

# Technische Universität München

Klinik für Orthopädie und Sportorthopädie am Klinikum rechts der Isar

(Direktor: Prof. Dr. Rüdiger von Eisenhart - Rothe)

## **Eine Analyse der biometrischen Varianz des distalen Femurs bzgl. Parameter wie Alter, Geschlecht und ethnischer Herkunft unter Verwendung einer großen Knochendatenbank**

Nicola Sprakel

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Medizin

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Prof. Dr. Ernst J. Rummeny  
Prüfer der Dissertation: 1. apl. Prof. Dr. Rainer Burgkart  
2. Prof. Dr. Andreas B. Imhoff

Die Dissertation wurde am 15.05.2018 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät der Medizin am 12.12.2018 angenommen.

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>I - II</b>
Abkürzungsverzeichnis	III
1. Einleitung	4
1.1 Motivation	4
1.2 Ziel und Fragestellung der Arbeit	5
2. Grundlagen	6
2.1 Biometrie des distalen Femurs	6
2.1.1 Makroskopische Beschreibung des distalen Femurs	6
2.1.2 Achsen des distalen Femurs	7
2.2.2 Biometrisch relevante Längen des distalen Femurs	14
2.2.3 Biometrisch relevante Winkel des distalen Femurs	17
2.3 Biometrische Besonderheiten des Valgus- und Varus-Knies	21
2.4 Endoprothetische Aspekte	22
3. Methoden/ Material	25
3.1 Datensätze femoraler Knochen	25
3.2 Datenquelle	26
3.3 Ausschluss atypischer Femora	26
3.4 Beschreibung des Softwareanalyseprogrammes (Stryker® Anatomy Analysis Tool)	27
3.4.1 Datenbank-Filter	27
3.4.2 Ausmessungen	28
3.4.3 Konstruktionen	28
3.4.4 Screenshot- Evaluation	28
3.4.5 Auswertung	29
3.5 Statistik	30
4. Ergebnisse	31
4.1 Längen des distalen Femurs	31
4.2 Winkel des distalen Femurs	64
4.3 Zusammenfassung der Messergebnisse (4.1 – 4.2)	111

5. Diskussion	115
5.1 Ethnikspezifische Merkmale	116
5.2 Geschlechtsspezifische Merkmale	119
5.3 Altersspezifische Besonderheiten	124
5.4 Endoprothetische Aspekte	126
5.5 Limitationen der Arbeit	128
5.6 Ausblick	128
6. Zusammenfassung	129
7. Abbildungsverzeichnis	131
8. Tabellenverzeichnis	139
9. Literaturverzeichnis	140
10. Danksagung	144

## Abkürzungsverzeichnis

afrik. = afrikanisch/Afrikaner

AML = anteriore medio-laterale Länge

anat. TEA = anatomische transepikondyläre Achse

AP-Achse = anteriore-posteriore Achse

asiat. = asiatisch

BMI = Body-Mass-Index

chirurg. TEA = chirurgische transepikondyläre Achse

CT = Computertomographie

CTA = Kondylärer Drehwinkel

fAP = femorale anteriore-posteriore Länge

fAP lateral = femorale anteriore-posteriore Länge lateral

fAP medial = femorale anteriore-posteriore Länge medial

fML = femorale medio-laterale Länge

J = Jahre

K-TEP = Knie totalendoprothese

Kauk. = kaukasisch/Kaukasier

m = männlich

MCL = medialem Kollateralband

MW = Mittelwert/e

MRT = Magnetresonanztomographie

n = Anzahl

n.s. = nicht signifikant

SD = Standardabweichung

PCA = Posteriorer Kondylenwinkel

PCL = Posteriore Kondylenlinie

SmE = Sulkuslänge des medialen Epikondylus

TEA = transepikondyläre Achse

TEP = Totalendoprothese

ub = unbekannt (keine Angaben zur Ethnie, zum Geschlecht oder zum Alter vorhanden)

w = weiblich

# 1. Einleitung

## 1.1 Motivation

Die Anatomie des Bewegungsapparates wird in zahlreichen Lehrbüchern, Atlanten sowie wissenschaftlichen Studien genauestens dargestellt und illustriert. Im Bereich der makroskopischen Anatomie ist ein Großteil der Strukturen bereits umfassend beschrieben und namentlich deklariert worden.

Die Ansprüche der modernen medizinischen Versorgung erfordern es jedoch, dass wir über die rein anatomische Betrachtungsweise früherer Jahre hinausgehen und diese in naturwissenschaftliche und mathematisch technische Zusammenhänge einbetten.

Biometrische Untersuchungen, besonders die des Skeletts, haben die Mediziner dahingehend sensibilisiert, dass es in Bezug auf die Knochen auch noch weitergehende Unterschiede gibt als Längen und Breiten.

Auch wenn jedem orthopädischen Chirurgen angesichts seiner täglichen Arbeit die Größenverhältnisse und die Konfiguration des distalen Femurs bestens bekannt sein dürften, so ist die Berücksichtigung von Variationen, z. B. im Bereich der Femurkondylen, für die Versorgung mit Osteosynthesematerial oder mit einer optimal passenden Prothese von großer Bedeutung.

Die alleinige Orientierung an zu tastenden anatomischen Landmarken und prominenten Bezugspunkten könnte unzureichend sein.

Viele Studien deuten darauf hin, dass Menschen unterschiedlichen Alters und Geschlechts sowie unterschiedlicher Rassenzugehörigkeit anatomische Besonderheiten im Bereich des Skeletts aufweisen. Damit sind nicht die gängigen charakteristischen anatomischen Strukturen gemeint, sondern die feinen, plastisch-geometrischen Unterschiede, die sich nur anhand von biometrischen Messungen nachweisen lassen.

Derartige Messungen wurden früher anhand von Röntgenbildern vorgenommen. Da diese Untersuchungen lediglich auf einer 2D-Analyse basieren und der Knochen jeweils nur in einer Projektionsebene dargestellt wird, kann der Untersucher kein realitätsnahes, plastisches anatomisches Bild erhalten. Wichtige Landmarken sind oft nicht zu erkennen.

Auch ist die Vermessung von Röntgenbildern häufig problematisch, da bereits bei der Anfertigung der Aufnahmen durch die nicht korrekte Ausrichtung des darzustellenden Körperteils in Bezug auf die Abbildungsebene die Realität verzerrt abgebildet wird.

Eine 3D-Analyse anhand von computertomographischen Bildern kann diesen Fehler durch die automatische Berechnung einer Messung im 3D-Raum eliminieren, sodass die Anatomie der Probanden realitätsgenau dargestellt werden kann.

Die auf diese Weise gewonnen biometrischen Ergebnisse können dazu beitragen, dass die Patientenversorgung z. B. mit osteosynthetischen oder endoprothetischen Implantaten noch weiter optimiert wird.

