (Männer) [42] und 47 Grad (Frauen) [110] beobachtet werden. Für im coronalen Schnitt gemessene AA dokumentierte eine koreanische Studie Mittelwerte von 50,6 Grad (Männer) bzw. 49,8 Grad (Frauen) [114]. Da der AA jedoch starken ethnischen Unterschieden unterliegt [42,114], ist ein Vergleich zur vorliegenden Studie nicht aussagekräftig.

Die Population der vorliegenden Studie wies für den AA einen Gesamtmittelwert von 54,5 Grad auf. Bei Männern lag der Mittelwert bei 57,4 Grad und für Frauen bei 51,7 Grad. Die Mittelwerte waren damit höher als bei den meisten Röntgen- bzw. Schnittbildstudien (siehe Abb. 33, Abb. 34 und Tabelle 25) sowie deren Gesamtmittelwerten. Einige Arbeitsgruppen fanden, insbesondere bei auf a.p.-Röntgenbildern basierenden Studien [42,54,123], trotz unterschiedlichen Mess- und Aufnahmetechniken ähnliche Ergebnisse. Toogood et al. beschrieben an Skelettfemora sogar fast denselben Gesamtmittelwert (53,46 Grad) [107]. Laborie et al. erfassten beispielsweise Mittelwerte von 61,1 Grad (Männer) und 51,3 Grad (Frauen) [10]. Bei Frauen fanden sich somit ebenfalls vergleichbare Werte zur vorliegenden Arbeit. Gosvig et al. hingegen beschrieben einen 2,5 Grad kleineren AA-Mittelwert bei Männern und einen fast 7 Grad kleineren Wert für Frauen [117]. Dafür könnten jedoch die strikteren Auswahlkriterien (z.B. Krankheitsgeschichte von Hüfte und Knie in der Kindheit) oder die Herkunft der Population ein Grund sein. Joo et al. hingegen ermittelten bei 994 Koreanern einen Mittelwert von ca. 50 Grad [114]. Trotz Vermessung derselben Ebene (coronal MRT) fanden sich somit deutlich kleinere Werte als in der vorliegenden Arbeit. Dies kann jedoch durch die unterschiedliche Herkunft der Population begründet werden, welche von Van Houcke et al. beschrieben wurde [42]. Aufgrund der gegebenen Übereinstimmungen scheint die coronale AA-Messung in der MRT-Diagnostik möglich und, wie Gosvig et al.

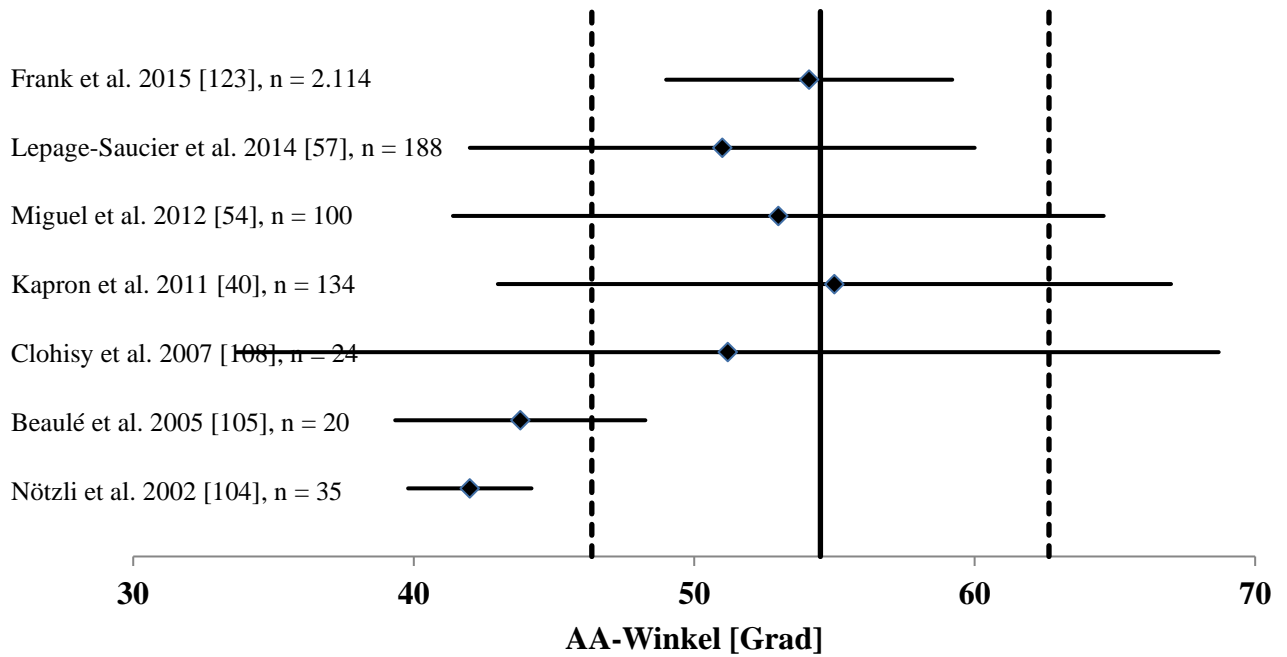
beschrieben, ein sinnvoller Messwert für epidemiologische Studien zu sein [117]. Weiterhin sollte jedoch der im coronalen Schnittbild gemessene AA aufgrund der unzureichenden Datenlage Gegenstand weiterer Studien sein.

Die Normwerte des AA erweisen sich in der bereits bestehenden Literatur als sehr unterschiedlich, was an den verschiedenen Messtechniken liegen könnte. Bei Schnittbildstudien wurden zunächst AA-Werte < 50 Grad [104] bzw. bis 53 Grad [105] als normwertig beschrieben. Lepage-Saucier et al. jedoch erfassten bei einer deutlich größeren Population durch Ermittlung des 95 %-Referenzintervalls Normwerte von 22 – 68 Grad bei Männern und 32 – 69 Grad bei Frauen [57]. Bei a.p.-Röntgenbildern wurden ebenfalls deutlich höhere Normwerte angegeben. In unterschiedlichen Studien fanden sich bei wechselnden statistischen Methoden unterschiedliche Ergebnisse. Eine bimodale Verteilung erfasste eine Obergrenze von 60 Grad für AA-Normalwerte [119], der Mittelwert plus eine Standardabweichung ergab eine Obergrenze von bis zu 68 Grad [117] und die Verwendung des 95 %-Referenzintervalls (Mittelwert  $\pm$  1,96 \* Standardabweichung) resultierte in AA-Werte von 70 Grad bei Männern und 61 Grad bei Frauen [121]. Werte von 43 – 93 Grad für Männer und 39 – 94 Grad für Frauen wurden durch die 2,5 Perzentile als Untergrenze und die 97,5 Perzentile als Obergrenze bestimmt [122].

Die in der Studie analysierten Daten zeigten anhand des 95 %-Referenzintervalls Normalwerte von 38,5 – 70,5 Grad. Getrennt für Geschlechter wurden AA-Normalwerte zwischen 40,8 und 74,1 Grad für Männer und zwischen 38,6 und 64,8 Grad für Frauen gefunden. Da es sich bei der vorliegenden Arbeit um eine epidemiologische Studie handelt, wurde, wie von Gosvig et al. vorgeschlagen, der von ihnen modifizierte AA [117] an MRT-Daten gemessen [114,115]. Trotz der unterschiedlichen Mess- und Aufnahmetechniken fanden sich hier AA-Normalwerte, die gut mit denen von Schnittbild- und Röntgenstudien übereinstimmen [57,121]. Dadurch kann der in dieser Technik gemessene AA sowie die hier ermittelten Normwerte als plausibel betrachtet werden. Der ermittelte Geschlechts- und Altersunterschied zeigt jedoch, dass adjustierte Referenzwerte nötig sind. Aufgrund dessen wurden adjustierte Referenzwerte berechnet, welche in Abb. 28 angegeben sind.

Die Prävalenz einer durch den AA erfassten Cam-Deformität ist in der Literatur durch die verschiedenen Schwellenwerte unterschiedlich. Die Häufigkeiten der hier untersuchten SHIP-Probanden lagen je nach Schwelle bei 31,8 % (AA > 55 Grad) bis zu 2,4 % (AA > 78 Grad).

## Angaben zum AA-Winkel in der Literatur

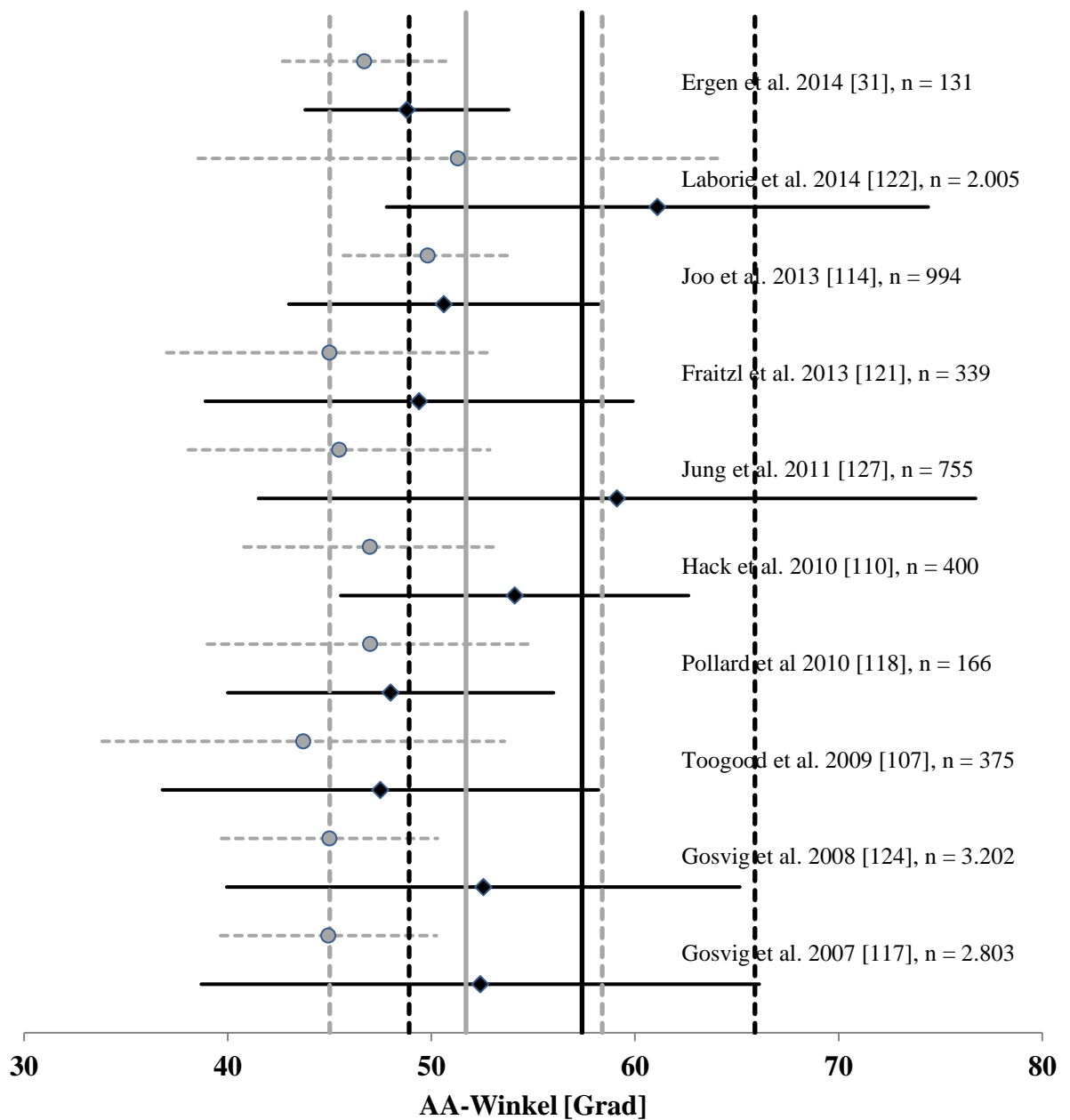


**Abb. 33: Darstellung von publizierten und eigenen Ergebnissen zum AA**

Horizontal: Mittelwert  $\pm$  SD der angegebenen Studien

Vertikal: Mittelwert  $\pm$  SD eigene Daten

## Angaben zum AA-Winkel nach Geschlecht in der Literatur



**Abb. 34:** Darstellung von publizierten und eigenen Ergebnissen zum AA getrennt nach Geschlechtern

Horizontal: Mittelwert  $\pm$  SD der angegebenen Studien

Vertikal: Mittelwert  $\pm$  SD eigene Daten

Farbe: Schwarz = Manner; Grau = Frauen

#### 4.2.4 Triangulärer Index

Seit der Entwicklung des TI finden sich in der dazu vorliegenden Literatur wenige und zudem sehr unterschiedliche Ergebnisse (siehe Tabelle 27). An a.p.-Röntgenbildern beobachteten Gosvig et al. beispielsweise mit -2,55 mm bei Männern und -3,85 mm bei Frauen über doppelt so hohe Mittelwerte [124] wie Fraitzl et al. (-0,8 mm bei Männern, -1,6 mm bei Frauen) [121]. An Profi-Fußballspielern wiederum wurden je nach Ethnie TI-Mittelwerte von -0,5 mm bei Kaukasiern bis -2,9 mm bei Farbigen ermittelt [136]. Bei Röntgenaufnahmen im „lateral view“ änderten sich die TI-Werte von Fraitzl et al. wiederum auf -0,3 mm für Männer und Frauen [121]. Andere Autoren beschrieben nur den beim TI gemessenen Radius R [48,135] oder berechneten den TI auf andere Weise als von Gosvig et al. publiziert [106]. Aufgrund dieser Unterschiede ist ein Vergleich mit der vorhandenen Literatur schwierig. In der vorliegenden Arbeit konnte ein nach Gosvig et al. berechneter mittlerer TI von -2,29 mm in der Gesamtpopulation, -2,48 mm bei Männern und -2,10 mm bei Frauen beobachtet werden. Diese Werte ähneln trotz verschiedener Aufnahmemethoden denen von Gosvig et al. [51,124]. Aufgrund der geringen Datenlage kann jedoch zur Übertragbarkeit des TI von der Röntgendiagnostik auf die MRT-Diagnostik keine sichere Aussage getroffen werden.

#### 4.2.5 Femurkopfdurchmesser

Beim Vergleich der Mittelwerte des HD bei Erwachsenen fanden sich in der Literatur deutlich variierende Ergebnisse (siehe Tabelle 29). Der kleinste Mittelwert konnte dabei bei Skelettfemora von Chinesinnen mit 40,0 mm dargestellt werden [62], der größte mittlere HD ergab sich an a.p.-Röntgenbildern von asymptomatischen Männern mit 62,9 mm [135]. Die großen Variationen könnten sich durch den geschlechtsbedingten sowie geographisch/ethnischen Unterschied erklären [78,79,83,87,140–143,145,146].

Im SHIP-Normalkollektiv ergab sich für Männer ein mittlerer HD von 47,6 mm, für Frauen von 41,7 mm. Der Gesamtmittelwert (44,6 mm) wies eine gute Übereinstimmung mit französischen, also geographisch und ethnisch ähnlichen, Studien auf, in denen a.p.-Röntgenbilder untersucht worden waren [73,176]. Auch Dimitriou et al. dokumentierten bei Schnittbilduntersuchungen mit einem mittleren HD von 45,5 mm ähnliche Werte [75]. Die größeren Gesamtmittelwerte des HD bei CT-Aufnahmen amerikanischer Probanden [139] könnten auf den hohen Anteil männlicher Probanden zurückzuführen sein. Wie die

Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen, kann der HD auch an MRT-Bildern zuverlässig bestimmt werden.

#### **4.2.6 Os acetabuli**

Zur Häufigkeit eines Os acetabuli wird in der Literatur über eine Prävalenz von 2 – 3 % bei asymptomatischen Probanden berichtet [152]. In der vorliegenden Arbeit wurde mit 4,3 % eine etwas höhere Prävalenz beobachtet.

### **4.3 Limitationen**

In dieser Arbeit wurden MRT-Daten der SHIP-Studie analysiert. Daher waren nur retrospektive Betrachtungen möglich, wodurch sich methodische Schwächen ergeben. In der SHIP-Studie wurden laut Studiendesign ausschließlich Erwachsene der Region Vorpommern eingeschlossen [164]. Deshalb gelten die ermittelten Ergebnisse für Erwachsene aus Norddeutschland. Die verwendeten MRT-Bilder stammten von als „hüftgesund“ eingestuften Probanden. Dies konnte jedoch nicht objektiv sichergestellt werden, da z.B. Hüfterkrankungen in der Kindheit sowie vorhergehende Hüftoperationen im Rahmen der SHIP-Erhebung nicht erfragt worden waren. Weiterhin wurde keine gesonderte Untersuchung der Hüfte vorgenommen. Jedoch erfolgte ein Ausschluss aus der Untersuchung für Probanden mit eindeutigen Pathologien (s. 2.2 MRT-Daten). Die vorliegenden Ergebnisse zeigten allerdings eine gute Übereinstimmung mit den bisher in der Literatur angegebenen Daten.