Jüngste anthropometrische Studien haben gezeigt, dass sich die aktuellen Modelle von Knieprothesen in Bezug auf die Größe, Verankerungsarten und Werkstoffe unterscheiden. Die Firma Zimmer® Gender Solutions® war maßgeblich mit an der Forschung beteiligt, Knieprothesen sowohl für männliche als auch für weibliche Patientenkollektive zu entwickeln.

Viele Autoren, darunter auch Hosseinzadeh et al. haben in ihren Publikationen beschrieben, dass verschiedene Ethnien, wie z.B. Kaukasier, Asiaten und Afrikaner, Frauen und Männer sowie junge und alte Menschen unterschiedliche biometrische Charakteristika aufweisen und wahrscheinlich ein speziell auf sie abgestimmtes Prothesendesign benötigen (Hosseinzadeh et al., 2013).

## **1.2 Ziel und Fragestellung der Arbeit**

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, durch biometrische Messungen harte Daten zur Anatomie des distalen Femurs zu erhalten und anhand derer etwaige Unterschiede bei den verschiedenen Rassen, Geschlechtern und Altersgruppen herauszuarbeiten.

Konkret sollen folgende Fragen beantwortet werden:

Bestehen signifikante Unterschiede in der geometrischen Formgebung des distalen Femurs zwischen den verschiedenen Ethnien, den Geschlechtern sowie jungen und alten Menschen?

Wenn Unterschiede nachgewiesen werden können, ergeben sich daraus Konsequenzen für die Knieendoprothetik und besonders für das Prothesendesign?

Im ersten Teil der Arbeit soll eine Klärung dieser Fragen erfolgen, indem in einem Literaturüberblick die biometrisch relevanten Achsen und Winkel sowie die sich daraus ergebenden Typisierungen und Konfigurationen des distalen Femurs herausgearbeitet werden. Im zweiten Teil werden eigene Ergebnisse anhand von 988 Computertomographien von humanen Femora präsentiert. Das Material wurde freundlicherweise von der Firma Stryker® zur Verfügung gestellt.

Die Anfertigung der CT's erfolgte im Rahmen von Angiographien bzw. zur Abklärung von Polytraumata an verschiedenen Kliniken weltweit. Entsprechend der ethischen Richtlinien auf der Basis des „Patient Consent“ nahm man eine Anonymisierung und Segmentierung der Daten vor.

Die Arbeitsgruppe „Virtuelle Medizin“ der Klinik für Orthopädie und Sportorthopädie des Klinikums rechts der Isar der Technischen Universität München entwickelte in den vergangenen Jahren ein Computerprogramm, das exakte Messungen zwischen frei wählbaren Punkten auf der Knochenoberfläche ermöglicht.

Mit Hilfe dieses Programmes konnten in dieser Studie punktbasiert Achsen, Längen und Winkel gemessen und somit eine computergestützte Auswertung zur Biometrie und Konfiguration des distalen Femurs vorgenommen werden.

Die Erkenntnisse aus dieser Arbeit können dazu beitragen, dass die Industrie Osteosynthesematerial (z. B. winkelstabile Platten) und Endoprothesen noch besser als bisher auf die biometrischen Gegebenheiten der verschiedenen Patientengruppen abstimmen kann.

## **2. Grundlagen**

### **2.1 Biometrie des distalen Femurs**

#### **2.1.1 Makroskopische Beschreibung des distalen Femurs**

Das distale Ende des Femurs verbreitert sich trompetenartig und teilt sich durch einen Einschnitt, Fossa intercondyloidea, in zwei Kondylen oder Femurknorren, Condylus medialis und lateralis auf. Nur die letzteren sind überknorpelt. Nach vorne setzt sich der Knorpelüberzug auf die Facies patellaris fort, die Gleitfläche für die Kniescheibe. Der Condylus medialis ist gerade um so viel größer als der Condylus lateralis, dass die schiefe Richtung des Femurschafts ausgeglichen wird. Wären beide Kondylen gleich groß, so würde das Gelenkende des Knochens schief stehen; so aber steht es in einer horizontalen Ebene. Der Winkel zwischen dieser Ebene und der Längsachse des Schaftes, Kondylendiaphysenwinkel, beträgt 8 bis 10 Grad. Auf den Kondylen sitzen besondere Muskel- und Bandapophysen, die Epikondylen, je eine Epikondyle auf jeder Seite, Epikondylus medialis und Epikondylus lateralis. Das Planum popliteum des Schaftes ist gegen den Einschnitt zwischen den Kondylen durch eine scharfe Querlinie abgesetzt: Linea intercondyloidea. Am unteren Femurende ist die Kortikalis von zahlreichen Gefäßlöchern durchbohrt. Dicht oberhalb der Kondylen befinden sich kleine metaphysäre Arterien (H. Braus, 1929).

## 2.1.2 Achsen des distalen Femurs

### 2.2.1.1 Anatomische transepikondyläre Achse (anat. TEA) entsprechend femorale medio-laterale Länge (fML)

Die anat. TEA wurde von Berger et al. definiert und verbindet jeweils die prominenteste Vorwölbung am lateralen und medialen Epikondylus miteinander (Abb. 1). Diese beiden Punkte können vom Operateur auch bei einer kräftigen Weichteilmanschette in der Regel gut palpatorisch bestimmt werden (Berger et al., 1993).

Auch Poilvache et al., teilen mit, dass der mediale und laterale Epikondylus, unabhängig vom Operateur, intraoperativ nahezu immer klar abgegrenzt werden können und somit die anat. TEA eine zuverlässige Orientierungshilfe beim Einbau einer distalen Femurkomponente ist (Poilvache et al., 1996).

Laut Yoshino et al. ist der besonders prominente mediale Epikondylus in jedem Knie zu identifizieren (Yoshino et al., 2001).

Arima et al. äußern jedoch Bedenken bezüglich der eindeutigen präzisen Identifizierung der Peaks von Epikondylus medialis und lateralis. Diese könnten verdeckt werden durch darüberliegende Bänder und Fettgewebe. Sie sind sich jedoch sicher, dass in Kniegelenken, die von schwergradigen panarthrotischen Destruktionen gekennzeichnet sind, die anat. TEA die einzige zuverlässige Landmarke für die Rotationsausrichtung der Femurkomponente ist (Arima et al., 1995).

Matsuda et al. sind hingegen anderer Meinung. Die Abbildungen 2 a und 2 b zeigen, dass in ausgeprägten Varusdeformitäten die anat. TEA im Verhältnis zur posterioren Kondylenlinie (PCL) um ca. 6 Grad nach außen rotiert ist und in Kniegelenken mit einer ausgeprägten Valgusdeformität die anat. TEA im Verhältnis zu der PCL um 11 Grad nach außen rotiert ist (Matsuda et al., 2004).

Die femorale medio-laterale Länge (fML) entspricht der anat. TEA, welche die laterale mit der medialen Prominenz der Femurkondylen verbindet.