Trotz Erfüllung der Qualitätsanforderungen, einem standardisierten Messablauf sowie der fehlerfreien Übertragung kann es bei nur einem Hauptuntersucher zu einem systemischen Bias kommen. Da die Winkelmessung nur an einem Schnitt der MRT-Aufnahme erfolgte und nicht rotations-korrigiert war, konnte möglicherweise nicht immer der größte Winkel erfasst werden. Die Limitation der Bilderhebung ergibt sich aus der nicht vollständig fixierten Neutralposition der unteren Extremität.

Die Studienpopulation entsprach einer Stichprobe der Normalbevölkerung. Da jedoch bei manchen Probanden kein Hüft-MRT möglich war, kann dies einen Einfluss auf die vorliegenden Ergebnisse haben. Aufgrund der randomisierten Auswahl der Probanden und der mit  $n = 3.226$  Probanden hohen Probandenzahl ist die in der Arbeit verwendete Population dennoch repräsentativ für eine Normalbevölkerung und damit für einen begründeten Vorschlag von Normwerten gut geeignet.

#### 4.4 Schlussfolgerung

Aus den Ergebnissen der analysierten MRT-Bilder können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden: In der Hüftdiagnostik an MRT-Daten können der Center-Edge-Winkel, der Centrum-Collum-Diaphysen-Winkel, der modifizierte Alpha-Winkel, der Trianguläre Index, und der Femurkopfdurchmesser verlässlich bestimmt werden.

Die Werte der verwendeten MRT-Diagnostik stimmen beim CE und CCD mit den etablierten Normwerten der röntgenologischen und computertomographischen Bildgebung gut überein. Beim AA wurden in früheren Studien niedrigere Normwerte angegeben als in Studien, die in den letzten Jahren publiziert wurden. Der in der vorliegenden Arbeit ermittelte Normbereich passt zu den jüngeren Arbeiten. Aufgrund der Abhängigkeiten und den niedrigeren unteren Schwellenwerten beim CE und CCD, sollten zur genaueren Interpretation für CE, CCD und AA adjustierte Referenzwerte verwendet werden. Für den TI ist die Datenlage zu eingeschränkt, um eine verlässliche Aussage treffen zu können. Die für den HD gefundenen Mittelwerte stimmen gut mit Mittelwerten von ähnlichen Populationen überein, Normwerte für den HD sind aktuell nicht beschrieben. Damit kann die primäre Hypothese, dass die hier ermittelten Messwerte der MRT-Diagnostik mit den etablierten Normwerten der röntgenologischen und computertomographischen Bildgebung übereinstimmen, angenommen werden.

Auch die als sekundäre Hypothese erwarteten Abhängigkeiten der ermittelten Parameter untereinander sowie mit somatometrischen Parametern (Alter, Geschlecht, Körpergröße, Körpergewicht, BMI und Taillenumfang) sind zum großen Teil gegeben.

Die in der vorliegenden Arbeit gefundenen Ergebnisse gelten für eine norddeutsche Population. Für allgemeingültige Normwerte sollte die Bevölkerung weiterer Regionen und Ethnien untersucht werden.

## **5 Zusammenfassung**

### **5.1 Hintergrund und Ziele**

Nach Schätzung des Bundesamtes für Strahlenschutz erhielt in Deutschland im Jahr 2012 jeder Einwohner ca. 1,6 Röntgenuntersuchungen bzw. eine Strahlendosis von 1,8 mSv. Etwa ein Drittel aller Untersuchungen entfiel dabei auf den Skelettapparat. Auch die Hüftdiagnostik wird bisher primär anhand konventioneller Röntgen- oder CT-Bilder durchgeführt. Daher existieren bislang nur hierfür validierte Norm- und Referenzwerte. Da in Deutschland inzwischen fast flächendeckend die Option einer Diagnostik über die Magnetresonanztomographie (MRT) vorhanden ist, besteht die Möglichkeit, Patienten ohne Strahlenbelastung zu untersuchen. Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es daher eine wissenschaftliche Grundlage zur Auswertung von MRT-Bildern der Hüfte zu schaffen.

### **5.2 Methodik**

Zur Referenzwertbestimmung wurden der Center-Edge-Winkel (CE), der Centrum-Collum-Diaphysen-Winkel (CCD), der modifizierte Alpha-Winkel (AA), der Trianguläre Index (TI) und der Femurkopfdurchmesser (HD) an 3.226 coronalen MRT-Bildern (1.587 Männer, 1.639 Frauen) der SHIP-Studie untersucht. Des Weiteren wurden Abhängigkeiten der Winkel untereinander sowie zu somatometrischen Daten (Geschlecht, Alter, BMI, Körpergewicht, Körpergröße und Taillenumfang) analysiert. Aufgrund dieser Abhängigkeiten konnten zudem adjustierte Referenzwerte ermittelt werden. Zusätzlich wurden die Prävalenzen verschiedener Schwellenwertüberschreitungen in der Region Vorpommern bestimmt.

### **5.3 Ergebnisse**

Die Readerzertifizierung wurde anhand von 25 MRT-Datensätzen durchgeführt. Die nach der Bland-Altman-Methode bestimmten Qualitätsanforderungen an die Intra- und Interreader-Reliabilität wurden erfüllt.

Der aus den Messungen ermittelte durchschnittliche CE lag bei 31,1 Grad ( $\pm 7,02$ ), der abgeleitete Normbereich, entsprechend dem 95 %-Referenzbereich (Mittelwert  $\pm 1,96 * SD$ ), bei 17,6 – 44,9 Grad. Für den CCD ergab sich ein Mittelwert von 126,9 Grad ( $\pm 6,66$ ), der abgeleitete Normbereich betrug 113,9 – 140,0 Grad. Beim modifizierten AA wurde ein mittlerer Wert von 54,5 Grad ( $\pm 8,15$ ) sowie ein Referenzbereich von 38,5 – 70,5 Grad gefunden. Im Mittel konnte für den TI -2,29 mm ( $\pm 0,667$ ) errechnet werden, der HD betrug durchschnittlich 44,6 mm ( $\pm 3,94$ ).

Unter den gemessenen Hüftparametern fanden sich, außer zwischen CE und AA bzw. TI sowie zwischen HD und CCE bzw. TI, auffällige Zusammenhänge. Die dabei ermittelten Effekte zwischen den Winkeln waren jedoch überwiegend geringer als die von somatometrischen Parametern. Hierbei waren die Effekte von Geschlecht und Alter auf die ermittelten Hüftparameter am größten. Deshalb wurden für CE, CCD und AA darauf adjustierte Referenzwerte ermittelt.

Die hier ermittelten Prävalenzen der Schwellenwertüberschreitungen umfassen einen großen Bereich, da derzeit unterschiedlichste Schwellenwerte Anwendung finden.

## **5.4 Schlussfolgerung**

In der Hüftdiagnostik an MRT-Daten können der CE, der CCD, der modifizierte AA, der TI, und der HD verlässlich bestimmt werden. Die hier ermittelten Messwerte der MRT-Diagnostik stimmen im Wesentlichen mit den etablierten Normwerten der röntgenologischen und computertomographischen Bildgebung überein. Die erwarteten Abhängigkeiten der ermittelten Parameter untereinander sowie mit somatometrischen Parametern sind zum großen Teil gegeben. Zur genaueren Interpretation der Werte sollte aufgrund der Abhängigkeiten adjustierte Referenzwerte verwendet werden. Die Ergebnisse gelten für eine norddeutsche Population. Für allgemeingültige Normwerte sollte die Bevölkerung weiterer Regionen und Ethnien untersucht werden.



## Literaturverzeichnis

1. Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung: Jahresbericht 2014: Kapitel IV Strahlenexposition durch Medizinische Massnahmen; 2016. <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2016091514109>.
2. Wiberg G. Studies on the dysplastic acetabula and congenital subluxation of the hip joint: With special reference to the complication of osteoarthritis. Acta chirurgica Scandinavica Supplement, Vol 58. Stockholm: Norstedt; 1939.
3. Pun S, Kumar D, Lane NE. Femoroacetabular impingement. Arthritis & rheumatology (Hoboken, N.J.) 2015;67:17–27.
4. Delaunay S, Dussault RG, Kaplan PA, Alford BA. Radiographic measurements of dysplastic adult hips. Skeletal Radiol. 1997;26:75–81.
5. Fredensborg N. The CE Angle of Normal Hips. Acta orthop. scand. 1976;47:403–405.
6. Waldt S, Eiber M, Wörtler K. Messverfahren und Klassifikationssysteme in der muskuloskelettalen Radiologie: Mit 75 Tab. Kapitel 2: Hüftgelenk. Stuttgart: Thieme; 2011.
7. Clohisy JC, Dobson MA, Robison JF, Warth LC, Zheng J, Liu SS, et al. Radiographic structural abnormalities associated with premature, natural hip-joint failure. J Bone Joint Surg Am 2011;93 Suppl 2:3–9.
8. Tannast M, Siebenrock KA, Anderson SE. Femoroacetabular impingement: radiographic diagnosis--what the radiologist should know. AJR Am J Roentgenol 2007;188:1540–1552.
9. Werner CML, Ramseier LE, Ruckstuhl T, Stromberg J, Copeland CE, Turen CH, et al. Normal values of Wiberg's lateral center-edge angle and Lequesne's acetabular index--a coxometric update. Skeletal Radiol. 2012;41:1273–1278.
10. Laborie LB, Engesæter IØ, Lehmann TG, Sera F, Dezateux C, Engesæter LB, et al. Radiographic measurements of hip dysplasia at skeletal maturity--new reference intervals based on 2,038 19-year-old Norwegians. Skeletal Radiol. 2013;42:925–935.
11. Chadayammuri V, Garabekyan T, Jesse M, Pascual-Garrido C, Strickland C, Milligan K, et al. Measurement of lateral acetabular coverage: A comparison between CT and plain radiography. Journal of Hip Preservation Surgery 2015:392–400.
12. Haddad FS, Garbuz DS, Duncan CP, Janzen DL, Munk PL. CT evaluation of periacetabular osteotomies. Bone & Joint Journal 2000;82-:526–531.

13. Tallroth K, Lepisto J. Computed tomography measurement of acetabular dimensions: normal values for correction of dysplasia. *Acta Orthop* 2006;77:598–602.
14. Monazzam S, Bomar JD, Dwek JR, Hosalkar HS, Pennock AT. Development and prevalence of femoroacetabular impingement-associated morphology in a paediatric and adolescent population: a CT study of 225 patients. *Bone Joint J* 2013;95:598–604.
15. Dolan MM, Heyworth BE, Bedi A, Duke G, Kelly BT. CT Reveals a High Incidence of Osseous Abnormalities in Hips with Labral Tears. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 2011;469:831–838.
16. Stelzeneder D, Hingsammer A, Bixby SD, Kim Y. Can radiographic morphometric parameters for the hip be assessed on MRI? *Clin. Orthop. Relat. Res.* 2013;471:989–999.
17. Chen L, Boonthathip M, Cardoso F, Clopton P, Resnick D. Acetabulum protrusio and center edge angle: new MR-imaging measurement criteria--a correlative study with measurement derived from conventional radiography. *Skeletal Radiol.* 2009;38:123–129.
18. Harris-Hayes M, Commean PK, Patterson JD, Clohisy JC, Hillen TJ. Bony abnormalities of the hip joint: a new comprehensive, reliable and radiation-free measurement method using magnetic resonance imaging. *Journal of Hip Preservation Surgery* 2014;1:62–70.
19. Janzen DL, Aippersbach SE, Munk PL, Sallomi DF, Garbuz D, Werier J, et al. Three-dimensional CT measurement of adult acetabular dysplasia: technique, preliminary results in normal subjects, and potential applications. *Skeletal Radiol.* 1998;27:352–358.
20. Fowkes LA, Petridou E, Zagorski C, Karuppiah A, Toms AP. Defining a reference range of acetabular inclination and center-edge angle of the hip in asymptomatic individuals. *Skeletal Radiol.* 2011;40:1427–1434.
21. Tannast M, Hanke MS, Zheng G, Steppacher SD, Siebenrock KA. What Are the Radiographic Reference Values for Acetabular Under- and Overcoverage? *Clin Orthop Relat Res* 2015;473:1234–1246.
22. Lane NE, Lin P, Christiansen L, Gore LR, Williams EN, Hochberg MC, et al. Association of mild acetabular dysplasia with an increased risk of incident hip osteoarthritis in elderly white women: the study of osteoporotic fractures. *Arthritis and rheumatism* 2000;43:400–404.
23. Jacobsen S, Sonne-Holm S, Soballe K, Gebuhr P, Lund B. Hip dysplasia and osteoarthrosis: a survey of 4151 subjects from the Osteoarthrosis Substudy of the Copenhagen City Heart Study. *Acta Orthop* 2005;76:149–158.
24. Larson CM, Moreau-Gaudry A, Kelly BT, Thomas Byrd JW, Tonetti J, Lavalley S, et al. Are Normal Hips Being Labeled as Pathologic? A CT-based Method for Defining Normal Acetabular Coverage. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 2015;473:1247–1254.

25. Li Y, Helvie P, Mead M, Gagnier J, Hammer MR, Jong N. Prevalence of Femoroacetabular Impingement Morphology in Asymptomatic Adolescents. *Journal of pediatric orthopedics* 2015.
26. Buller LT, Rosneck J, Monaco FM, Butler R, Smith T, Barsoum WK. Relationship between proximal femoral and acetabular alignment in normal hip joints using 3-dimensional computed tomography. *The American Journal of Sports Medicine* 2012;40:367–375.
27. Jeremić D, Macuzić Z, Vulović M. Sex differences in anatomical parameters of acetabulum among asymptomatic Serbian population. *Vojnosanit Pregl.* 2011;68:935–939.
28. Aly TA. Hip morphologic measurements in an Egyptian population. *Orthopedics* 2011;34.
29. Nishii T, Shiomi T, Sakai T, Takao M, Yoshikawa H, Sugano N. Computational measurement of joint space width and structural parameters in normal hips. *Archives of orthopaedic and trauma surgery* 2012;132:591–598.
30. Umer M, Sepah YJ, Asif S, Azam I, Jawad MU. Acetabular morphometry and prevalence of hip dysplasia in the South Asian population. *Orthopedic reviews* 2009;1:34–38.
31. Ergen FB, Vudali S, Sanverdi E, Dolgun A, Aydingoz U. CT assessment of asymptomatic hip joints for the background of femoroacetabular impingement morphology. *Diagn Interv Radiol* 2014;20:271–276.
32. McWilliams DF, Doherty SA, Jenkins WD, Maciewicz RA, Muir KR, Zhang W, et al. Mild acetabular dysplasia and risk of osteoarthritis of the hip: A case-control study. *Annals of the Rheumatic Diseases* 2010;69:1774–1778.
33. Shi YY, Liu TJ, Zhao Q, Zhang LJ, Ji SJ, Wang EB. The normal centre-edge angle of Wiberg in the Chinese population: a population-based cross-sectional study. *J Bone Joint Surg Br* 2010;92:1144–1147.
34. Zeng Y, Wang Y, Zhu Z, Tang T, Dai K, Qiu S. Differences in acetabular morphology related to side and sex in a Chinese population. *Journal of Anatomy* 2012;220:256–262.
35. Beall DP, Martin HD, Mintz DN, Ly JQ, Costello RF, Braly BA, et al. Anatomic and structural evaluation of the hip: a cross-sectional imaging technique combining anatomic and biomechanical evaluations. *Clinical imaging* 2008;32:372–381.
36. Park J, Im G. The correlations of the radiological parameters of hip dysplasia and proximal femoral deformity in clinically normal hips of a Korean population. *Clinics in orthopedic surgery* 2011;3:121–127.

37. Bouyer B, Mazieres B, Guillemin F, Bouttier R, Fautrel B, Morvan J, et al. Association between hip morphology and prevalence, clinical severity and progression of hip osteoarthritis over 3 years: The knee and hip osteoarthritis long-term assessment cohort results. *Joint, bone, spine : revue du rhumatisme* 2016;432–438.
38. Johnsen K, Goll R, Reikeras O. Acetabular dysplasia in the Sami population: a population study among Sami in north Norway. *International journal of circumpolar health* 2008;67:147–153.
39. Morvan J, Bouttier R, Mazieres B, Verrouil E, Pouchot J, Rat A, et al. Relationship between hip dysplasia, pain, and osteoarthritis in a cohort of patients with hip symptoms. *The Journal of rheumatology* 2013;40:1583–1589.
40. Kapron AL, Anderson AE, Aoki SK, Phillips LG, Petron DJ, Toth R, et al. Radiographic prevalence of femoroacetabular impingement in collegiate football players: AAOS Exhibit Selection. *J Bone Joint Surg Am* 2011;93:e111(1-10).
41. Engesaeter IO, Laborie LB, Lehmann TG, Fevang JM, Lie SA, Engesaeter LB, et al. Prevalence of radiographic findings associated with hip dysplasia in a population-based cohort of 2081 19-year-old Norwegians. *Bone Joint J* 2013;95-B:279–285.
42. van Houcke J, Yau WP, Yan CH, Huysse W, Dechamps H, Lau WH, et al. Prevalence of radiographic parameters predisposing to femoroacetabular impingement in young asymptomatic Chinese and white subjects. *J Bone Joint Surg Am* 2015;97:310–317.
43. Yoshimura N, Campbell L, Hashimoto T, Kinoshita H, Okayasu T, Wilman C, et al. Acetabular dysplasia and hip osteoarthritis in Britain and Japan. *British journal of rheumatology* 1998;37:1193–1197.
44. Chung CY, Park MS, Lee KM, Lee SH, Kim TK, Kim KW, et al. Hip osteoarthritis and risk factors in elderly Korean population. *Osteoarthr. Cartil.* 2010;18:312–316.
45. Murphy SB, Ganz R, Muller ME. The prognosis in untreated dysplasia of the hip. A study of radiographic factors that predict the outcome. *J Bone Joint Surg Am* 1995;77:985–989.
46. Reijman M, Hazes, J M W, Pols, H A P, Koes BW, Bierma-Zeinstra, S M A. Acetabular dysplasia predicts incident osteoarthritis of the hip: the Rotterdam study. *Arthritis and rheumatism* 2005;52:787–793.
47. Thomas GER, Palmer AJR, Batra RN, Kiran A, Hart D, Spector T, et al. Subclinical deformities of the hip are significant predictors of radiographic osteoarthritis and joint replacement in women. A 20 year longitudinal cohort study. *Osteoarthr. Cartil.* 2014;22:1504–1510.
48. Nicholls AS, Kiran A, Pollard TCB, Hart DJ, Arden CPA, Spector T, et al. The association between hip morphology parameters and nineteen-year risk of end-stage

- osteoarthritis of the hip: a nested case-control study. *Arthritis and rheumatism* 2011;63:3392–3400.
49. Ecker TM, Tannast M, Puls M, Siebenrock KA, Murphy SB. Pathomorphologic alterations predict presence or absence of hip osteoarthrosis. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 2007;465:46–52.
  50. Nardo L, Parimi N, Liu F, Lee S, Jungmann PM, Nevitt MC, et al. Femoroacetabular Impingement: Prevalent and Often Asymptomatic in Older Men: The Osteoporotic Fractures in Men Study. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 2015;473:2578–2586.
  51. Gosvig KK, Jacobsen S, Sonne-Holm S, Palm H, Troelsen A. Prevalence of Malformations of the Hip Joint and Their Relationship to Sex, Groin Pain, and Risk of Osteoarthritis A Population-Based Survey. *J Bone Joint Surg Am* 2010;92-A:1162–1169.
  52. Agricola R, Heijboer MP, Roze RH, Reijman M, Bierma-Zeinstra SMA, Verhaar JAN, et al. Pincer deformity does not lead to osteoarthritis of the hip whereas acetabular dysplasia does: acetabular coverage and development of osteoarthritis in a nationwide prospective cohort study (CHECK). *Osteoarthr. Cartil.* 2013;21:1514–1521.
  53. Van Thiel, Geoffrey S., Harris JD, Kang RW, Chahal J, Della Valle, Craig J., Bush-Joseph CA, et al. Age-Related Differences in Radiographic Parameters for Femoroacetabular Impingement in Hip Arthroplasty Patients. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery* 2013;29:1182–1187.
  54. Miguel OF, Cabrita, Henrique Berwanger de Amorim, Rodrigues MB, Croci AT. A comparative radiographic investigation of femoroacetabular impingement in young patients with and without hip pain. *Clinics (Sao Paulo, Brazil)* 2012;67:463–467.
  55. Mast NH, Impellizzeri F, Keller S, Leunig M. Reliability and Agreement of Measures Used in Radiographic Evaluation of the Adult Hip. *Clin Orthop Relat Res* 2011;469:188–199.
  56. Monazzam S, Bomar JD, Cidambi K, Kruk P, Hosalkar H. Lateral Center-edge Angle on Conventional Radiography and Computed Tomography. *Clin Orthop Relat Res* 2013;471:2233–2237.
  57. Lepage-Saucier M, Thiéry C, Larbi A, Lecouvet FE, Vande Berg BC, Omoumi P. Femoroacetabular impingement: Normal values of the quantitative morphometric parameters in asymptomatic hips. *European radiology* 2014;24:1707–1714.
  58. Croft P, Cooper C, Wickham C, Coggon D. Osteoarthritis of the hip and acetabular dysplasia. *Annals of the Rheumatic Diseases* 1991;50:308–310.
  59. Inoue K. Prevalence of hip osteoarthritis and acetabular dysplasia in French and Japanese adults. *Rheumatology* 2000;39:745–748.

60. Dudda M, Kim Y, Zhang Y, Nevitt MC, Xu L, Niu J, et al. Morphologic differences between the hips of Chinese women and white women: could they account for the ethnic difference in the prevalence of hip osteoarthritis? *Arthritis and rheumatism* 2011;63:2992–2999.
61. Daysal GA, Goker B, Gonen E, Demirag MD, Haznedaroglu S, Ozturk MA, et al. The relationship between hip joint space width, center edge angle and acetabular depth. *Osteoarthr. Cartil.* 2007;15:1446–1451.
62. Hoaglund FT, Low WD. Anatomy of the femoral neck and head, with comparative data from Caucasians and Hong Kong Chinese. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 1980:10–16.
63. Tonnis D. Normal values of the hip joint for the evaluation of X-rays in children and adults. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 1976:39–47.
64. Aly AR, Rajasekaran S, Obaid H. MRI morphometric hip comparison analysis of anterior acetabular labral tears. *Skeletal Radiol.* 2013;42:1245–1252.
65. Moulton KM, Aly A, Rajasekaran S, Shepel M, Obaid H. Acetabular anteversion is associated with gluteal tendinopathy at MRI. *Skeletal Radiol.* 2015;44:47–54.
66. Pfirrmann, Christian W. A., Mengiardi B, Dora C, Kalberer F, Zanetti M, Hodler J. Cam and Pincer Femoroacetabular Impingement: Characteristic MR Arthrographic Findings in 50 Patients 1. *Radiology* 2006;240:778–785.
67. Boese CK, Jostmeier J, Oppermann J, Dargel J, Chang D, Eysel P, et al. The neck shaft angle: CT reference values of 800 adult hips. *Skeletal Radiol.* 2015;45:455–463.
68. Boese CK, Dargel J, Oppermann J, Eysel P, Scheyerer MJ, Bredow J, et al. The femoral neck-shaft angle on plain radiographs: a systematic review. *Skeletal Radiol.* 2016;45:19–28.
69. Tönnis D, Heinecke A. Acetabular and femoral anteversion: relationship with osteoarthritis of the hip. *J Bone Joint Surg Am* 1999;81:1747–1770.
70. Lekamwasam S, Lenora J. Age-related trends in hip geometry in Sri Lankan women: a cross-sectional study. *J Bone Miner Metab* 2007;25:431–435.
71. Karasik D, Dupuis J, Cupples LA, Beck TJ, Mahaney MC, Havill LM, et al. Bivariate linkage study of proximal hip geometry and body size indices: the Framingham study. *Calcified tissue international* 2007;81:162–173.
72. Elbuken F, Baykara M, Ozturk C. Standardisation of the neck-shaft angle and measurement of age-, gender- and BMI-related changes in the femoral neck using DXA. *Singapore medical journal* 2012;53:587–590.

73. Massin P, Geais L, Astoin E, Simondi M, Lavaste F. The anatomic basis for the concept of lateralized femoral stems: a frontal plane radiographic study of the proximal femur. *The Journal of arthroplasty* 2000;15:93–101.
74. Lequesne M, Malghem J, Dion E. The normal hip joint space: variations in width, shape, and architecture on 223 pelvic radiographs. *Annals of the Rheumatic Diseases* 2004;63:1145–1151.
75. Dimitriou D, Tsai T, Yue B, Rubash HE, Kwon Y, Li G. Side-to-side variation in normal femoral morphology: 3D CT analysis of 122 femurs. *Orthopaedics & traumatology, surgery & research : OTSR* 2016;102:91–97.
76. Anderson JY, Trinkaus E. Patterns of sexual, bilateral and interpopulational variation in human femoral neck-shaft angles. *Journal of Anatomy* 1998;192:279–285.
77. Boissonneault A, Lynch JA, Wise BL, Segal NA, Gross KD, Murray DW, et al. Association of hip and pelvic geometry with tibiofemoral osteoarthritis: multicenter osteoarthritis study (MOST). *Osteoarthr. Cartil.* 2014;22:1129–1135.
78. Nissen N, Hauge EM, Abrahamsen B, Jensen, J E B, Mosekilde L, Brixen K. Geometry of the proximal femur in relation to age and sex: a cross-sectional study in healthy adult Danes. *Acta radiologica (Stockholm, Sweden : 1987)* 2005;46:514–518.
79. Unnanuntana A, Toogood P, Hart D, Cooperman D, Grant RE. Evaluation of proximal femoral geometry using digital photographs. *Journal of orthopaedic research : official publication of the Orthopaedic Research Society* 2010;28:1399–1404.
80. Mitra A, Khadijeh B, Vida AP, Ali RN, Farzaneh M, Maryam VF, et al. Sexing based on measurements of the femoral head parameters on pelvic radiographs. *Journal of forensic and legal medicine* 2014;23:70–75.
81. Doherty M, Courtney P, Doherty S, Jenkins W, Maciewicz RA, Muir K, et al. Nonspherical femoral head shape (pistol grip deformity), neck shaft angle, and risk of hip osteoarthritis: A case-control study. *Arthritis Rheum* 2008;58:3172–3182.
82. Gilligan I, Chandraphak S, Mahakkanukrauh P. Femoral neck-shaft angle in humans: variation relating to climate, clothing, lifestyle, sex, age and side. *Journal of Anatomy* 2013;223:133–151.
83. Iyem C, Guvencer M, Karatosun V, Unver B. Morphometric evaluation of proximal femur in patients with unilateral total hip prosthesis. *Clinical anatomy (New York, N.Y.)* 2014;27:478–488.
84. Umebese, Philip F A, Adeyekun A, Moin M. Radiological assessment of femoral neck-shaft and anteversion angles in adult Nigerian HIPS. *The Nigerian postgraduate medical journal* 2005;12:106–109.

85. Gnudi S, Ripamonti C, Gualtieri G, Malavolta N. Geometry of proximal femur in the prediction of hip fracture in osteoporotic women. *The British journal of radiology* 1999;72:729–733.
86. Kim S, Lim Y, Kwon S, Lee J, Park I, Kim Y. Comparative Analysis of Radiographic Hip Joint Geometry Using Measurement Tools on Picture Archiving and Communication System: A Prospective Study of 100 Pelvic Radiographs of Koreans. *The Journal of arthroplasty* 2016;31:2597–2602.
87. Calis HT, Eryavuz M, Calis M. Comparison of femoral geometry among cases with and without hip fractures. *Yonsei medical journal* 2004;45:901–907.
88. Isaac B, Vettivel S, Prasad R, Jeyaseelan L, Chandi G. Prediction of the femoral neck-shaft angle from the length of the femoral neck. *Clinical anatomy (New York, N.Y.)* 1997;10:318–323.
89. Nissen N, Madsen JS, Bladbjerg EM, Beck Jensen JE, Jorgensen NR, Langdahl B, et al. No association between hip geometry and four common polymorphisms associated with fracture: the Danish osteoporosis prevention study. *Calcified tissue international* 2009;84:276–285.
90. Ripamonti C, Lisi L, Avella M. Femoral neck shaft angle width is associated with hip-fracture risk in males but not independently of femoral neck bone density. *The British journal of radiology* 2014;87:1–5.
91. Saikia KC, Bhuyan SK, Rongphar R. Anthropometric study of the hip joint in northeastern region population with computed tomography scan. *Indian journal of orthopaedics* 2008;42:260–266.
92. Nelson DA, Beck TJ, Wu G, Lewis CE, Bassford T, Cauley JA, et al. Ethnic differences in femur geometry in the women's health initiative observational study. *Osteoporosis international : a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA* 2011;22:1377–1388.
93. Mikhail MB, Vaswani AN, Aloia JF. Racial differences in femoral dimensions and their relation to hip fracture. *Osteoporosis international : a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA* 1996;6:22–24.
94. Hartofilakidis G, Bardakos NV, Babis GC, Georgiades G. An examination of the association between different morphotypes of femoroacetabular impingement in asymptomatic subjects and the development of osteoarthritis of the hip. *J Bone Joint Surg Br* 2011;93:580–586.

95. Bardakos NV, Villar RN. Predictors of progression of osteoarthritis in femoroacetabular impingement: a radiological study with a minimum of ten years follow-up. *J Bone Joint Surg Br* 2009;91:162–169.
96. Lee D, Jung KY, Hong AR, Kim JH, Kim KM, Shin CS, et al. Femoral geometry, bone mineral density, and the risk of hip fracture in premenopausal women: a case control study. *BMC musculoskeletal disorders* 2016;17:1–6.
97. Brownbill RA, Ilich JZ. Hip geometry and its role in fracture: what do we know so far? *Current osteoporosis reports* 2003;1:25–31.
98. Gnudi S, Sitta E, Pignotti E. Prediction of incident hip fracture by femoral neck bone mineral density and neck-shaft angle: a 5-year longitudinal study in post-menopausal females. *The British journal of radiology* 2012;85:e467-e473.
99. Kaptoge S, Beck TJ, Reeve J, Stone KL, Hillier TA, Cauley JA, et al. Prediction of incident hip fracture risk by femur geometry variables measured by hip structural analysis in the study of osteoporotic fractures. *Journal of bone and mineral research : the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research* 2008;23:1892–1904.
100. Alonso CG, Curiel MD, Carranza FH, Cano RP, Perez AD. Femoral bone mineral density, neck-shaft angle and mean femoral neck width as predictors of hip fracture in men and women. *Multicenter Project for Research in Osteoporosis. Osteoporosis international : a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA* 2000;11:714–720.
101. Ito M, Wakao N, Hida T, Matsui Y, Abe Y, Aoyagi K, et al. Analysis of hip geometry by clinical CT for the assessment of hip fracture risk in elderly Japanese women. *Bone* 2010;46:453–457.
102. Maeda Y, Sugano N, Saito M, Yonenobu K. Comparison of femoral morphology and bone mineral density between femoral neck fractures and trochanteric fractures. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 2011;469:884–889.
103. Ng KCG, Lamontagne M, Adamczyk AP, Rakhra KS, Rakhra KS, Beaulé PE. Patient-specific anatomical and functional parameters provide new insights into the pathomechanism of cam FAI. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 2015;473:1289–1296.
104. Nötzli HP, Wyss TF, Stoecklin CH, Schmid MR, Treiber K, Hodler J. The contour of the femoral head-neck junction as a predictor for the risk of anterior impingement. *The Journal of Bone and Joint Surgery* 2002;84:556–560.