Abbildung 1: Axiale Ansicht des rechten distalen Femurs. Abgebildet sind die laterale und mediale Prominenz an den Femurepikondylen und die sich daraus ergebende anat. TEA, welche der femoralen medio-lateralen Länge entspricht (Berger et al., 1993).



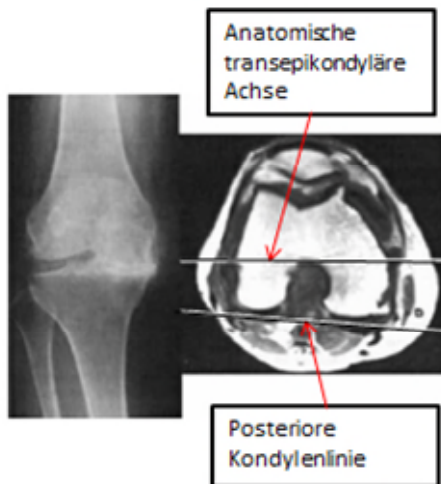


Abbildung 2 a

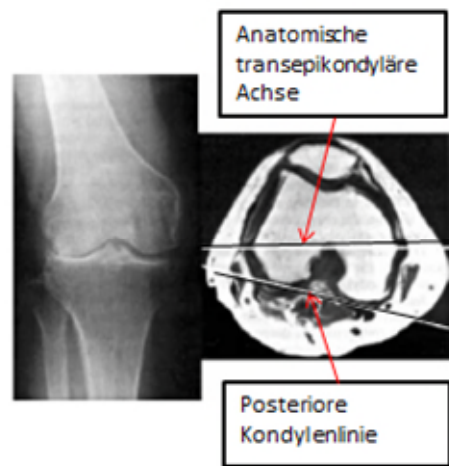


Abbildung 2 b

Abbildung 2 a: AP-Röntgenaufnahme eines rechten Varuskniees im Stehen und eine axiale MRT-Aufnahme des distalen Femurs eines rechten Varuskniees. Die anat. TEA ist im Verhältnis zu der PCL um ca. 6 Grad nach außen rotiert (Matsuda et al. 2004).

Abbildung 2 b: AP-Röntgenaufnahme eines rechten Valguskniees im Stehen und eine axiale MRT-Aufnahme des distalen Femurs eines rechten Valguskniees. Die laterale Femurkondyle ist verkürzt im Vergleich zur medialen Kondyle, und die anat. TEA ist im Verhältnis zu der PCL um 11 Grad nach außen rotiert (Matsuda et al., 2004).

### 2.2.1.2. Chirurgische transepikondyläre Achse (Chirurg. TEA)

Berger et al. definieren die chirurg. TEA als eine Gerade, die den Sulkus am medialen Epikondylus mit der prominentesten palpablen Struktur am lateralen Epikondylus verbindet (Abb. 3) (Berger et al., 1993).

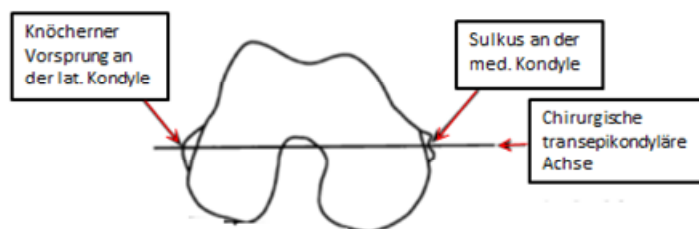


Abbildung 3: Axiale Ansicht des rechten distalen Femurs. Abgebildet sind die Prominenz an der lateralen Epikondyle und der Sulkus an der medialen Epikondyle und die sich daraus ergebende chirurg. TEA (Berger et al., 1993).

Der Sulkus wird von einem knöchernen Kamm umgeben, der einem nach distal offenen Hufeisen ähnelt und an dessen Rand das mediale Kollateralband inseriert. Die Tiefe des Sulkus beträgt lediglich 0,2 bis 2,2 mm und ist deswegen bei den meisten Patienten sehr schwierig zu lokalisieren (Abb. 4) (Griffin et al., 2000). Ganz besonders trifft dieses bei Patienten mit einer Arthrose zu (Yoshino et al., 2001).

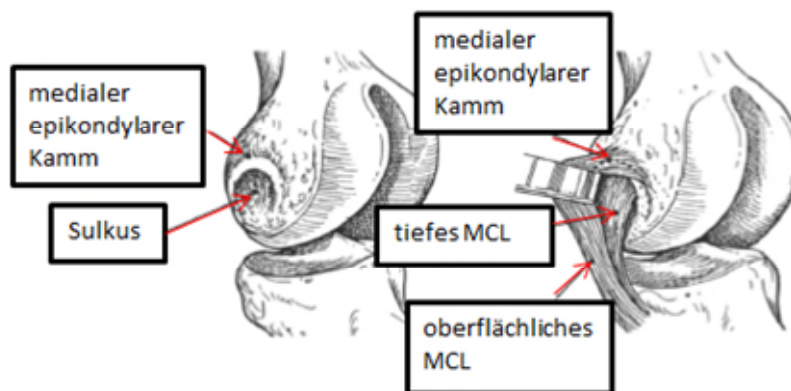


Abbildung 4: Zeichnung des medialen Epikondylus mit Kamm und Sulkus, mit tiefem und oberflächlichem medialem Kollateralband (MCL) (Griffin et al., 2000).

Bei den untenstehenden CT-Aufnahmen ist gut zu erkennen, dass der mediale Sulkus bei fortgeschrittener Arthrose nicht mehr nachweisbar ist, wohingegen der prominente Epikondylus medialis unabhängig vom Grad der Arthrose deutlich identifiziert werden kann (Abb. 5 a und b) (Yoshino et al., 2001).

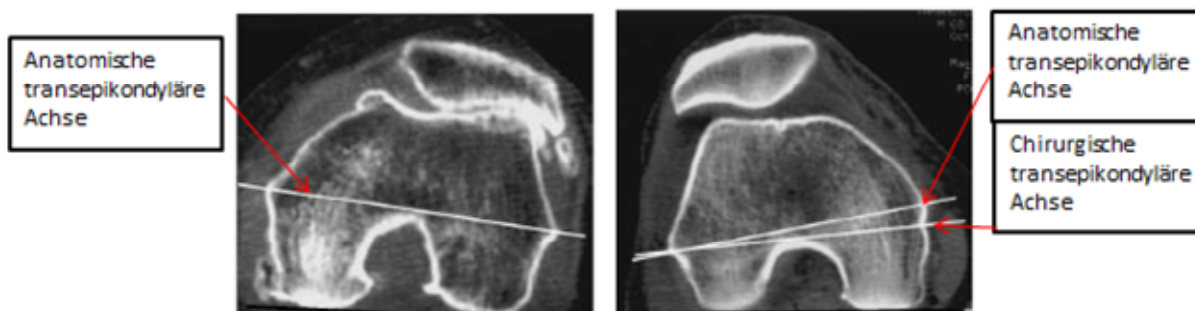


Abbildung 5 a

Abbildung 5 b

Abbildung 5 a: CT-Aufnahme. Linkes distales Femur einer 71-jährigen Patientin mit viertgradiger Arthrose. Der mediale Sulkus ist nicht darstellbar (Yoshino et al., 2001).