105. Beaulé PE, Zaragoza E, Motamedi K, Copelan N, Dorey F. Three-dimensional computed tomography of the hip in the assessment of femoroacetabular impingement. *Journal of Orthopaedic Research* 2005;23:1286–1292.
106. Kumar R, Aggarwal A. Femoroacetabular impingement and risk factors: a study of 50 cases. *Orthopaedic Surgery* 2011;3:236–241.
107. Toogood PA, Skalak A, Cooperman DR. Proximal Femoral Anatomy in the Normal Human Population. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 2009;467:876–885.
108. Clohisy JC, Nunley RM, Otto RJ, Schoenecker PL. The Frog-leg Lateral Radiograph Accurately Visualized Hip Cam Impingement Abnormalities. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 2007;462:115–121.
109. Bixby SD, Kienle K, Nasreddine A, Zurakowski D, Kim Y, Yen Y. Reference values for proximal femoral anatomy in adolescents based on sex, physis, and imaging plane. *The American Journal of Sports Medicine* 2013;41:2074–2082.
110. Hack K, Di Primio G, Rakhra K, Beaulé PE. Prevalence of cam-type femoroacetabular impingement morphology in asymptomatic volunteers. *J Bone Joint Surg Am* 2010;92:2436–2444.
111. Sutter R, Dietrich TJ, Zingg PO, Pfirrmann CW. How Useful Is the Alpha Angle for Discriminating between Symptomatic Patients with Cam-type Femoroacetabular Impingement and Asymptomatic Volunteers? *Radiology* 2012;264:514–521.
112. Chakraverty JK, Sullivan C, Gan C, Narayanaswamy S, Kamath S. Cam and Pincer Femoroacetabular Impingement: CT Findings of Features Resembling Femoroacetabular Impingement in a Young Population Without Symptoms. *American Journal of Roentgenology* 2013;200:389–395.
113. Rakhra KS, Sheikh AM, Allen D, Beaulé PE. Comparison of MRI Alpha Angle Measurement Planes in Femoroacetabular Impingement. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 2009;467:660–665.
114. Joo JH, Lee SC, Ahn HS, Park JS, Lee WJ, Am Jung K. Evaluation of the alpha angle in asymptomatic adult hip joints: analysis of 994 hips. *Hip Int* 2013;23:395–399.
115. Kumar R, Aggarwal A, Krishnan V, Gopinathan N, Chakraborty S. Femoroacetabular impingement and comparison of radiological indexes: a study on 50 cases. *Musculoskeletal Surg* 2013;97:153–158.
116. Meyer DC, Beck M, Ellis T, Ganz R, Leunig M. Comparison of six radiographic projections to assess femoral head/neck asphericity. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 2006;445:181–185.

117. Gosvig KK, Jacobsen S, Palm H, Sonne-Holm S, Magnusson E. A new radiological index for assessing asphericity of the femoral head in cam impingement. *J Bone Joint Surg Br* 2007;89:1309–1316.
118. Pollard TCB, Villar RN, Norton MR, Fern ED, Williams MR, Simpson DJ, et al. Femoroacetabular impingement and classification of the cam deformity: the reference interval in normal hips. *Acta Orthop* 2010;81:134–141.
119. Agricola R, Waarsing JH, Thomas GE, Carr AJ, Reijman M, Bierma-Zeinstra SMA, et al. Cam impingement: defining the presence of a cam deformity by the alpha angle: data from the CHECK cohort and Chingford cohort. *Osteoarthr. Cartil.* 2014;22:218–225.
120. Bouma H, Slot N, Toogood P, Pollard T, van Kampen P, Hogervorst T. Where is the neck? Alpha angle measurement revisited. *Acta Orthop* 2014;85:147–151.
121. Fraitzl CR, Kappe T, Pennekamp F, Reichel H, Billich C. Femoral head-neck offset measurements in 339 subjects: distribution and implications for femoroacetabular impingement. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2013;21:1212–1217.
122. Laborie LB, Lehmann TG, Engesæter IØ, Sera F, Engesæter LB, Rosendahl K. The alpha angle in cam-type femoroacetabular impingement: new reference intervals based on 2038 healthy young adults. *Bone Joint J* 2014;96-B:449–454.
123. Frank JM, Harris JD, Erickson BJ, Slikker W, Bush-Joseph CA, Salata MJ, et al. Prevalence of Femoroacetabular Impingement Imaging Findings in Asymptomatic Volunteers: A Systematic Review. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery* 2015;31:1199–1204.
124. Gosvig KK, Jacobsen S, Sonne-Holm S, Gebuhr P. The Prevalence of Cam-Type Deformity of the Hip Joint: A Survey of 4151 Subjects of the Copenhagen Osteoarthritis Study. *Acta Radiol* 2008;49:436–441.
125. Allen D, Beaulé PE, Ramadan O, Doucette S. Prevalence of associated deformities and hip pain in patients with cam-type femoroacetabular impingement. *J Bone Joint Surg Br* 2009;91:589–594.
126. Duncan ST, Bogunovic L, Baca G, Schoenecker PL, Clohisy JC. Are there sex-dependent differences in acetabular dysplasia characteristics? *Clin. Orthop. Relat. Res.* 2015;473:1432–1439.
127. Jung KA, Restrepo C, Hellman M, AbdelSalam H, Morrison W, Parvizi J. The prevalence of cam-type femoroacetabular deformity in asymptomatic adults. *J Bone Joint Surg Br* 2011;93:1303–1307.
128. Kang, A. C. L., Gooding AJ, Coates MH, Goh TD, Armour P, Rietveld J. Computed Tomography Assessment of Hip Joints in Asymptomatic Individuals in Relation to

- Femoroacetabular Impingement. *The American Journal of Sports Medicine* 2010;38:1160–1165.
129. Gerhardt MB, Romero AA, Silvers HJ, Harris DJ, Watanabe D, Mandelbaum BR. The prevalence of radiographic hip abnormalities in elite soccer players. *The American Journal of Sports Medicine* 2012;40:584–588.
  130. Philippon MJ, Ho CP, Briggs KK, Stull J, LaPrade RF. Prevalence of increased alpha angles as a measure of cam-type femoroacetabular impingement in youth ice hockey players. *The American Journal of Sports Medicine* 2013;41:1357–1362.
  131. Siebenrock KA, Kaschka I, Frauchiger L, Werlen S, Schwab JM. Prevalence of cam-type deformity and hip pain in elite ice hockey players before and after the end of growth. *The American Journal of Sports Medicine* 2013;41:2308–2313.
  132. Clohisy JC, Baca G, Beaulé PE, Kim Y, Larson CM, Millis MB, et al. Descriptive epidemiology of femoroacetabular impingement: a North American cohort of patients undergoing surgery. *The American Journal of Sports Medicine* 2013;41:1348–1356.
  133. Tsitskaris K, Sharif K, Meacock LM, Bansal M, Ayis S, Li PLS, et al. The prevalence of cam-type femoroacetabular morphology in young adults and its effect on functional hip scores. *Hip Int* 2012;22:68–74.
  134. Omoumi P, Thiery C, Michoux N, Malghem J, Lecouvet FE, Vande Berg BC. Anatomic features associated with femoroacetabular impingement are equally common in hips of old and young asymptomatic individuals without CT signs of osteoarthritis. *AJR Am J Roentgenol* 2014;202:1078–1086.
  135. Nelson AE, Stiller JL, Shi XA, Leyland KM, Renner JB, Schwartz TA, et al. Measures of Hip Morphology are Related to Development of Worsening Radiographic Hip Osteoarthritis Over 6 to 13 Year Follow-Up: The Johnston County Osteoarthritis Project. *Osteoarthritis and Cartilage* 2016;24:443–450.
  136. Mosler AB, Crossley KM, Waarsing JH, Jomaah N, Weir A, Holmich P, et al. Ethnic Differences in Bony Hip Morphology in a Cohort of 445 Professional Male Soccer Players. *The American Journal of Sports Medicine* 2016:1–7.
  137. Castano-Betancourt MC, Van Meurs, J B J, Bierma-Zeinstra S, Rivadeneira F, Hofman A, Weinans H, et al. The contribution of hip geometry to the prediction of hip osteoarthritis. *Osteoarthr. Cartil.* 2013;21:1530–1536.
  138. Mose K. Methods of measuring in Legg-Calve-Perthes disease with special regard to the prognosis. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 1980:103–109.
  139. Murphy SB, Kijewski PK, Millis MB, Harless A. Acetabular dysplasia in the adolescent and young adult. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 1990:214–223.

140. Giroux CL, Wescott DJ. Stature estimation based on dimensions of the bony pelvis and proximal femur. *Journal of forensic sciences* 2008;53:65–68.
141. Young EY, Gebhart J, Cooperman D, Ahn NU. Are the left and right proximal femurs symmetric? *Clin. Orthop. Relat. Res.* 2013;471:1593–1601.
142. Lee CK, Kwan MK, Merican AM, Ng WM, Saw LB, Teh KK, et al. Femoral head diameter in the Malaysian population. *Singapore medical journal* 2014;55:436–438.
143. Cho H, Kwak D, Kim I. Morphometric Evaluation of Korean Femurs by Geometric Computation: Comparisons of the Sex and the Population. *BioMed research international* 2015;2015:1–9.
144. Wang S, Xiong J, Zhan C, Wang A, Chen Y, Jiang Q, et al. The anatomy of proximal femoral autografts for pelvic reconstruction: a cadaveric study. *Surgical and radiologic anatomy : SRA* 2012;34:305–309.
145. Noble PC, Alexander JW, Lindahl LJ, Yew DT, Granberry WM, Tullos HS. The anatomic basis of femoral component design. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 1988:148–165.
146. Rubin PJ, Leyvraz PF, Aubaniac JM, Argenson JN, Esteve P, Roguin B de. The morphology of the proximal femur. A three-dimensional radiographic analysis. *J Bone Joint Surg Br* 1992;74:28–32.
147. Atilla B, Oznur A, Caglar O, Tokgozoglu M, Alpaslan M. Osteometry of the femora in Turkish individuals: a morphometric study in 114 cadaveric femora as an anatomic basis of femoral component design. *Acta orthopaedica et traumatologica turcica* 2007;41:64–68.
148. Gill GW. Racial variation in the proximal and distal femur: heritability and forensic utility. *Journal of forensic sciences* 2001;46:791–799.
149. Mahaisavariya B, Sitthiseriratip K, Tongdee T, Bohez, Erik L J, Vander Sloten J, Oris P. Morphological study of the proximal femur: a new method of geometrical assessment using 3-dimensional reverse engineering. *Medical engineering & physics* 2002;24:617–622.
150. Saengnipanthkul S, Techasatien W. Femoral head-neck diameter and ratio in Thais: a cadaveric study. *Journal of the Medical Association of Thailand = Chotmai het thangphaet* 2012;95:790–794.
151. Hergan K, Oser W, Moriggl B. Acetabular ossicles: normal variant or disease entity? *European radiology* 2000;10:624–628.
152. Klaue K, Durnin CW, Ganz R. The acetabular rim syndrome. A clinical presentation of dysplasia of the hip. *J Bone Joint Surg Br* 1991;73:423–429.

153. Waschulewski H. Über acetabuläre Ossifikationszentren und periartikuläre Verkalkungen bzw. Verknöcherungen, ihre Entstehung und ihre Bedeutung. Arch orthop Unfall-Chir (Archiv für Orthopädische und Unfall-Chirurgie) 1967;62:273–290.
154. Martinez AE, Li SM, Ganz R, Beck M. Os acetabuli in femoro-acetabular impingement: stress fracture or unfused secondary ossification centre of the acetabular rim? Hip Int 2006;16:281–286.
155. Jacobsen S, Romer L, Soballe K. Degeneration in dysplastic hips. A computer tomography study. Skeletal Radiol. 2005;34:778–784.
156. Troelsen A, Elmengaard B, Soballe K. Medium-term outcome of periacetabular osteotomy and predictors of conversion to total hip replacement. J Bone Joint Surg Am 2009;91:2169–2179.
157. Larson CM, Stone RM. The rarely encountered rim fracture that contributes to both femoroacetabular impingement and hip stability: a report of 2 cases of arthroscopic partial excision and internal fixation. Arthroscopy : the journal of arthroscopic & related surgery : official publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association 2011;27:1018–1022.
158. Leunig M, Ganz R. Femoroacetabuläres Impingement. Unfallchirurg 2005;108:9–17.
159. Rafols C, Monckeberg JE, Numair J. Unusual bilateral rim fracture in femoroacetabular impingement. Case reports in orthopedics 2015;2015:1–4.
160. Jackson TJ, Stake CE, Stone JC, Lindner D, El Bitar YF, Domb BG. Radiographic, histologic, and arthroscopic findings in amorphous calcifications of the hip labrum. Arthroscopy : the journal of arthroscopic & related surgery : official publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association 2014;30:456–461.
161. Kassarian A, Yoon LS, Belzile E, Connolly SA, Millis MB, Palmer WE. Triad of MR arthrographic findings in patients with cam-type femoroacetabular impingement. Radiology 2005;236:588–592.
162. John U, Greiner B, Hensel E, Lüdemann J, Piek M, Sauer S. Study of Health in Pomerania (SHIP): A health examination survey in an east German region: Objectives and design. Soz Präventivmed. 2001;46:186–194.
163. Völzke H, Alte D, Schmidt CO, Radke D, Lorbeer R, Friedrich N, et al. Cohort profile: the study of health in Pomerania. International journal of epidemiology 2011;40:294–307.

164. Völzke H. Study of Health in Pomerania (SHIP). Konzept, Kohortendesign und ausgewählte Ergebnisse. Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz 2012;55:790–794.
165. Janowitz D, Schwahn C, Borchardt U, Wittfeld K, Schulz A, Barnow S, et al. Genetic, psychosocial and clinical factors associated with hippocampal volume in the general population. Translational psychiatry 2014;4:1–10.
166. Hegenscheid K, Kühn JP, Völzke H, Biffar R, Hosten N, Puls R. Whole-body magnetic resonance imaging of healthy volunteers: pilot study results from the population-based SHIP study. RöFo : Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen und der Nuklearmedizin 2009;181:748–759.
167. Steppacher SD, Tannast M, Werlen S, Siebenrock KA. Femoral Morphology Differs Between Deficient and Excessive Acetabular Coverage. Clin. Orthop. Relat. Res. 2008;466:782–790.
168. Aprato A, Masse A, Faletti C, Valente A, Atzori F, Stratta M, et al. Magnetic resonance arthrography for femoroacetabular impingement surgery: is it reliable? Journal of orthopaedics and traumatology : official journal of the Italian Society of Orthopaedics and Traumatology 2013;14:201–206.
169. Young EY, Gebhart JJ, Bajwa N, Cooperman DR, Ahn NU. Femoral head asymmetry and coxa magna: anatomic study. Journal of pediatric orthopedics 2014;34:415–420.
170. Steppacher SD, Zurmühle CA, Puls M, Siebenrock KA, Millis MB, Kim Y, et al. Periacetabular osteotomy restores the typically excessive range of motion in dysplastic hips with a spherical head. Clin. Orthop. Relat. Res. 2015;473:1404–1416.
171. Miyasaka D, Ito T, Imai N, Suda K, Minato I, Dohmae Y, et al. Three-dimensional Assessment of Femoral Head Coverage in Normal and Dysplastic Hips: A Novel Method. Acta medica Okayama 2014;68:277–284.
172. Bagaria V, Deshpande S, Kuthe A, Rasalkar DD, Paunipagar BK, Madhugiri TS. Radiographic study of the hip joint to determine anthropometric parameters for Indian population. European journal of radiology 2012;81:312–316.
173. Lequesne M, Lemoine A, Massare C. Le "complet" radiographique coxofémoral: Dépistage et bilan préopératoire des vices architecturaux de la hanche. Journal de radiologie, d'electrologie, et de medecine nucleaire 1964;45:27–44.
174. Tönnis D, Legal H. Die angeborene Hüft dysplasie und Hüftluxation im Kindes- und Erwachsenenalter: Grundlagen, Diagnostik, konservative und operative Behandlung. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 1984.

175. Reikeras O, Høiseth A, Regstad A, Fönstelién E. Femoral Neck Angles: A Specimen Study with Special Regard to Bilateral Differences. *Acta Orthopaedica Scandinavica* 1982;53:775–779.
176. Bendaya S, Lazennec JY, Anglin C, Allena R, Sellam N, Thoumie P, et al. Healthy vs. osteoarthritic hips: a comparison of hip, pelvis and femoral parameters and relationships using the EOS(R) system. *Clinical biomechanics (Bristol, Avon)* 2015;30:195–204.
177. Ollivier M, Parratte S, Le Corroller T, Lecorroller T, Reggiori A, Champsaur P, et al. Anatomy of the proximal femur at the time of total hip arthroplasty is a matter of morphotype and etiology but not gender. *Surgical and radiologic anatomy : SRA* 2015;37:377–384.
178. Goker B, Sancak A, Arac M, Shott S, Block JA. The radiographic joint space width in clinically normal hips: effects of age, gender and physical parameters. *Osteoarthr. Cartil.* 2003;11:328–334.
179. Sproul RC, Reynolds HM, Lotz JC, Ries MD. Relationship between femoral head size and distance to lesser trochanter. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 2007;461:122–124.
180. Umer M, Sepah YJ, Khan A, Wazir A, Ahmed M, Jawad MU. Morphology of the proximal femur in a Pakistani population. *Journal of orthopaedic surgery (Hong Kong)* 2010;18:279–281.
181. Sen RK, Tripathy SK, Kumar R, Kumar A, Dhatt S, Dhillon MS, et al. Proximal femoral medullary canal diameters in Indians: correlation between anatomic, radiographic, and computed tomographic measurements. *Journal of orthopaedic surgery (Hong Kong)* 2010;18:189–194.
182. Unnanuntana A, Toogood P, Hart D, Cooperman D, Grant RE. The evaluation of two references for restoring proximal femoral anatomy during total hip arthroplasty. *Clinical anatomy (New York, N.Y.)* 2010;23:312–318.

## Abbildungsverzeichnis

|          |  |    |
|----------|--|----|
| Abb. 1:  | Center-Edge-Winkel nach Wiberg, Schematische Darstellung   | 37 |
| Abb. 2:  | Centrum-Collum-Diaphysen-Winkel, Schematische Darstellung  | 38 |
| Abb. 3:  | Alpha-Winkel nach Nötzli bei normalem (links) und pathologischem (rechts) Kopf-Hals-Übergang, Schematische Darstellung | 39 |
| Abb. 4:  | Modifizierter Alpha-Winkel nach Gosvig, Schematische Darstellung   | 40 |
| Abb. 5:  | Triangulärer Index nach Gosvig, Schematische Darstellung   | 41 |
| Abb. 6:  | Femurkopfdurchmesser, Schematische Darstellung   | 42 |
| Abb. 7:  | Os acetabuli, Schematische Darstellung   | 43 |
| Abb. 8:  | Ermittlung der coronalen Messebene mit Überprüfung in der axialen Ebene  | 44 |
| Abb. 9:  | Kreise zur Ermittlung des CCD  | 44 |
| Abb. 10: | Ermittlung der Länge des TI  | 45 |
| Abb. 11: | Setzen des Punktes an dem die Femurkopfsphärizität überschritten wird  | 46 |
| Abb. 12: | Setzen des Punktes am lateralen Acetabulumrand zur CE Bestimmung   | 47 |
| Abb. 13: | Übersichtsbild nach Abschluss der Messungen  | 48 |
| Abb. 14: | Bland-Altman-Plot für CE rechts, Rater 1 vs. Rater 2   | 51 |
| Abb. 15: | Regressionsanalyse zum Zusammenhang von Winkel und Alter   | 61 |
| Abb. 16: | Regressionsanalyse zum Zusammenhang von Femurkopfdurchmesser (HD) bzw. Triangulärem Index (TI) und Alter               | 62 |
| Abb. 17: | Alpha-Winkel-Regressionsanalyse für die Interaktion von Alter und Geschlecht   | 63 |
| Abb. 18: | Regressionsanalyse zum Zusammenhang von Winkel und BMI   | 64 |
| Abb. 19: | Regressionsanalyse zum Zusammenhang von Femurkopfdurchmesser (HD) bzw. Triangulärem Index (TI) und BMI                 | 65 |
| Abb. 20: | Regressionsanalyse zum Zusammenhang von Winkel und Körpergewicht   | 67 |
| Abb. 21: | Regressionsanalyse zum Zusammenhang von Femurkopfdurchmesser (HD) bzw. Triangulärem Index (TI) und Körpergewicht       | 68 |
| Abb. 22: | Regressionsanalyse zum Zusammenhang von Winkel und Körpergröße   | 69 |
| Abb. 23: | Regressionsanalyse zum Zusammenhang von Femurkopfdurchmesser (HD) bzw. Triangulärem Index (TI) und Körpergröße         | 70 |
| Abb. 24: | Regressionsanalyse zum Zusammenhang von Winkel und Taillenumfang   | 71 |
| Abb. 25: | Regressionsanalyse zum Zusammenhang von Femurkopfdurchmesser (HD) bzw. Triangulärem Index (TI) und Taillenumfang       | 72 |

|          |   |    |
|----------|---|----|
| Abb. 26: | Alter und geschlechtsabhängige Referenzwerte des CE   | 76 |
| Abb. 27: | Alter und geschlechtsabhängige Referenzwerte des CCD  | 77 |
| Abb. 28  | Alter und geschlechtsabhängige Referenzwerte des AA   | 78 |
| Abb. 29: | Darstellung von publizierten und eigenen Ergebnissen zum CE                                 | 87 |
| Abb. 30: | Darstellung von publizierten und eigenen Ergebnissen zum CE getrennt nach<br>Geschlechtern  | 88 |
| Abb. 31: | Darstellung von publizierten und eigenen Ergebnissen zum CCD                                | 91 |
| Abb. 32: | Darstellung von publizierten und eigenen Ergebnissen zum CCD getrennt nach<br>Geschlechtern | 92 |
| Abb. 33: | Darstellung von publizierten und eigenen Ergebnissen zum AA                                 | 95 |
| Abb. 34: | Darstellung von publizierten und eigenen Ergebnissen zum AA getrennt nach<br>Geschlechtern  | 96 |

## Tabellenverzeichnis

|             |  |        |
|-------------|--|--------|
| Tabelle 1:  | Demographische und anamnestische Daten   | 53     |
| Tabelle 2:  | Gelenkstatus und Erkrankungen  | 54     |
| Tabelle 3:  | Center-Edge-Winkel (CE) [Grad] <sup>#</sup>  | 55     |
| Tabelle 4:  | Centrum-Collum-Diaphysen-Winkel (CCD) [Grad] <sup>#</sup>  | 56     |
| Tabelle 5:  | Alpha-Winkel (AA) [Grad] <sup>#</sup>  | 56     |
| Tabelle 6:  | Triangulärer Index (TI) [mm] <sup>#</sup>  | 57     |
| Tabelle 7:  | Femurkopfdurchmesser (HD) [mm] <sup>#</sup>  | 57     |
| Tabelle 8:  | Os acetabuli   | 58     |
| Tabelle 9:  | Korrelation der rechten und linken Hüftparameter (n = 3.226)   | 59     |
| Tabelle 10: | Regressionsanalyse – Einflussfaktor Geschlecht (Frauen) auf die gemittelten Hüftparameter (n = 3.226)                | 60     |
| Tabelle 11: | Regressionsanalyse – Vergleich der gemittelten Hüftparameter bei den BMI-Gruppen (n = 3.226)                         | 66     |
| Tabelle 12: | Regressionsanalyse – Beziehung zwischen den gemittelten Hüftparameter (n = 3.226)                                    | 74     |
| Tabelle 13: | Abgeleitete Normbereiche der gemessenen Hüftparameter  | 75     |
| Tabelle 14: | Prävalenzen pathologischer Winkelwerte – Prävalenzen nach verschiedenen Schwellenwerten (n = 6.452)                  | 79     |
| Tabelle 15: | Überblick zum Zusammenhang zwischen den Messdaten und möglichen Einflussfaktoren                                     | 80     |
| Tabelle 16: | Aus dem Regressionsmodell vorhergesagte mittlere Hüftparameter für verschiedene Alterslevel (n = 3.226)              | XXVII  |
| Tabelle 17: | Aus dem Regressionsmodell vorhergesagte mittlere Hüftparameter für verschiedene BMI-Level (n = 3.226)                | XXVII  |
| Tabelle 18: | Aus dem Regressionsmodell vorhergesagte mittlere Hüftparameter für verschiedene Körpergewichte (n = 3.226)           | XXVIII |
| Tabelle 19: | Aus dem Regressionsmodell vorhergesagte mittlere Hüftparameter für verschiedene Körpergrößen (n = 3.226)             | XXVIII |
| Tabelle 20: | Aus dem Regressionsmodell vorhergesagte mittlere Hüftparameter für verschiedene Level des Taillenumfangs (n = 3.226) | XXIX   |
| Tabelle 21: | Studien zum CE bei gesunden Probanden  | XXX    |
| Tabelle 22: | Studien zum CE bei symptomatischen Probanden   | XXXIII |
|             |  | XXV    |

|             |   |        |
|-------------|---|--------|
| Tabelle 23: | Studien zum CCD bei gesunden Probanden        | XXXIV  |
| Tabelle 24: | Studien zum CCD bei symptomatischen Probanden | XXXVI  |
| Tabelle 25: | Studien zum AA bei gesunden Probanden         | XXXVII |
| Tabelle 26: | Studien zum AA bei symptomatischen Probanden  | XL     |
| Tabelle 27: | Studien zum TI bei asymptomatischen Probanden | XLI    |
| Tabelle 28: | Studien zum TI bei symptomatischen Probanden  | XLI    |
| Tabelle 29: | Studien zum HD                                | XLIII  |

## Anhang

**Tabelle 16: Aus dem Regressionsmodell vorhergesagte mittlere Hüftparameter für verschiedene Alterslevel (n = 3.226)**

| Parameter             | Alter [Jahre] – Mittelwert und 95%-KI |               |               |               |               |               |               |
|-----------------------|---------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|                       | 20                                    | 30            | 40            | 50            | 60            | 70            | 80            |
| <b>CE [Grad]</b>      | 21,8                                  | 25,9          | 28,8          | 31,0          | 32,8          | 34,4          | 35,7          |
| <b>(p &lt; 0,001)</b> | 21,1 – 22,6                           | 25,4 – 26,6   | 28,5 – 29,1   | 30,8 – 31,2   | 32,6 – 33,1   | 34,1 – 34,7   | 35,3 – 36,1   |
| <b>CCD [Grad]</b>     | 131,3                                 | 130,0         | 128,6         | 127,3         | 125,9         | 124,5         | 123,2         |
| <b>(p &lt; 0,001)</b> | 130,8 – 131,9                         | 129,5 – 130,4 | 128,3 – 128,9 | 127,0 – 127,5 | 126,7 – 126,  | 124,2 – 124,9 | 122,7 – 123,7 |
| <b>AA [Grad]</b>      | 53,5                                  | 53,8          | 54,1          | 54,4          | 54,7          | 55,1          | 55,4          |
| <b>(p = 0,002)</b>    | 52,7 – 54,2                           | 53,2 – 54,3   | 53,7 – 54,5   | 54,1 – 54,7   | 54,2 – 55,1   | 54,6 – 55,5   | 54,8 – 56,1   |
| <b>TI [mm]</b>        | -2,20                                 | -2,23         | -2,25         | -2,28         | -2,31         | -2,33         | -2,36         |
| <b>(p = 0,001)</b>    | -2,26 – -2,14                         | -2,27 – -2,18 | -2,28 – -2,22 | -2,30 – -2,26 | -2,33 – -2,28 | -2,37 – -2,30 | -2,41 – -2,31 |
| <b>HD [mm]</b>        | 44,3                                  | 44,3          | 44,4          | 44,5          | 44,6          | 44,9          | 45,2          |
| <b>(p = 0,001)</b>    | 44,0 – 44,5                           | 44,1 – 44,5   | 44,2 – 44,5   | 44,3 – 44,6   | 44,5 – 44,8   | 44,7 – 45,1   | 44,8 – 45,6   |

**Tabelle 17: Aus dem Regressionsmodell vorhergesagte mittlere Hüftparameter für verschiedene BMI-Level (n = 3.226)**

| Parameter             | BMI [kg/m <sup>2</sup> ] – Mittelwert und 95%-KI |               |               |               |
|-----------------------|--|---------------|---------------|---------------|
|                       | 20   | 25            | 30            | 35            |
| <b>CE [Grad]</b>      | 31,7   | 31,3          | 30,5          | 29,1          |
| <b>(p &lt; 0,001)</b> | 31,4 – 32,1                                      | 31,0 – 31,5   | 30,2 – 30,9   | 28,1 – 30,0   |
| <b>CCD [Grad]</b>     | 126,2  | 126,6         | 127,1         | 128,2         |
| <b>(p &lt; 0,001)</b> | 125,8 – 126,6                                    | 126,3 – 126,8 | 126,9 – 127,4 | 127,6 – 128,8 |
| <b>AA [Grad]</b>      | 55,6   | 55,1          | 54,1          | 52,4          |
| <b>(p &lt; 0,001)</b> | 55,2 – 56,1                                      | 54,7 – 55,4   | 53,8 – 54,4   | 51,7 – 53,2   |
| <b>TI [mm]</b>        | -2,17  | -2,27         | -2,32         | -2,35         |
| <b>(p &lt; 0,001)</b> | -2,23 – -2,11                                    | -2,29 – -2,24 | -2,35 – -2,29 | -2,39 – -2,31 |
| <b>HD [mm]</b>        | 45,5   | 45,0          | 44,3          | 43,0          |
| <b>(p &lt; 0,001)</b> | 45,2 – 45,7                                      | 44,8 – 45,2   | 44,1 – 44,4   | 42,6 – 43,3   |

**Tabelle 18: Aus dem Regressionsmodell vorhergesagte mittlere Hüftparameter für verschiedene Körpergewichte (n = 3.226)**

| Parameter   | Körpergewicht [kg] – Mittelwert und 95%-KI |               |               |               |
|-------------|--|---------------|---------------|---------------|
|             | 50   | 70            | 90            | 110           |
| CE [Grad]   | 31,5                                       | 31,3          | 31,0          | 30,8          |
| (p = 0,125) | 31,0 – 32,0                                | 31,0 – 31,5   | 30,7 – 31,7   | 30,2 – 31,3   |
| CCD [Grad]  | 127,2                                      | 127,0         | 126,8         | 126,6         |
| (p = 0,201) | 126,7 – 127,7                              | 126,7 – 127,3 | 126,5 – 127,1 | 126,1 – 127,1 |
| AA [Grad]   | 57,3                                       | 56,5          | 55,0          | 51,6          |
| (p < 0,001) | 56,8 – 57,8                                | 56,1 – 56,9   | 54,7 – 55,2   | 51,1 – 52,1   |
| TI [mm]     | -1,95                                      | -2,22         | -2,37         | -2,47         |
| (p < 0,001) | -2,02 – -1,88                              | -2,25 – -2,20 | -2,40 – -2,34 | -2,51 – -2,43 |
| HD [mm]     | 48,9                                       | 47,2          | 44,8          | 41,4          |
| (p < 0,001) | 48,6 – 49,1                                | 47,0 – 47,3   | 44,7 – 44,9   | 41,2 – 41,6   |

**Tabelle 19: Aus dem Regressionsmodell vorhergesagte mittlere Hüftparameter für verschiedene Körpergrößen (n = 3.226)**

| Parameter   | Körpergröße [cm] – Mittelwert und 95%-KI |               |               |               |
|-------------|--|---------------|---------------|---------------|
|             | 160                                      | 170           | 180           | 190           |
| CE [Grad]   | 32,3                                     | 31,1          | 30,0          | 28,9          |
| (p < 0,001) | 31,9 – 32,6                              | 30,9 – 31,4   | 29,7 – 30,4   | 28,3 – 29,5   |
| CCD [Grad]  | 126,5                                    | 126,9         | 127,3         | 127,6         |
| (p = 0,004) | 126,2 – 126,9                            | 126,7 – 127,1 | 126,9 – 127,6 | 127,1 – 128,2 |
| AA [Grad]   | 52,0                                     | 54,4          | 56,9          | 59,4          |
| (p < 0,001) | 51,6 – 52,4                              | 54,2 – 54,7   | 56,1 – 57,3   | 58,7 – 60,0   |
| TI [mm]     | -2,11                                    | -2,28         | -2,46         | -2,63         |
| (p < 0,001) | -2,14 – -2,08                            | -2,31 – -2,26 | -2,49 – -2,42 | -2,68 – -2,57 |
| HD [mm]     | 41,2                                     | 44,5          | 47,8          | 51,1          |
| (p < 0,001) | 41,0 – 41,3                              | 44,4 – 44,6   | 47,7 – 47,9   | 50,9 – 51,3   |

**Tabelle 20: Aus dem Regressionsmodell vorhergesagte mittlere Hüftparameter für verschiedene Level des Taillenumfangs (n = 3.226)**

| Parameter             | Taillenumfang [cm] – Mittelwert und 95%-KI |               |               |               |
|-----------------------|--|---------------|---------------|---------------|
|                       | 70   | 80            | 90            | 100           |
| <b>CE [Grad]</b>      | 32,1                                       | 31,8          | 31,3          | 30,6          |
| <b>(p &lt; 0,001)</b> | 31,7 – 32,5                                | 31,5 – 32,1   | 31,0 – 31,5   | 30,3 – 30,9   |
| <b>CCD [Grad]</b>     | 125,9                                      | 126,3         | 126,7         | 127,4         |
| <b>(p &lt; 0,001)</b> | 125,5 – 126,3                              | 126,0 – 126,6 | 126,5 – 127,0 | 127,2 – 127,7 |
| <b>AA [Grad]</b>      | 56,8                                       | 56,0          | 54,9          | 53,3          |
| <b>(p &lt; 0,001)</b> | 56,3 – 57,2                                | 55,6 – 56,3   | 54,6 – 55,2   | 53,0 – 53,7   |
| <b>TI [mm]</b>        | -2,08                                      | -2,22         | -2,31         | -2,38         |
| <b>(p &lt; 0,001)</b> | -2,13 – -2,03                              | -2,24 – -2,19 | -2,33 – -2,29 | -2,40 – -2,35 |
| <b>HD [mm]</b>        | 46,8                                       | 45,9          | 44,8          | 43,4          |
| <b>(p &lt; 0,001)</b> | 46,6 – 47,0                                | 45,8 – 46,1   | 44,7 – 44,9   | 43,3 – 43,6   |