Abbildung 5 b: CT-Aufnahme. Rechtes distales Femur eines 68-jährigen Patienten mit zweitgradiger Arthrose. Der mediale Sulkus ist gut darstellbar (Yoshino et al., 2001).

Auch Poilvache et al. haben Bedenken bzgl. der Praxistauglichkeit der chirurg. TEA. Oft sei es wegen der Überlagerung von Weichteilen und Fettgewebe nicht möglich, den medialen Sulkus während einer Knieoperation klar zu identifizieren (Poilvache et al., 1996).

Asano et al. dokumentieren in ihrer Studie, dass die chirurg. TEA verlässlicher und besser reproduzierbar ist als die anat. TEA. Computertomographisch gesteuert untersuchen Asano et al. die funktionale Flexions-Extensionsachse, welche durch die posterioren Kondylen des distalen Femurs verlaufen. Hierbei zeigen die Untersuchungen, dass die funktionale Flexions-Extensionsachse der chirurg. TEA entspricht und diese somit als verlässlicher und besser reproduzierbar gilt als die anatomische transepikondyläre Achse.

Im klinischen Alltag werden die anat. TEA sowie die chirurg. TEA pauschal als transepikondyläre Achse (TEA) des Kniegelenks zusammengefasst. Sie entspricht der femoralen medio-lateralen Länge (fML).

Die TEA dient der Bestimmung der Drehausrichtung der Femurkomponente beim Einbau von Knieendoprothesen (Tanavalee et al., 2001).

Anatomisch gesehen verbindet die TEA den Ursprung des medialen und des lateralen Kollateralbandes (Berger et al., 1993).

In kinematischen Studien konnte nachgewiesen werden, dass die Flexion und Extension des Kniegelenks über eine Reihe von sich je nach Flexionsgrad ändernden Kompromissachsen erfolgen, die jeweils der TEA relativ ähnlich sind (Akagi et al., 2001), (Churchill et al., 1998), (Hollister et al., 1993), (Akagi et al., 2001).

Studien an Leichen zeigen, dass die Ausrichtung der Femurkomponente parallel zu der TEA zu einer Minimierung der patello-femorale und femoro-tibialen Scherkräfte führt. Dieses ist eine wichtige Voraussetzung für ein biomechanisch optimales Patellagleiten sowie für eine Minimierung der Abnutzung der femoralen und tibialen Prothesengelenkflächen (Akagi et al., 1999), (Luo et al., 2001).

Eine in vivo durchgeführte Studie, die mit Hilfe einer biplanaren Bildanpassungstechnik durchgeführt wurde, macht deutlich, dass die Flexions-Extensions-Achse während einer 0° bis 90° Beugung mit der TEA korrespondiert (Asano et al., 2005).

Des Weiteren ist die TEA eine wichtige Referenz für das physiologische Alignment des Weichteilgewebes (Luo et al., 2001), (Luo et al., 2004).

Die Vorteile der TEA im Vergleich zur antero-posterioren Achse (AP-Achse) sind, dass die Erstgenannte weniger stark von patello-femorale Dysplasien, arthrotischen Veränderungen und anlagebedingten Variationen beeinflusst wird. Auch besteht in der Regel keine signifikante Außenrotation in Bezug auf die hintere Kondylenlinie des Femurs (PCL).

Vergleichbare andere klinische Studien bestätigen, dass die TEA zur Ermittlung einer anatomiegerechten Rotationsstellung des distalen Femurs aussagefähiger ist als andere Achsen oder Fixpunkte (Akagi et al., 1999), (Miller et al., 2001), (Stiehl and Abbott, 1995).

Durch den zusätzlichen Abgleich zwischen AP-Achse und der Linie parallel zu der TEA ist eine weitere Kontrolle gegeben, sodass dadurch eine physiologisch korrekte femorale Rotationsausrichtung sichergestellt werden kann (Poilvache et al., 1996).

### 2.2.1.3 Anterio-posteriore Achse (AP-Achse) des Femurs (Whiteside`s Line)

Die AP-Achse des distalen Femurs ist definiert als eine Linie durch den tiefsten Teil der Facies patellaris und der Mitte der Fossa intercondylaris (Abb. 6) (Arima et al., 1995).

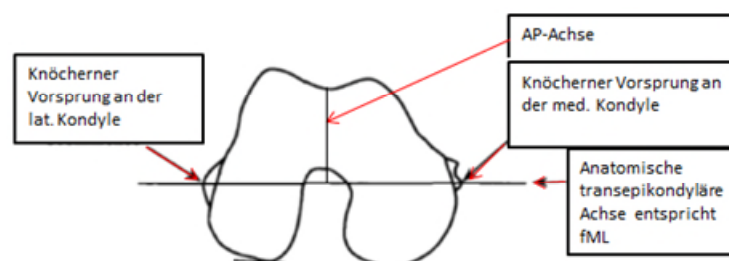


Abbildung 6: Axiale Ansicht des rechten distalen Femurs. Abgebildet sind die laterale und mediale Prominenz an den Femurepikondylen und die sich daraus ergebende anat. TEA sowie die sich senkrecht daraus ergebende AP-Achse (Berger et al., 1993).

Arima ist der Meinung, dass die genannten Landmarken intraoperativ deutlich zu identifizieren und für die Ermittlung der richtigen Rotationsausrichtung der femoralen Prothesenkomponenten von großer Bedeutung sind (Arima et al., 1995).

Ganz besonders wichtig scheint die AP-Achse für die Bestimmung der Drehausrichtung der Femurkomponente bei schweren Valgus-Deformitäten zu sein (Luo et al., 2004).

Eine retrospektive Studie über die Implantation von 153 Knieendoprothesen bei Patienten mit starker Valgus-Deformität zeigt, dass in diesen Fällen die AP-Achse besser angewendet werden kann als die anat. TEA oder die chirurg. TEA. Der Autor schlussfolgert, dass die AP-Achse beim Genu valgus eine sichere Landmarke darstellt (Luo et al., 2004).

#### 2.2.1.4 Senkrechte Linie zu der AP-Achse

Die senkrechte Linie zur AP-Achse nimmt als Referenzachse die AP-Achse, wie sie unter 2.1.1.3 beschrieben wird, und bildet dazu eine senkrechte Achse, die mit X in den Abbildungen 7 a und 7 b gekennzeichnet ist.

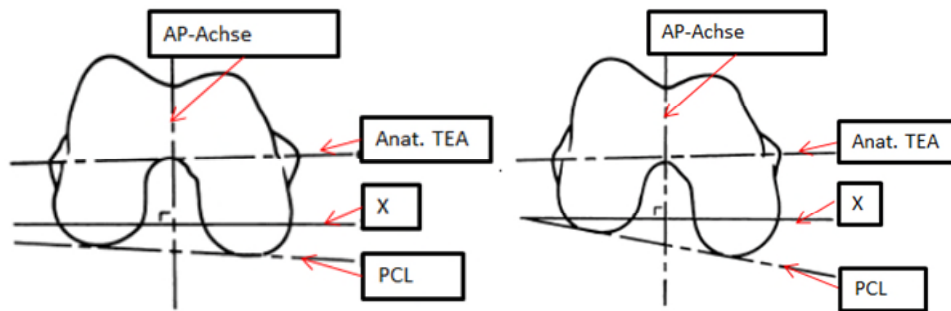


Abbildung 7 a

Abbildung 7 b

Abbildung 7 a: Darstellung der Achsen in einem rechten distalen Femur mit einer normalen Kondylenkontur. Die Resektion senkrecht zur AP-Achse oder parallel zur anat. TEA resultiert in einer Resektionslinie X, welche in Bezug auf die PCL nur in geringem Maße nach außen rotiert ist. Dieses führt zu einer korrekten Positionierung der Femurkomponente (Arima et al., 1995).

Abbildung 7 b: Axiale Ansicht eines rechten distalen Femurs mit einer schweren Valgusdeformität und einer daraus resultierenden verkleinerten lateralen Femurkondyle. Eine Resektion senkrecht zur AP-Achse oder parallel zu der anat. TEA resultiert in einer Resektionslinie X, die stark nach außen rotiert ist in Relation auf die PCL. Dieses führt zu einer weniger großen Resektion des lateralen Femurkondylus und zu einer korrekten Drehausrichtung der femoralen Komponente in Bezug auf die übrigen Strukturen einschließlich der Patellarinne (Arima et al., 1995).

#### 2.2.1.5 Posteriore Kondylenlinie des Femurs (PCL)

Die PCL wird definiert als die Tangente an den hinteren kondylären Oberflächen und hat in der Endoprothetik eine Bedeutung als Referenz für die Ermittlung der korrekten Rotation der femoralen Komponente (Abb. 8).

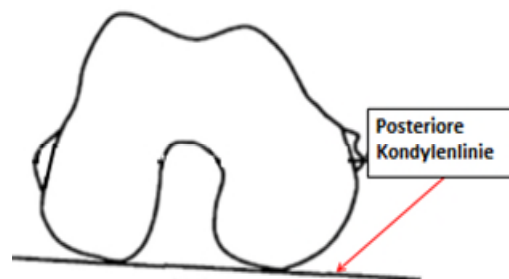


Abbildung 8: Axiale Ansicht eines rechten distalen Femurs. Abgebildet ist die PCL (Berger et al., 1993).

Der Verlauf der PCL wird jedoch durch arthrosebedingte Veränderungen der Gelenkoberfläche leicht beeinflusst. So sind bei Valgus-Knien die lateralen Femurkondylen oft verkleinert (Luo et al., 2004).

Unter diesen anatomischen Gegebenheiten ist die PCL innenrotiert, verglichen mit der von Patienten mit normal geformten Kondylen. Aufgrund dieser Faktoren scheint die PCL nur bedingt geeignet zu sein, um die Drehausrichtung der endoprothetischen Femurkomponente sicher zu bestimmen (Nagamine et al., 1998).

Auch andere Studien bestätigen, dass für die Einstellung der femoralen Rotation die PCL weniger zuverlässig ist als die TEA oder die AP-Achse (Luo et al., 2004).

Im Gegensatz zu Luo et al. berichten Mantas et al., dass viele Orthopäden sich beim Protheseneinbau an der PCL orientieren, wenn es um die Ausrichtung der Schablone für die Resektion des distalen Femurs geht (Mantas et al., 1992).

Sowohl in der orthopädischen als auch in der biomechanischen Literatur wird darauf hingewiesen, dass die PCL als eine Kompromissachse bei der Kniegelenksflexion angesehen werden kann (Insall et al., 2002).

Demnach ist die PCL eine wichtige Orientierungshilfe bei der Bestimmung der femoralen Resektionsebene, zumindest bei einer Prothesenerstimplantation (Mantas et al., 1992).

#### 2.2.1.6. Distale Kondylenlinie

Die distale Kondylenlinie ist die Tangente entlang der medialen und der lateralen Femurkondyle (Abb. 9) (Lustig et al., 2008).

#### 2.2.1.7. Mechanische Femurachse

Um die mechanische Femurachse zu definieren, werden der Mittelpunkt des Femurkopfes sowie der Mittelpunkt der chirurg. TEA bestimmt, diese beiden Punkte werden miteinander durch eine Achse verbunden (Abb. 9) (Lustig et al., 2008).

Die mechanische Femurachse wird benötigt, um zusammen mit der distalen Kondylenlinie den mechanischen Schenkelwinkel zu bilden.

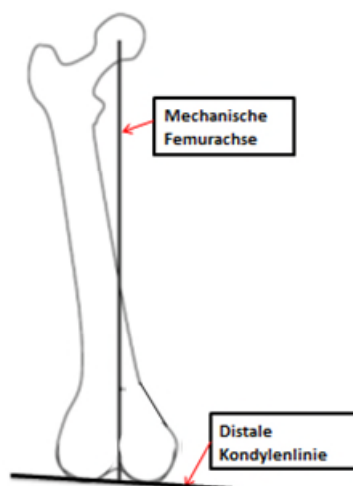


Abbildung 9: Koronare Ansicht des rechten Femurs. Eingezeichnet sind die distale Kondylenlinie und die mechanische Femurachse (Lustig et al., 2008).

## 2.2.2 Biometrisch relevante Längen des distalen Femurs

### 2.2.2.1 Anteriore medio-laterale Länge (AML)/anteriore Peak-Differenz/Trochlearachse

Die AML, auch anteriore Peak-Differenz oder Trochlearachse genannt, ist definiert als die Distanz zwischen der anterioren Spitze der medialen und der anterioren Spitze der lateralen Kondyle (Abb. 10 a – d) (Hosseinzadeh et al., 2013).