**Tabelle 21: Studien zum CE bei gesunden Probanden**

| Autor , Jahr                 | Methode          | Herkunft/Ethnie | n     | Alter        | Sex   | BMI          | M  | SD                       | Info |
|------------------------------|------------------|-----------------|-------|--------------|-------|--------------|--|--------------------------|------|
| Murphy et al. 1990 [139]     | CT (3D)          | USA             | 49    | 53,6 (11-84) | -     | -            | 37,5   | 10                       |      |
| Janzen et al. 1998 [19]      | CT (3D)          | Kanada          | 15    | 34,2 (19-49) | 80% m | -            | 33   | 4,9                      |      |
| Yoshimura et al. 1998 [43]   | Röntgen AP       | Großbritannien  | 2.993 | (60-75)      | 87% m | -            | 36 (m)<br>37 (w)                                     | -                        |      |
|                              |                  | Japan           | 395   | (60-79)      | 50% m |              | 31 (m)<br>31 (w)                                     |                          |      |
| Lane et al. 2000 [22]        | Röntgen AP       | USA             | 118   | 70,4         | 0% m  | 26,8         | 39   | 6,8                      |      |
| Reijman et al. 2005 [46]     | Röntgen AP       | Niederlande     | 835   | 65,6         | 43% m | 26,5         | 35,1   | 5,6                      |      |
| Jacobsen et al. 2005 [23]    | Röntgen AP       | Dänemark        | 3.859 | 61 (22-93)   | 37% m | -            | 35 (m,r)<br>34 (m,l)<br>35 (w,r)<br>35 (w,l)         | 7,3<br>7,4<br>7,4<br>7,8 |      |
| Tallroth & Lepisto 2006 [13] | CT coronal slice | Finnland        | 70    | 45 (14-79)   | 67% m | -            | 41   | 7                        |      |
| Daysal et al. 2007 [61]      | Röntgen AP       | Türkei          | 236   | 44 (20-79)   | 51% m | -            | 37,0 (r)<br>35,8 (l)                                 | 7,1<br>7,1               |      |
| Gosvig et al. 2008 [124]     | Röntgen AP       | Dänemark        | 3.202 | 60 (22-90)   | 37% m | 26,4<br>25,6 | 33,9 (m,r)<br>33,9 (m,l)<br>34,7 (w,r)<br>34,8 (w,l) | 6,8<br>7,0<br>6,9<br>7,3 |      |
| Umer et al. 2009 [30]        | Röntgen AP       | Asiaten         | 500   | 38 (15-78)   | 54% m | -            | 36,3 (m)<br>34,6 (w)                                 | 6,44<br>6,78             |      |
| Shi et al. 2010 [33]         | Röntgen AP       | China           | 2.988 | (4-80)       | 54% m | -            | 23 (4-9y)<br>29(10-18y)<br>33 (> 18y)                | -                        |      |
| McWilliams et al. 2010 [32]  | Röntgen AP       | Großbritannien  | 1.108 | 64,2         | 54% m | 27,5         | 36,8 (m,r)<br>37,7 (m,l)<br>37,4 (w,r)<br>38,1 (w,l) | 6,5<br>6,2<br>6,2<br>6,2 |      |
| Gosvig et al. 2010 [51]      | Röntgen AP       | Dänemark        | 3.620 | 60,5 (21-90) | 37% m | -            | 34,4 (m,r)<br>34,4 (m,l)<br>35,2 (w,r)<br>35,3 (w,l) | 7,2<br>7,3<br>7,2<br>7,5 |      |

Legende: n = Anzahl der untersuchten Hüften, Alter = mittleres Alter der Probanden [Jahren] mit (Range), Sex = männliche Probanden [%], BMI = mittlerer BMI [kg/m<sup>2</sup>], M = mittlerer CE in Grad, SD = Standardabweichung in Grad, Geschlechtsangabe (m) = männlich, (w) = weiblich, - = keine oder ungenaue Angabe

**Fortsetzung Tabelle 21: Studien zum CE bei gesunden Probanden**

|                           |                   |                |       |              |         |              |  |                                  |                  |
|---------------------------|-------------------|----------------|-------|--------------|---------|--------------|--|----------------------------------|------------------|
| Kang et al. 2010[128]     | CT Scout          | Neuseeland     | 100   | (15-40)      | 46 % m  | -            | 36,09 (m)<br>33 (w)                                      | -                                |                  |
| Kapron et al. 2011 [40]   | Röntgen AP        | USA            | 134   | 21 (17-26)   | 100% m  | 30           | 30   | 6,6                              | Football-Spieler |
| Nicholls et al. 2011 [48] | Röntgen AP        | Großbritannien | 243   | 55 (49-59)   | 0% m    | 24,8         | 34,32  | 6,77                             |                  |
| Fowkes et al. 2011 [20]   | CT Scout          | Großbritannien | 200   | 26,3 (20-30) | 50% m   | -            | 37,23 (m,r)<br>38,23 (m,l)<br>34,78 (w,r)<br>35,12 (w,l) | 10,52<br>11,14<br>10,52<br>12,36 |                  |
| Aly et al. 2011 [28]      | Röntgen AP        | Ägypten        | 488   | (18-60)      | 55% m   | 26,2<br>27,5 | 35,5 (m)<br>32,8 (w)                                     | 4,6<br>4,7                       |                  |
| Jeremić et al. 2011 [27]  | Röntgen AP        | Serbien        | 640   | 47,8 (21-65) | 53% m   | -            | 33,6 (m)<br>31,3 (w)                                     | 5,8<br>6,9                       |                  |
| Clohisy et al. 2011 [7]   | Röntgen AP        | USA            | 42    | 38,5         | 33% m   | -            | 31,4 (m)<br>31,2 (w)                                     | 7,1<br>6,9                       |                  |
| Park et al. 2011 [36]     | Röntgen AP        | Korea          | 428   | 52,1 (17-90) | 43,5% m | 24,3<br>23,2 | 38,5 (m)<br>37,8 (w)                                     | 5,4<br>5,7                       |                  |
| Nishii et al. 2012 [29]   | Röntgen AP        | Japan          | 300   | 62 (19-84)   | 44% m   | 23           | 33,5 (m)<br>31,2 (w)                                     | -                                |                  |
| Werner et al. 2012 [9]    | Röntgen AP        | USA            | 2.452 | 38,9 (14-97) | 71% m   | -            | 34,07 (m,r)<br>32,43 (m,l)<br>35,13 (w,r)<br>33,94 (w,l) | -                                |                  |
| Miguel et al. 2012 [54]   | Röntgen AP        | Brasilien      | 100   | 31 (20-50)   | 42% m   | 23,3         | 30   | 7,8                              |                  |
| Zeng et al. 2012 [34]     | CT<br>AP tomogram | China          | 200   | 48,2         | 50% m   | -            | 34,4 (m,r)<br>33,3 (m,l)<br>32,8 (w,r)<br>32,8 (w,l)     | 5,96<br>5,97<br>6,29<br>6,78     |                  |
| Buller et al. 2012 [26]   | CT (3D)           | USA            | 230   | 59 (29-75)   | 49,6% m | -            | 37,4 (r)<br>37,9 (l)                                     | 7,2<br>6,9                       |                  |

Legende: n = Anzahl der untersuchten Hüften, Alter = mittleres Alter der Probanden [Jahren] mit (Range), Sex = männliche Probanden [%], BMI = mittlerer BMI [kg/m<sup>2</sup>], M = mittlerer CE in Grad, SD = Standardabweichung in Grad, Geschlechtsangabe (m) = männlich, (w) = weiblich, - = keine oder ungenaue Angabe

**Fortsetzung Tabelle 21: Studien zum CE bei gesunden Probanden**

|                                 |                                |            |       |                  |         |      |  |                          |        |
|---------------------------------|--------------------------------|------------|-------|------------------|---------|------|--|--------------------------|--------|
| Laborie et al. 2013 [10]        | Röntgen AP                     | Norwegen   | 2.011 | 18,6 (17,2-20,1) | 42% m   | 23,1 | 32,1 (m,r)<br>32,8 (m,l)<br>30,1 (w,r)<br>31,4 (w,l) | 6,1<br>5,8<br>6,1<br>6,0 |        |
| Monazzam et al. 2013 [14]       | CT coronal slice               | USA        | 450   | 10,4 (2-19)      | 46% m   | -    | 26,2   | 6,9                      |        |
| Aly et al. 2013 [64]            | MRT coronal slice              | Kanada     | 22    | 30,23            | 36,4% m | -    | 31,1   | -                        |        |
| Miyasaka et al. 2014 [171]      | CT (3D)                        | Japan      | 48    | 60 (50-69)       | 41% m   | 22,9 | 34   | 7,3                      |        |
| Lepage-Saucier et al. 2014 [57] | CT multiplanar reformatted     | -          | 188   | 49               | 52% m   | -    | 35 (m)<br>32 (w)                                     | 6<br>6                   |        |
| Ergen et al. 2014 [31]          | CT transparent 3D              | Türkei     | 131   | 32,9 (19-46)     | 56% m   | -    | 37,28  | 6,12                     |        |
| Li et al. 2015 [25]             | CT                             | USA        | 1.116 | 14,4 (10-18)     | 49% m   | -    | 33,0 (m)<br>35,8 (w)                                 | -                        |        |
| Van Houcke et al. 2015 [42]     | CT                             | Belgien    | 198   | (18-40)          | 59% m   | -    | 40 (m)<br>38 (w)                                     | -<br>-                   |        |
|                                 |                                | China      | 204   | (18-40)          | 46% m   | -    | 37 (m)<br>33 (w)                                     | -<br>-                   |        |
| Steppacher et al. 2015 [170]    | CT (3D)                        | USA        | 19    | 54 (31-73)       | 53% m   | -    | 31   | 4                        |        |
| Tannast et al. 2015 [21]        | Röntgen AP                     | Schweiz    | 21    | 34 (17-58)       | 76% m   | 24   | 26   | 5                        |        |
| Larson et al. 2015 [24]         | CT Reformatted vertical slices | Frankreich | 409   | 25 (20-35)       | 52% m   | -    | 31   | -                        |        |
| Frank et al. 2015 [123]         | MRT + Röntgen                  | -          | 2.114 | 25,3 (13-82)     | 57% m   | -    | 31,2   | 4,9                      | Review |

Legende: n = Anzahl der untersuchten Hüften, Alter = mittleres Alter der Probanden [Jahren] mit (Range), Sex = männliche Probanden [%], BMI = mittlerer BMI [kg/m<sup>2</sup>], M = mittlerer CE in Grad, SD = Standardabweichung in Grad, Geschlechtsangabe (m) = männlich, (w) = weiblich, - = keine oder ungenaue Angabe

**Tabelle 22: Studien zum CE bei symptomatischen Probanden**

| Autor , Jahr                 | Methode    | Herkunft/Ethnie | n        | Alter        | Sex            | BMI    | M                    | SD            | Info               |
|------------------------------|------------|-----------------|----------|--------------|----------------|--------|----------------------|---------------|--------------------|
| Murphy et al. 1990 [139]     | CT         | USA             | 20       | 20 (11-41)   | 0% m           | -      | 5,2                  | 6,3           |                    |
| Lane et al. 2000 [22]        | Röntgen AP | USA             | 58       | 70,1         | 0% m           | 26,8   | 36,4                 | 6,6           | Arthrose-Patienten |
| Jacobsen et al. 2005 [155]   | CT         | Dänemark        | 198      | 35,5 (15-61) | 26% m          | -      | 6,5                  | 10,6          |                    |
| Allen et al. 2009 [125]      | Röntgen AP | Kanada          | 226      | 37,7 (16-55) | 73% m          | -      | 34,8                 | -             |                    |
| Nicholls et al. 2011 [48]    | Röntgen AP | Großbritannien  | 25       | 58 (54-61)   | 0% m           | -      | 29,54                | 7,68          |                    |
| Dolan et al. 2011 [15]       | CT         | USA             | 135      | 30 (14-55)   | 58% m          | -      | 31,4                 | 6,9           |                    |
| Miguel et al. 2012 [54]      | Röntgen AP | Brasilien       | 122      | 41 (20-50)   | 48% m          | 24,6   | 27,5                 | 9,9           |                    |
| Van Thiel et al. 2013 [53]   | Röntgen AP | USA + Kanada    | 50<br>50 | 43<br>67,8   | 78% m<br>36% m | -<br>- | 34,81<br>45,78       | 7,69<br>12,00 |                    |
| Morvan et al. 2013 [39]      | Röntgen AP | Frankreich      | 1.684    | 57,9 (40-75) | 28% m          | -      | 29,0 (r)<br>30,4 (l) | -             |                    |
| Miyasaka et al. 2014 [171]   | CT (3D)    | Japan           | 26       | 33,6 (18-42) | 19% m          | 23,3   | 7,7                  | 9,2           |                    |
| Tannast et al. 2015 [21]     | Röntgen AP | Schweiz         | 26       | 33 (16-44)   | 73% m          | 26     | 16                   | 7             |                    |
| Steppacher et al. 2015 [170] | CT (3D)    | USA             | 27       | 27 (13-47)   | 11% m          | -      | 1                    | 15            |                    |

Legende: n = Anzahl der untersuchten Hüften, Alter = mittleres Alter der Probanden [Jahren] mit (Range), Sex = männliche Probanden [%], BMI = mittlerer BMI [kg/m<sup>2</sup>], M = mittlerer CE in Grad, SD = Standardabweichung in Grad, Geschlechtsangabe (m) = männlich, (w) = weiblich, - = keine oder ungenaue Angabe

**Tabelle 23: Studien zum CCD bei gesunden Probanden**

| Autor , Jahr                 | Methode                  | Herkunft/Ethnie   | n                            | Alter                        | Sex            | BMI                          | M  | SD                       | Info |
|------------------------------|--------------------------|---|------------------------------|------------------------------|----------------|------------------------------|--|--------------------------|------|
| Reikeras et al. 1982 [175]   | Leichenfemora            | Norwegen  | 96                           | -                            | 50% m          | -                            | 127,7  | 7,6                      |      |
| Rubin et al. 1992 [146]      | Leichenfemora Röntgen AP | Frankreich  | 36                           | 82 (70-95)                   | 40,6% m        | -                            | 122,9  | 7,6                      |      |
| Isaac et al. 1997 [88]       | Skelettfemora            | Indien  | 171                          | (25-55)                      | -              | -                            | 126,7  | 3,1                      |      |
| Alonso et al. 2000 [100]     | DXA                      | Spanien   | 545                          | (60-90)                      | 43% m          | -                            | 126,3 (m)<br>124,6 (w)                           | 4,4<br>4,2               |      |
| Massin et al. 2000 [73]      | Röntgen AP               | Frankreich  | 200                          | 67                           | 34,5% m        | -                            | 123,1  | 8,2                      |      |
| Lequesne et al. 2004 [74]    | Röntgen AP               | Frankreich  | 446                          | 51,3 (16-88)                 | 43% m          | -                            | 132,83   | 4,37                     |      |
| Calis et al. 2004 [87]       | Röntgen AP               | Türkei  | 232                          | 62,5                         | 0% m           | 28,5                         | 128,9 (r)<br>128,9 (l)                           | 5,9<br>5,8               |      |
| Nissen et al. 2005 [78]      | DXA                      | Dänemark  | 249                          | (19-79)                      | 37,8% m        | -                            | 131 (m)<br>129 (w)                               | 5<br>5                   |      |
| Lekamwasam et al. 2007 [70]  | DXA                      | Sri Lanka   | 280                          | 56,8 (32-97)                 | 0% m           | -                            | 123,2  | 5,7                      |      |
| Karasik et al. 2007 [71]     | DXA                      | USA   | 938<br>1.087                 | 78,4<br>79,9<br>58,2<br>58,4 | 37% m<br>45% m | 27,0<br>26,6<br>28,8<br>27,7 | 131,4 (m)<br>128,1 (w)<br>130,6 (m)<br>127,9 (w) | 6,5<br>6,1<br>5,7<br>5,9 |      |
| Doherty et al. 2008 [81]     | Röntgen AP               | Großbritannien  | 1.103                        | 64,3                         | 53,7% m        | 27,5                         | 128,34 (r)<br>128,34 (l)                         | 7,06<br>7,06             |      |
| Kaptoge et al. 2008 [99]     | DXA                      | USA   | 6.839                        | 73,6                         | 0% m           | -                            | 127,2  | 6                        |      |
| Toogood et al. 2009 [107]    | Skelettfemora            | USA / Kaukasier + Afro-Amerikaner                                       | 375                          | 44 (18-89)                   | 50% m          | -                            | 129,23   | 6,24                     |      |
| Unnanuntana et al. 2010 [79] | Skelettfemora            | USA   | 200                          | 29                           | 50% m          | -                            | 133,9 (m)<br>131,5 (w)                           | 5,85<br>5,74             |      |
| Nicholls et al. 2011 [48]    | Röntgen AP               | Großbritannien  | 243                          | 55 (49-59)                   | 0% m           | 24,8                         | 129,88   | -                        |      |
| Nelson et al. 2011 [92]      | DXA                      | USA / Amerikaner<br>Afro-Amerikaner<br>USA / Mexikaner<br>USA / Natives | 8.206<br>1.476<br>704<br>130 | 63,9<br>61,9<br>60,7<br>60,1 | 0% m           | 27,6<br>31,4<br>29,0<br>30,6 | 130,7<br>130,1<br>131,1<br>131,1                 | -                        |      |