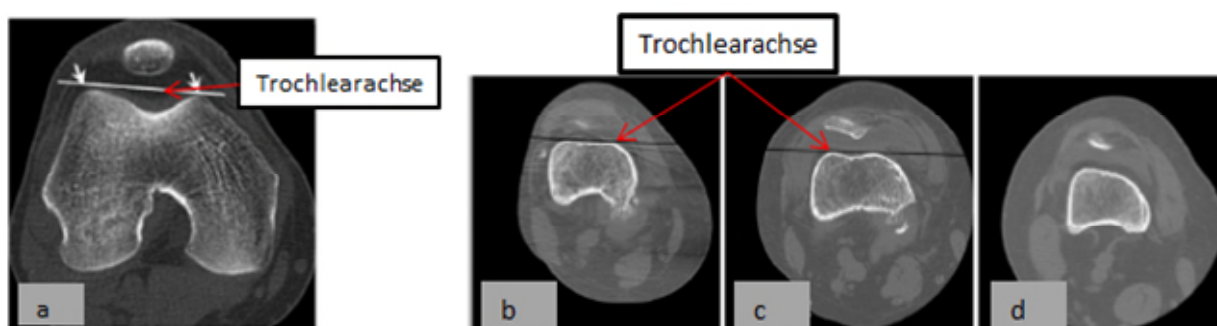


Abbildung 10 a, b, c, d: Axiale CT-Schnitte durch das rechte distale Femur.

Abbildung 10 a: Die zwei weißen Pfeile zeigen auf die am weitesten anterior gelegenen Punkte der Trochlea. Durch Verbinden dieser zwei Punkte entsteht die Trochlearachse, weiße Achse (Won et al., 2007).

Abbildung 10 b – d: Sie zeigen verschiedene Formgebungen bzw. Typen des distalen anterioren Femurs und die sich daraus ergebende Trochlearachse, schwarze Achse. Abbildung 10 d stellt eine Formgebung vor, die die Einzeichnung einer Trochlearachse nicht zulässt (Watanabe et al., 2011).

### 2.2.2.2 Femorale anteriore-posteriore Länge lateral (fAP lateral) und die femorale anteriore-posteriore Länge medial (fAP medial)

Die fAP lateral verbindet die am weitesten anterior gelegene mit der am weitesten posterior gelegenen Projektion der lateralen Femurkondyle, und die fAP medial verbindet die am weitesten anterior gelegene mit der am weitesten posterior gelegenen Projektion der medialen Femurkondyle miteinander (Abb. 11) (Hosseinzadeh et al., 2013).

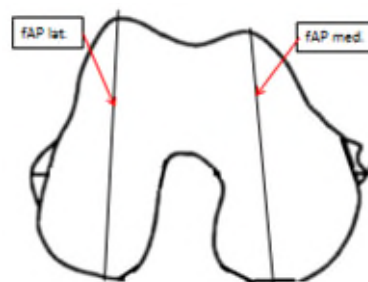


Abbildung 11: Axiale Ansicht des rechten distalen Femurs. Es ist die fAP lateral sowie die fAP medial dargestellt (Berger et al., 1993).

### 2.2.2.3 Mediale und laterale Kondylenlänge

Die Länge des medialen und des lateralen Kondylus erstreckt sich jeweils von der medialen bzw. lateralen bis zur entsprechenden interkondylären Grenzlamelle und zwar in Höhe der anat. TEA (Abb. 12) (Berger et al., 1993).

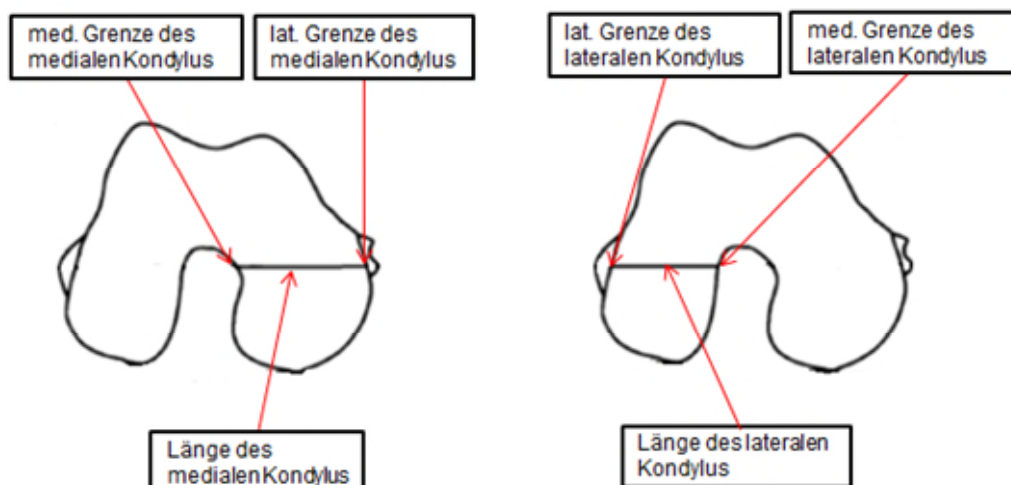


Abbildung 12 a

Abbildung 12 b

Abbildung 12 a, b: Axiale Ansicht des rechten distalen Femurs.

Abbildung 12 a: Dargestellt ist die Länge des medialen Kondylus.

Abbildung 12 b: Dargestellt ist die Länge des lateralen Kondylus (Berger et al., 1993).



#### 2.2.2.4 Interkondyläre Länge

Die interkondyläre Länge entspricht dem Abstand von der lateralen Grenze der medialen Kondyle bis zur medialen Grenze der lateralen Kondyle. Anatomisch handelt es sich dabei um den interkondylären Spalt (Abb. 13) (Berger et al., 1993).

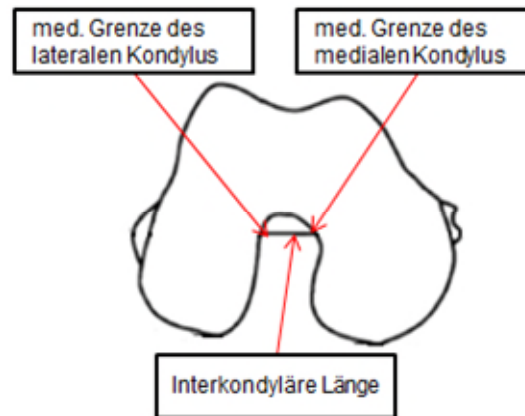


Abbildung 13: Axiale Ansicht des rechten distalen Femurs, der die interkondyläre Länge zeigt (Berger et al., 1993).

#### 2.2.2.5 Sulkuslänge des medialen Epikondylus (SmE)

Die SmE wird definiert als die Entfernung von der prominenten anterioren zur prominenten posterioren Sulkusbegrenzung (Abb. 14)

(Griffin et al., 2000).