Legende: n = Anzahl der untersuchten Hüften, Alter = mittleres Alter der Probanden [Jahren] mit (Range), Sex = männliche Probanden [%], BMI = mittlerer BMI [kg/m<sup>2</sup>], M = mittlerer CCD in Grad, SD = Standardabweichung in Grad, Geschlechtsangabe (m) = männlich, (w) = weiblich, (all) = männlich und weiblich zusammen, - = keine oder ungenaue Angabe

**Fortsetzung Tabelle 23: Studien zum CCD bei gesunden Probanden**

|                              |   |              |          |               |          |              |  |                          |  |
|------------------------------|---|--------------|----------|---------------|----------|--------------|--|--------------------------|--|
| Park et al. 2011 [36]        | Röntgen AP  | Korea        | 428      | 52,1 (17-90)  | 43,5% m  | 24,3<br>23,2 | 130,0 (m)<br>129,1 (w)                                   | 5,4<br>4,7               |  |
| Elbuken et al. 2012 [72]     | DXA   | Türkei       | 18.943   | (20-108)      | -        | 24,4<br>29,0 | 129,6 (m)<br>129,1 (w)                                   | -                        |  |
| Gnudi et al. 2012 [98]       | DXA   | Italien      | 729      | 62,2 (45-85)  | 0% m     | 24,8         | 123,6  | 5,5                      |  |
| Bagaria et al. 2012 [172]    | Röntgen AP  | Indien       | 422      | (20-80)       | 66,8% m  | -            | 127,68 (m)<br>125,92 (w)                                 | 3,94<br>4,75             |  |
| Buller et al. 2012 [26]      | CT 3D   | USA          | 230      | 59 (29-75)    | 49,6% m  | -            | 128,7 (r)<br>127,8 (l)                                   | 6,9<br>5,9               |  |
| Gilligan et al. 2013 [82]    | Skelettfemora   | Verschiedene | 8.271    | -             | -        | -            | 126,4  | 5,57                     |  |
| Aly et al. 2013 [64]         | MRT   | Kanada       | 22       | 30,23         | 36,4% m  | -            | 128,5  | -                        |  |
| Ripamonti et al. 2014 [90]   | DXA   | Italien      | 228      | 67,8          | 100% m   | -            | 125,3  | 4,9                      |  |
| Iyem et al. 2014 [83]        | Röntgen AP  | Türkei       | 162      | 65,6 (24-93)  | 30,25% m | -            | 130,4 (all)<br>130,9 (m)<br>130,1 (w)                    | 5,1<br>5,4<br>4,9        |  |
| Mitra et al. 2014[80]        | Röntgen AP  | Iran         | 400      | 39,2          | 50% m    | -            | 127,5 (m,r)<br>127,6 (m,l)<br>125,4 (w,r)<br>126,6 (w,l) | 5,3<br>5,6<br>6<br>6,2   |  |
| Steppacher et al. 2015 [170] | CT 3D   | USA          | 19       | 54 (31-73)    | 53% m    | -            | 130  | 4                        |  |
| Boese et al. 2015 [67]       | CT (anterior pelvic plane)<br>CT (femoral neck plane) | Europäer     | 800      | 54,3 (18-100) | 50% m    | -            | 133,0 (m)<br>134,3 (w)<br>129,6 (m)<br>131,9 (w)         | 7,0<br>6,6<br>5,9<br>6,8 |  |
| Ng et al. 2015 [103]         | CT  | Kanada       | 17<br>14 | 31<br>32      | -        | 25<br>26     | 127<br>128   | 3<br>2                   |  |
| Moulton et al. 2015 [65]     | MRT   | Kanada       | 109      | 32,4          | 52% m    | -            | 131  | -                        |  |

Legende: n = Anzahl der untersuchten Hüften, Alter = mittleres Alter der Probanden [Jahren] mit (Range), Sex = männliche Probanden [%], BMI = mittlerer BMI [kg/m<sup>2</sup>], M = mittlerer CCD in Grad, SD = Standardabweichung in Grad, Geschlechtsangabe (m) = männlich, (w) = weiblich, (all) = männlich und weiblich zusammen, - = keine oder ungenaue Angabe

### Fortsetzung Tabelle 23: Studien zum CCD bei gesunden Probanden

|                            |         |          |       |              |         |      |       |       |        |
|----------------------------|---------|----------|-------|--------------|---------|------|-------|-------|--------|
| Boese et al. 2016 [68]     | Röntgen | Europäer | 5.089 | (24-82)      | -       | -    | 128,8 | 3,6-9 | Review |
| Dimitriou et al. 2016 [75] | CT (3D) | -        | 122   | 46,9 (31-58) | 37,7% m | 23,8 | 126,7 | 4,7   |        |

Legende: n = Anzahl der untersuchten Hüften, Alter = mittleres Alter der Probanden [Jahren] mit (Range), Sex = männliche Probanden [%], BMI = mittlerer BMI [kg/m<sup>2</sup>], M = mittlerer CCD in Grad, SD = Standardabweichung in Grad, Geschlechtsangabe (m) = männlich, (w) = weiblich, (all) = männlich und weiblich zusammen, - = keine oder ungenaue Angabe

### Tabelle 24: Studien zum CCD bei symptomatischen Probanden

| Autor , Jahr                 | Methode       | Herkunft/<br>Ethnie | n     | Alter        | Sex   | BMI  | M                      | SD         | Info                |
|------------------------------|---------------|---------------------|-------|--------------|-------|------|------------------------|------------|---------------------|
| Alonso et al. 2000 [100]     | DXA           | Spanien             | 411   | (60-90)      | 28% m | -    | 130,6 (m)<br>129,6 (w) | 4,7<br>5,3 | Fraktur             |
| Nicholls et al. 2011 [48]    | Röntgen AP    | Großbritannien      | 25    | 58 (54-61)   | 0% m  | -    | 130,17                 | -          | TEP-Patienten       |
| Dolan et al. 2011 [15]       | CT            | USA                 | 135   | 30 (14-55)   | 58% m | -    | 130,7                  | 4,3        | Cam-Patienten       |
| Steppacher et al. 2015 [170] | CT (3D)       | USA                 | 27    | 27 (13-47)   | 11% m | -    | 140                    | 7          | Dysplasie-Patienten |
| Ollivier et al. 2015 [177]   | CT            | Europäer            | 689   | 60,9 (25-85) | 54% m | 25   | 130,0 (m)<br>129,5 (w) | 5,4<br>5,6 | TEP-Patienten       |
| Ng et al. 2015 [103]         | CT            | Kanada              | 12    | 38           | -     | 26   | 123                    | 2          | Cam-Patienten       |
| Bouyer et al. 2016 [37]      | Röntgen AP    | Frankreich          | 242   | 62           | 29% m | 27,5 | 127 (r)<br>129 (l)     | -          |                     |
| Boese et al. 2016 [68]       | Röntgen AP/DR | Europäer            | 1.230 | (18-95)      | -     | -    | 131,5                  | 0,5-8      | Review              |

Legende: n = Anzahl der untersuchten Hüften, Alter = mittleres Alter der Probanden [Jahren] mit (Range), Sex = männliche Probanden [%], BMI = mittlerer BMI [kg/m<sup>2</sup>], M = mittlerer CCD in Grad, SD = Standardabweichung in Grad, Geschlechtsangabe (m) = männlich, (w) = weiblich, - = keine oder ungenaue Angabe

**Tabelle 25: Studien zum AA bei gesunden Probanden**

| Autor , Jahr                    | Methode               | Herkunft/<br>Ethnie                  | n     | Alter                               | Sex    | BMI          | M  | SD                         | Info                 |
|---------------------------------|-----------------------|--------------------------------------|-------|-------------------------------------|--------|--------------|--|----------------------------|----------------------|
| Nötzli et al. 2002 [104]        | MRT                   | Schweiz                              | 35    | 30 (20-46)                          | 49% m  | -            | 42   | 2,2                        |                      |
| Beaulé et al. 2005 [105]        | CT                    | USA                                  | 20    | 37                                  | 58% m  | -            | 43,8   | 4,46                       |                      |
| Clohisy et al. 2007 [108]       | Röntgen AP            | USA                                  | 24    | 35 (18-49)                          | 64% m  | -            | 51,2   | 17,5                       |                      |
| Gosvig et al. 2007 [117]        | Röntgen AP            | Dänemark                             | 2.803 | 62(23-93) m<br>65(22-92) w          | 38% m  | -            | 51,7 (m,r)<br>53,1 (m,l)<br>44,4 (w,r)<br>45,5 (w,l) | 13,5<br>13,9<br>5,5<br>5,1 |                      |
| Gosvig et al. 2008 [124]        | Röntgen AP            | Dänemark                             | 3.202 | 59,3 (22-90)<br>m<br>60,7 (23-89) w | 37% m  | 26,4<br>25,6 | 51,9 (m,r)<br>53,2 (m,l)<br>44,5 (w,r)<br>45,5 (w,l) | 13,1<br>12,1<br>5,2<br>5,4 |                      |
| Toogood et al. 2009 [107]       | Skelettfemora         | USA / Kaukasier +<br>Afro-Amerikaner | 375   | 44 (18-89)                          | 50% m  | -            | 47,5 (m)<br>43,71 (w)                                | 10,71<br>9,88              |                      |
| Pollard et al 2010 [118]        | Röntgen "cross-table" | Großbritannien                       | 166   | 46 (22-69)                          | 47% m  | -            | 48 (m)<br>47 (w)                                     | 8<br>8                     |                      |
| Kang et al. 2010 [128]          | CT                    | Neuseeland                           | 100   | (15-40)                             | 46% m  | -            | 44,02 (m)<br>46,89 (w)                               | -                          |                      |
| Hack et al. 2010 [110]          | MRT-AS                | Kanada                               | 400   | 29,4 (21-50)                        | 44% m  | -            | 54,09 (m)<br>46,99 (w)                               | 8,54<br>6,19               |                      |
| Hartofilakidis et al. 2011 [94] | Röntgen AP            | Griechenland                         | 96    | 49,3 (16-65)                        | 32% m  | -            | 58,5   | -                          |                      |
| Kapron et al. 2011 [40]         | Röntgen AP            | USA                                  | 134   | 21 (17-26)                          | 100% m | 30           | 55   | 12                         | Football-<br>Spieler |
| Jung et al. 2011 [127]          | CT AP Scout Image     | USA                                  | 755   | 62,5 (26-92)<br>59,5 (25-90)        | 28% m  | 28,6         | 59,12 (m)<br>45,47 (w)                               | 17,61<br>7,4               |                      |
| Nicholls et al. 2011 [48]       | Röntgen AP            | Großbritannien                       | 243   | 55 (49-59)                          | 0% m   | 24,8         | 45,75  | -                          |                      |

Legende: n = Anzahl der untersuchten Hüften, Alter = mittleres Alter der Probanden [Jahren] mit (Range), Sex = männliche Probanden [%], BMI = mittlerer BMI [kg/m<sup>2</sup>], M = mittlerer AA in Grad, SD = Standardabweichung in Grad, Geschlechtsangabe (m) = männlich, (w) = weiblich, - = keine oder ungenaue Angabe

**Fortsetzung Tabelle 25: Studien zum AA bei gesunden Probanden**

|                                 |                              |                |          |                                |                |          |  |  |                      |
|---------------------------------|------------------------------|----------------|----------|--------------------------------|----------------|----------|--|--|----------------------|
| Tsitskaris et al. 2012 [133]    | CT                           | Großbritannien | 45       | 33 (20-40)                     | -              | -        | 50,1 (r)<br>49,6 (l)   | -  |                      |
| Miguel et al. 2012 [54]         | Röntgen AP                   | Brasilien      | 100      | 31 (20-50)                     | 42% m          | 23,3     | 53   | 11,6   |                      |
| Bixby et al. 2013 [109]         | CT (AS)                      | USA            | 132      | 15 (12-20)                     | 34% m          | 23,1     | 53 (m)<br>49 (w)   | -  |                      |
| Chakraverty et al. 2013 [112]   | CT                           | Großbritannien | 100      | 30,8 (20-40)                   | 60% m          | -        | 52,5   | -  |                      |
| Monazzam et al. 2013 [14]       | CT                           | USA            | 450      | 10,4 (2-19)                    | 46% m          | -        | 46,8   | 5,0  |                      |
| Fraitzl et al. 2013 [121]       | Röntgen AP<br>“lateral view” | Deutschland    | 339      | 47 (17-87) m<br>55 (20-96) w   | 50% m          | -        | 49,4 (m)<br>45 (w)<br>49,1 (m)<br>46,1 (w)   | 10,5<br>8<br>10,6<br>9,9                                 |                      |
| Joo et al. 2013 [114]           | MRT<br>coronal               | Korea          | 994      | 50,02 (19-96)<br>58,19 (18-86) | 37% m          | -        | 50,61 (m)<br>49,82 (w)   | 7,61<br>4,14   |                      |
| Laborie et al. 2014 [122]       | Röntgen AP<br>“frog-leg”     | Norwegen       | 2.005    | 18,6 (17-20)                   | 42% m          | -        | 61,6 (m,r)<br>60,6 (m,l)<br>51,9 (w,r)<br>50,7 (w,l)<br>46,9 (m,r)<br>45,9 (m,l)<br>42,3 (w,r)<br>41,6 (w,l) | 14,2<br>12,4<br>14,1<br>11,4<br>8,4<br>7,7<br>5,7<br>5,4 |                      |
| Omoumi et al. 2014 [134]        | CT                           | Belgien        | 75<br>75 | 31 (<40)<br>66 (>60)           | 61% m<br>47% m | 24<br>24 | 52<br>51   | -  |                      |
| Ergen et al. 2014 [31]          | CT                           | Türkei         | 131      | 32,9 (18-46)                   | 56% m          | -        | 48,8 (m)<br>46,7 (w)   | 5<br>4   |                      |
| Lepage-Saucier et al. 2014 [57] | CT                           | -              | 188      | 49                             | 52% m          | -        | 51   | 9  |                      |
| Frank et al. 2015 [123]         | CT + MRT                     | USA            | 2.114    | 25,3                           | 57,2% m        | 33%      | 54,1   | 5,1  | Review -<br>Sportler |

Legende: n = Anzahl der untersuchten Hüften, Alter = mittleres Alter der Probanden [Jahren] mit (Range), Sex = männliche Probanden [%], BMI = mittlerer BMI [kg/m<sup>2</sup>], M = mittlerer AA in Grad, SD = Standardabweichung in Grad, Geschlechtsangabe (m) = männlich, (w) = weiblich, - = keine oder ungenaue Angabe

**Fortsetzung Tabelle 25: Studien zum AA bei gesunden Probanden**

|                             |         |         |       |              |       |   |                           |   |  |
|-----------------------------|---------|---------|-------|--------------|-------|---|---------------------------|---|--|
| Van Houcke et al. 2015 [42] | CT - AS | Belgien | 198   | (18-40)      | 59% m | - | 56 (m)                    | - |  |
|                             |         | China   | 204   | (18-40)      | 46% m |   | 56 (w)<br>52(m)<br>49 (w) |   |  |
| Li et al. 2015[25]          | CT      | USA     | 1.116 | 14,4 (10-18) | 49% m | - | 49,7 (m)<br>46 (w)        | - |  |

Legende: n = Anzahl der untersuchten Hüften, Alter = mittleres Alter der Probanden [Jahren] mit (Range), Sex = männliche Probanden [%], BMI = mittlerer BMI [kg/m<sup>2</sup>],  
M = mittlerer AA in Grad, SD = Standardabweichung in Grad, Geschlechtsangabe (m) = männlich, (w) = weiblich, - = keine oder ungenaue Angabe