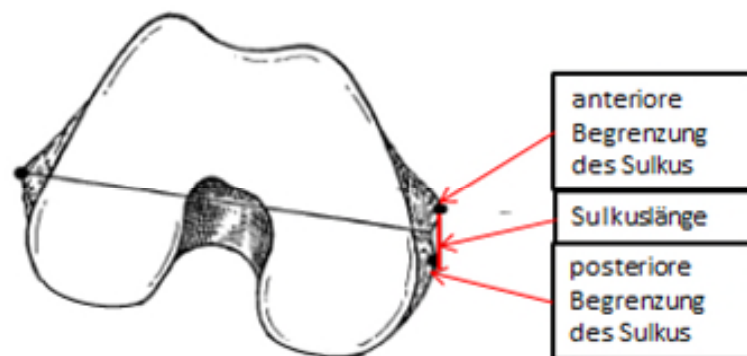


Abbildung 14: Axiale Ansicht des rechten distalen Femurs. Auf der medialen Seite ist der Sulkus mit der anterioren und posterioren Begrenzung dargestellt. Verbindet man diese beiden Punkte, erhält man die SmE (Griffin et al., 2000).

### 2.2.2.6 Femorale Querachse/Funktionale Flexions-Extensions-Achse

Bei der Bemessung des Radius der lateralen und der medialen Femurkondyle wird ein bestmöglich passender Kreis in der lateralen Ansicht um die Begrenzungen sowohl der lateralen als auch der medialen Femurkondyle gelegt und der jeweilige Mittelpunkt des Kreises bestimmt. Dadurch ergeben sich die approximierten Radien des medialen bzw. lateralen Femurkondylus. Verbindet man die beiden Mittelpunkte der Femurkondylen miteinander, so erhält man zusätzlich die femorale Querachse oder, wie sie auch genannt wird, die funktionale Flexions-Extensions-Achse (Abb. 15) (Asano et al., 2005), (Victor et al., 2009). Sie entspricht der anat. TEA und verläuft parallel zur chirurg. TEA in der Achsenebene (Victor, 2009).

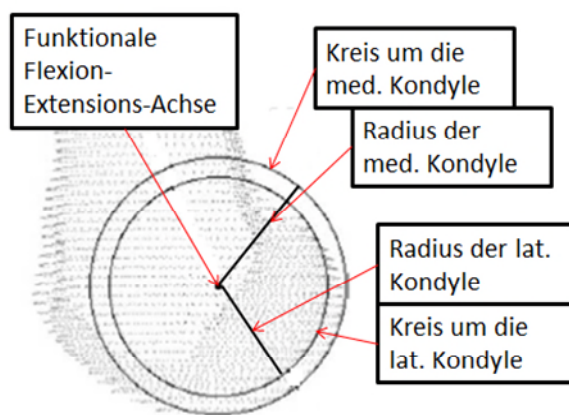


Abbildung 15: Laterale Ansicht auf die Kondylen des distalen Femurs. Die Verbindungsachse der beiden Mittelpunkte der Kreise um die laterale und mediale Femurkondyle kennzeichnet die funktionale Flexions-Extensions-Achse und dient zugleich als Ausgangspunkt für die Bestimmung des Radius des medialen bzw. lateralen Femurkondylus (Asano et al., 2005).

### 2.2.3 Biometrisch relevante Winkel des distalen Femurs

Im folgenden Abschnitt werden fünf Winkel näher beschrieben: Der posteriore Kondylenwinkel (PCA) (2.2.3.1), der kondyläre Drehwinkel (CTA) (2.2.3.2), der epikondyläre Winkel sowie der mechanische Schenkelwinkel (2.2.3.3) und der Femurgelenkwinkel (2.2.3.4).

Ferner werden auch die Winkel zwischen

- der senkrechten Linie zur AP-Achse und der PCL,
- der senkrechten Linie zur AP-Achse und der chirurg. TEA und
- der senkrechten Linie zur AP-Achse und der anat. TEA

gemessen.

Weitere Messungen beziehen sich auf den Winkel zwischen

- der AP-Achse und der PCL,
- der AP-Achse und der chirurg. TEA und
- der AP-Achse und der anat. TEA.

Ferner werden die Winkel zwischen

- der anatomischen Femurachse und der anat. TEA,
- der mechanischen Femurachse und der distalen Kondylenlinie,
- der chirurg. TEA und der anat. TEA,
- der AML und der anat. TEA,
- der AML und der chirurg. TEA,
- der femoralen Querachse und der anat. TEA,
- der femoralen Querachse und der chirurg. TEA und
- der femoralen Querachse und der PCL.

bestimmt.

#### 2.2.3.1 Posteriorer Kondylenwinkel (PCA)

Der PCA wird von der chirurg. TEA und der PCL gebildet (Abb. 16). Er kann ein zusätzlicher messtechnischer Parameter sein zur Bestimmung der Drehausrichtung der femoralen Prothesenkomponente.

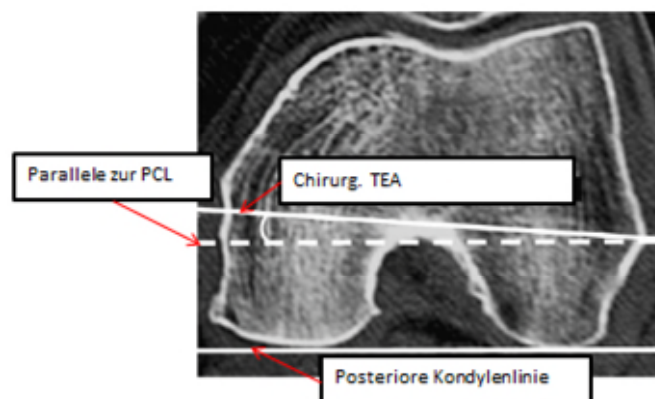


Abbildung 16: Axialer CT-Schnitt durch das linke distale Femur. Der PCA wird gebildet durch die chirurg. TEA und die PCL (Aglietti et al., 2008).

Der PCA ist signifikant größer in Valgus- als in Varus-Knien. Keinen signifikanten Unterschied gibt es hingegen bezüglich des PCA zwischen Varus-Knien und solchen ohne Achsabweichung (Aglietti et al., 2008).

Griffin et al. beschreiben, dass der PCA sehr variabel ist und demzufolge eine unzuverlässige Orientierungshilfe für die Bestimmung der femoralen Rotationsachse darstellt. (Griffin et al., 1998).

Laut Griffin et al. gibt es keine Unterschiede zwischen Männern und Frauen. Allerdings ist der PCA bei älteren Menschen größer als bei jüngeren. Dieses liegt daran, dass es durch die altersbedingte postero-laterale Abnutzung der Femurkondylen tendenziell zu einer Verringerung der Distanz zwischen der lateralen Kondyle und der PCL kommt und sich somit eine Zunahme des PCA vollzieht (Griffin et al., 2000).

#### 2.2.3.2 Kondylärer Drehwinkel (CTA)

Der CTA ist der Winkel, der von der anat. TEA und der PCL gebildet wird (Abb. 17). Auf diesen wird zurückgegriffen, wenn der Sulkus an der medialen Seite nicht aufzufinden ist (Aglietti et al., 2008).