**Tabelle 26: Studien zum AA bei symptomatischen Probanden**

| Autor , Jahr                | Methode                   | Herkunft/<br>Ethnie | n   | Alter                      | Sex   | BMI  | M                    | SD          | Info                          |
|-----------------------------|---------------------------|---------------------|-----|----------------------------|-------|------|----------------------|-------------|-------------------------------|
| Nötzli et al. 2002 [104]    | MRT                       | Schweiz             | 39  | 35, (18-57)                | 67% m | -    | 74                   | 4,5         |                               |
| Beaulé et al. 2005 [105]    | CT                        | USA                 | 36  | 40,7                       | 56% m | -    | 66,4                 | 17,2        |                               |
| Pfirmsmann et al. 2006 [66] | MRT                       | Schweiz             | 50  | 28,8 (19-48)               | 60% m | -    | 81<br>66             | 15<br>19    | Cam-<br>Pincer -<br>Patienten |
| Clohisy et al. 2007 [108]   | Röntgen AP                | USA                 | 61  | 32 (14-53)                 | 74% m | -    | 71,5                 | 19,4        |                               |
| Gosvig et al. 2007 [117]    | Röntgen AP                | Dänemark            | 164 | 59 (30-82)<br>61 (34-81)   | 50% m |      | 71 (m)<br>59 (w)     | -           |                               |
| Bardakos et al. 2009 [95]   | Röntgen AP                | Großbritannien      | 47  | 54 (28-55)                 | 81% m | -    | 89                   | -           |                               |
| Allen et al. 2009 [125]     | Röntgen<br>“lateral view” | Kanada              | 226 | 37,9 (16-55)               | 73% m | -    | 69,1 (m)<br>62,1 (w) | 10,4<br>9,6 |                               |
| Rakhra et al. 2009 [113]    | MRT                       | Kanada              | 41  | 39 (17-60)                 | 44% m | -    | 53,4                 | 11,1        |                               |
| Nicholls et al. 2011 [48]   | Röntgen AP                | Großbritannien      | 25  | 58 (54-61)                 | 0% m  | -    | 62,35                | -           |                               |
| Kumar et al. 2011 [106]     | Röntgen AP                | Indien              | 50  | 52,4 (21-78)               | 54% m | -    | 75 (m)<br>73 (w)     | 10<br>9     |                               |
| Dolan et al. 2011 [15]      | CT                        | USA                 | 135 | 30 (14-55)                 | 58% m | -    | 59,5                 | 11,5        |                               |
| Gerhardt et al. 2012 [129]  | Röntgen AP                | USA                 | 95  | 25,4                       | -     | -    | 65,6 (m)<br>52,9 (w) | -           | Profifußballer                |
| Miguel et al. 2012 [54]     | Röntgen AP                | Brasilien           | 122 | 41 (20-50)                 | 48% m | 24,6 | 72,7                 | 9,1         |                               |
| Sutter et al. 2012 [111]    | MRT (AS)                  | Schweiz             | 53  | 34,8 (20-50)<br>37 (23-49) | 62% m | -    | 65,4                 | 11,5        |                               |
| Kumar et al. 2013 [115]     | MRT                       | Indien              | 50  | 52,4 (21-78)               | 54% m | -    | 84 (m)<br>85 (w)     | 20<br>21    |                               |

Legende: n = Anzahl der untersuchten Hüften, Alter = mittleres Alter der Probanden [Jahren] mit (Range), Sex = männliche Probanden [%], BMI = mittlerer BMI [kg/m<sup>2</sup>], M = mittlerer AA in Grad, SD = Standardabweichung in Grad, Geschlechtsangabe (m) = männlich, (w) = weiblich, - = keine oder ungenaue Angabe

**Tabelle 27: Studien zum TI bei asymptomatischen Probanden**

| Autor , Jahr              | Methode                      | Herkunft/<br>Ethnie                   | n                      | Alter                        | Sex    | BMI                          | M  | SD                       | Info                |
|---------------------------|------------------------------|---------------------------------------|------------------------|------------------------------|--------|------------------------------|--|--------------------------|---------------------|
| Gosvig et al. 2008 [124]  | Röntgen AP                   | Dänemark                              | 3.202                  | 59,3 (22-90)<br>60,7 (23-89) | 37% m  | 26,4<br>25,6                 | -2,7 (m,r)<br>-2,4 (m,l)<br>-3,9 (w,r)<br>-3,8 (w,l) | 2,1<br>2,0<br>1,9<br>1,7 |                     |
| Gosvig et al. 2010 [51]   | Röntgen AP                   | Dänemark                              | 3.620                  | 60,5 (21-90)                 | 37% m  | -                            | -2,6 (m,r)<br>-2,2 (m,l)<br>-3,9 (w,r)<br>-3,8 (w,l) | 2,1<br>2,0<br>1,9<br>1,7 |                     |
| Kumar et al. 2011 [106]   | Röntgen AP                   | Indien                                | 10                     | 48,9                         | 50% m  | -                            | 0,2  | 0,4                      | TI = R - r          |
| Nicholls et al. 2011 [48] | Röntgen AP                   | Großbritannien                        | 243                    | 55 (49-59)                   | 0% m   | 24,8                         | 26,93  | 2,22                     | Nur R<br>gemessen   |
| Fraitzl et al. 2013 [121] | Röntgen AP<br>“lateral view” | Deutschland                           | 339                    | 47 (17-87)<br>55 (20-96)     | 50% m  | -                            | -0,8 (m)<br>-1,6 (w)<br>-0,3 (m)<br>-0,3 (w)         | 1,9<br>1,8<br>1,6<br>1,1 |                     |
| Nelson et al. 2015 [135]  | Röntgen AP                   | USA                                   | 168                    | -                            | 25% m  | -                            | 27,02 (m)<br>21,06 (w)                               | -                        | Nur R<br>gemessen   |
| Mosler et al. 2016 [136]  | Röntgen AP                   | Araber<br>Schwarze<br>Weiße<br>Perser | 524<br>214<br>54<br>60 | 24,1<br>26,2<br>29,9<br>26,4 | 100% m | 22,7<br>23,6<br>24,0<br>22,2 | -2,3<br>-2,9<br>-0,5<br>-2,7                         | 3,6<br>3,8<br>4,2<br>3,6 | Profi-<br>Fußballer |

Legende: n = Anzahl der untersuchten Hüften, Alter = mittleres Alter der Probanden [Jahren] mit (Range), Sex = männliche Probanden [%], BMI = mittlerer BMI [kg/m<sup>2</sup>], M = mittlerer TI in mm, SD = Standardabweichung in Grad, Geschlechtsangabe (m) = männlich, (w) = weiblich, - = keine oder ungenaue Angabe

**Tabelle 28: Studien zum TI bei symptomatischen Probanden**

| Autor , Jahr            | Methode    | Herkunft/<br>Ethnie | n  | Alter        | Sex   | BMI | M   | SD  | Info |
|-------------------------|------------|---------------------|----|--------------|-------|-----|-----|-----|------|
| Kumar et al. 2011 [106] | Röntgen AP | Indien              | 50 | 52,4 (21-78) | 54% m | -   | 2,9 | 1,2 |      |

|                         |            |        |    |              |       |   |         |     |  |
|-------------------------|------------|--------|----|--------------|-------|---|---------|-----|--|
| Kumar et al. 2013 [115] | MRT        | Indien | 50 | 52,4 (21-78) | 54% m | - | 2,5 (m) | 1,5 |  |
|                         | Röntgen AP |        |    |              |       |   | 2,5 (w) | 1,5 |  |
|                         |            |        |    |              |       |   | 4,0 (m) | 3   |  |
|                         |            |        |    |              |       |   | 2,5 (w) | 1,5 |  |

Legende: n = Anzahl der untersuchten Hüften, Alter = mittleres Alter der Probanden [Jahren] mit (Range), Sex = männliche Probanden [%], BMI = mittlerer BMI [kg/m<sup>2</sup>], M = mittlerer TI in mm, SD = Standardabweichung in Grad, Geschlechtsangabe (m) = männlich, (w) = weiblich, - = keine oder ungenaue Angabe

**Tabelle 29: Studien zum HD**

| Autor , Jahr                    | Methode                       | Herkunft/<br>Ethnie | n   | Alter        | Sex   | BMI  | M                          | SD          | Info   |
|---------------------------------|-------------------------------|---------------------|-----|--------------|-------|------|----------------------------|-------------|--------|
| Hoaglund & Low 1980 [62]        | Skelettfemora                 | Kaukasier           | 121 | -            | 85,1% | -    | 46 (m)                     | -           |        |
|                                 |                               | China               | 91  | -            | 81,3% | -    | 43 (w)<br>45 (m)<br>40 (w) |             |        |
| Noble et al. 1988 [145]         | Skelettfemora                 | USA                 | 200 | 69,9 (22-95) | -     | -    | 46,1                       | 4,8         |        |
| Murphy et al. 1990 [139]        | CT                            | USA                 | 49  | 53,6 (11-84) | 71,4% | -    | 2,35                       | 0,32        | Radius |
| Rubin et al. 1992 [146]         | Leichenfemora +<br>Röntgen AP | Frankreich          | 36  | 82 (70-95)   | 40,6% | -    | 43,4                       | 2,9         |        |
| Isaac et al. 1997 [88]          | Skelettfemora                 | Indien              | 171 | (25-55)      | -     | -    | 41,2                       | 3,8         |        |
| Massin et al. 2000 [73]         | Röntgen AP                    | Frankreich          | 200 | 67           | 34,5% | -    | 45,6                       | 4,2         |        |
| Mahaisavariya et al. 2002 [149] | Leichenfemora                 | Thailand            | 108 | 48,5 (22-83) | -     | -    | 43,98                      | 3,47        |        |
| Goker et al. 2003 [178]         | Röntgen                       | Türkei              | 118 | 44 (20-79)   | 50,8% | 25,9 | 54                         | 5           |        |
| Calis et al. 2004 [87]          | Röntgen AP                    | Türkei              | 232 | 62,5         | 0%    | 28,5 | 53,3 (r)<br>53,0 (l)       | 3,2<br>3,41 |        |
| Nissen et al. 2005 [78]         | DXA                           | Dänemark/Kaukasier  | 249 | (19-79)      | 37,8% | -    | 25 (m)<br>23 (w)           | 3<br>2      | Radius |
| Atillaet al. 2007 [147]         | Skelettfemora + Röntgen<br>AP | Türkei              | 114 | -            | -     | -    | 45,8                       | 4,17        |        |
| Sproul et al. 2007 [179]        | Leichenfemora                 | Amerika             | 34  | 61,2 (43-78) | 82,4% | -    | 49,8                       | -           |        |
| Giroux et al. 2008 [140]        | Leichenfemora                 | USA /Kaukasier      | 152 | (17-89)      | 60,5% | -    | 48,3 (m)<br>42,5 (w)       | 2,4<br>2    |        |
|                                 |                               | USA /Farbige        | 95  |              | 60%   |      | 47,4 (m)<br>41,7 (w)       | 2,5<br>2,2  |        |
| Umer et al. 2010 [180]          | Röntgen AP                    | Pakistan            | 136 | 33 (20-50)   | 85,3% | -    | 50,1                       | 3,8         |        |
| Sen et al. 2010 [181]           | Skelettfemora                 | Indien              | 50  | -            | -     | -    | 45                         | 4           |        |
| Unnanuntana et al. 2010 [182]   | Leichenfemora                 | USA                 | 200 | 29 (28-30)   | 50%   | -    | 55,46 (m)<br>48,73 (w)     | 3,2<br>2,51 |        |

Legende: n = Anzahl der untersuchten Hüften, Alter = mittleres Alter der Probanden [Jahren] mit (Range), Sex = männliche Probanden [%], BMI = mittlerer BMI [kg/m<sup>2</sup>], M = mittlerer HD in mm, SD = Standardabweichung in Grad, Geschlechtsangabe (m) = männlich, (w) = weiblich, (all) = männlich und weiblich zusammen, - = keine oder ungenaue Angabe

**Fortsetzung Tabelle 29: Studien zum HD**

|                                   |                     |                             |                   |               |                       |      |  |  |                             |
|-----------------------------------|---------------------|-----------------------------|-------------------|---------------|-----------------------|------|--|--|-----------------------------|
| Nicholls et al. 2011 [48]         | Röntgen AP          | Großbritannien              | 243               | 55 (49-59)    | 0%                    | 24,8 | 54,99  | -                                      | TEP 18 Jahre nach Röntgen   |
| Saengnipanthkul et al. 2012 [150] | Skelettfemora       | Thailand                    | 102               | 58,8 (25-85)  | 49%                   | -    | 45,25 (m)<br>40,28 (w)   | -                                      |                             |
| Young et al. 2013 [141]           | Skelettfemora       | Kaukasier + Afro-Amerikaner | 320               | 31,5 (20-40)  | 50%                   | -    | 55,8 (m)<br>48,3 (w)   | 4,3<br>3,1                             |                             |
| Iyem et al. 2014 [83]             | Röntgen AP          | Türkei                      | 162               | 65,6 (24-93)  | 30,25%                | -    | 48,1 (all)<br>52,0 (m)<br>46,4 (w)                                   | 3,7<br>3,2<br>2,6                      |                             |
| Mitra et al. 2014[80]             | Röntgen AP          | Iran                        | 400               | 39,2          | 50%                   | -    | 57 (m,r)<br>57 (m,l)<br>50,6 (w,r)<br>50,3 (w,l)                     | 3,1<br>3,8<br>2,8<br>2,9               |                             |
| Lee et al. 2014 [142]             | Intraoperativ (THA) | China<br>Malaysia<br>Indien | 612<br>169<br>152 | 75,2 (50-101) | 20,4%<br>26%<br>38,2% | -    | 48,0 (m)<br>44,0 (w)<br>47,4 (m)<br>43,0 (w)<br>47,0 (m)<br>42,8 (w) | 2,7<br>2,4<br>3,1<br>2,0<br>2,7<br>2,6 | Hemiarthroplastik-Operation |
| Young et al. 2014 [169]           | Skelettfemora       | Kaukasier + Afro-Amerikaner | 460               | (20-40)       | 52,2%                 | -    | 55,6 (m)<br>48,3 (w)   | 3,8<br>2,9                             |                             |
| Nelson et al. 2015 [135]          | Röntgen AP          | USA                         | 168               |               | 25%                   | -    | 62,88 (m)<br>53,9 (w)  | 0,65<br>0,4                            |                             |
| Cho et al. 2015 [143]             | CT Leichen          | Korea                       | 202               | 52,3          | 43,6%                 | -    | 48,50 (m)<br>43,25 (w)   | 2,23<br>2,12                           |                             |
| Bendaya et al. 2015 [176]         | Röntgen AP          | Frankreich                  | 30                | 46 (17-79)    | 53,4%                 | -    | 45,4 (r)<br>45,1 (l)   | 3,7<br>3,6                             |                             |
| Dimitriou et al. 2016 [75]        | CT (3D)             | -                           | 122               | 46,9 (31-58)  | 37,7%                 | 23,8 | 45,5   | 3,1                                    |                             |

Legende: n = Anzahl der untersuchten Hüften, Alter = mittleres Alter der Probanden [Jahren] mit (Range), Sex = männliche Probanden [%], BMI = mittlerer BMI [kg/m<sup>2</sup>], M = mittlerer HD in mm, SD = Standardabweichung in Grad, Geschlechtsangabe (m) = männlich, (w) = weiblich, (all) = männlich und weiblich zusammen, - = keine oder ungenaue Angabe

## **Danksagung**

Für die Überlassung des interessanten Themas danke ich Prof. Dr. A. Ekkernkamp, Direktor der Klinik und Poliklinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie und Rehabilitative Medizin der Universitätsmedizin Greifswald.

Meinem Betreuer, PD Dr. J. Lange, danke ich besonders für seine stete Unterstützung, die intensiven fachlichen Gespräche und seine zahlreichen Anregungen, die für mich bei der Anfertigung der Dissertation sehr wertvoll waren. Ebenfalls bedanke ich mich bei Herrn Dr. R. Laqua für die Erstellung des OsiriX-Plugins.

Weiterhin möchte ich mich bei Herrn Dr. T. Ittermann für seine Unterstützung bei der statistischen Auswertung bedanken. Außerdem gilt mein Dank Herrn Prof. Dr. H. Völzke sowie allen Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen, die an der SHIP-Studie beteiligt waren. Nicht zuletzt danke ich den Probanden, die sich im Rahmen der SHIP-Studie für die Untersuchungen zur Verfügung stellten.

Auch meiner Familie, meiner Freundin und meinen Freunden möchte ich für die Motivation und die Erholung zwischen den Arbeitsstunden danken. Besonders meiner Mutter, die mich jederzeit unterstützte und motivierte, danke ich von ganzem Herzen.