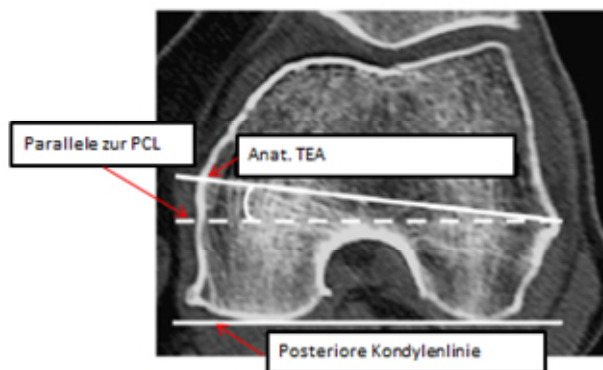


Abbildung 17: Axialer CT-Schnitt durch das linke distale Femur. Der CTA wird gebildet durch die anat.TEA und die PCL (Aglietti et al., 2008).

#### 2.2.3.3 Epikondylärer Winkel und mechanischer Schenkelwinkel

Der epikondyläre Winkel wird von der chirurg. TEA und der mechanischen Femurachse gebildet (Lustig et al., 2008). Die mechanische Femurachse verbindet den Mittelpunkt des Femurkopfes mit dem Mittelpunkt der distalen Femurkondyle (Abb. 18) (Lustig et al., 2008).

Der mechanische Schenkelwinkel wird von der distalen Kondylenlinie und der mechanischen Femurachse gebildet (Abb. 18) (Lustig et al., 2008).

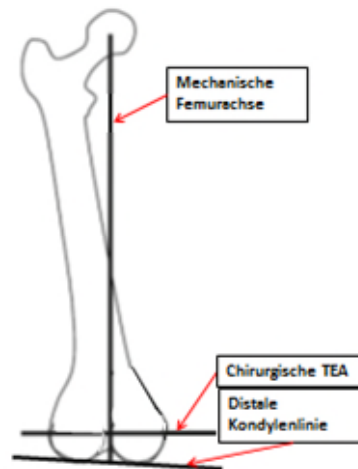


Abbildung 18: Koronare Ansicht des rechten Femurs. Eingezeichnet sind die distale Kondylenlinie, die chirurg. TEA und die mechanische Femurachse (Lustig et al., 2008).

#### 2.2.3.4 Femurgelenkwinkel

Der Femurgelenkwinkel ist definiert als Winkel zwischen der distalen Kondylenlinie und der anatomischen Femurachse. Diese anatomische Femurachse wird durch zwei Punkte, die im intramedullären Kanal des Femurs liegen, gebildet (Abb. 19) (Nagamine et al., 2000).

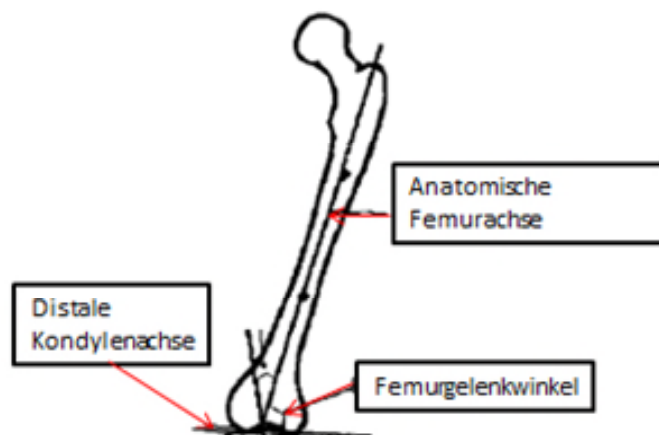


Abbildung 19: Der Femurgelenkwinkel kennzeichnet den Winkel zwischen der anatomischen Femurachse und der distalen Kondylenlinie (Matsuda et al., 2004).

### 2.3 Biometrische Besonderheiten des Valgus- und Varus-Knies

Physiologisch verläuft die Belastungsachse des Beins (Miculicz-Linie) vom Hüftgelenkszentrum mittig durch das Kniegelenk (Area intercondylaris) bis zur Mitte des oberen Sprunggelenks.

Das Genu valgum weist, bezogen auf das Gelenkzentrum, eine laterale Abweichung der Traglinie (X-Bein-Stellung) und das Genu varum eine mediale Abweichung (O-Bein-Stellung) auf. Dadurch wird vermehrt das laterale bzw. mediale Kniegelenkkompartiment belastet und abgenutzt.

Die Diagnose eines Genu valgum oder varum erfolgt klinisch am gerade auf beiden Beinen stehenden Patienten, der die Füße in Neutralstellung ausgerichtet hat. Der Patient soll versuchen, Knie und Knöchel vollständig einander anzunähern. Bei einem Valgus-Knie verbleibt nach Zusammenführen der Kniegelenke durch die Achsenabweichung des Unterschenkels ein Abstand zwischen den Innenknöcheln, beim Varus-Knie ein Abstand zwischen den medialen Femurkondylen.

Die nativ radiologische Beurteilung der Beinachse bzw. der Gelenktragachse (Miculicz-Linie) erfolgt mittels Ganzbeinaufnahmen im Stand im a.-p. Strahlengang.

Dabei geht man von der in Grad gemessenen Winkelstellung zwischen Femur- und Tibiaachse aus. Es kann zwischen der mechanischen und anatomischen Ganzbeinachse unterschieden werden. Zur Bestimmung der Ganzbeinachsen muss die jeweilige anatomische und mechanische Einzelachse von Tibia und Femur bestimmt werden.

Die mechanische Beinachse ist der Winkel zwischen der mechanischen Achse von Femur und Tibia und beträgt bei gerader Beinachse 0,0 bis 2,3 Grad Valgus. Die anatomische Beinachse ist der Winkel zwischen der anatomischen Achse von Femur und Tibia und beträgt bei gerader Beinachse 5 bis 7 Grad Valgus. Die mechanische und anatomische Achse werden in Grad angegeben. Positive Werte kennzeichnen Valgusfehlstellungen und negative Werte Varusfehlstellungen (Pape and Kohn, 2007).

Eine ausgeprägte Valgusstellung liegt vor, wenn die mechanische Ganzbeinachse  $> 5$  Grad oder die anatomische tibio-femorale Achse  $> 10$  Grad betragen (Favorito et al., 2002), (Whiteside and Arima, 1995).

Griffin et al. weisen darauf hin, dass beim Valgus-Knie eine höhere Belastung der lateralen und insbesondere der postero-lateralen Gelenkfläche mit einer entsprechend höheren Abnutzung vorliegt. Die resultierende Verkleinerung der Kondyle habe eine innenrotierte PCL mit einem größeren PCA im Vergleich zu den Kniegelenken mit einer physiologischen Achse oder einer Varusachsabweichung zur Folge (Abb. 20 a und b) (Griffin et al., 1998).

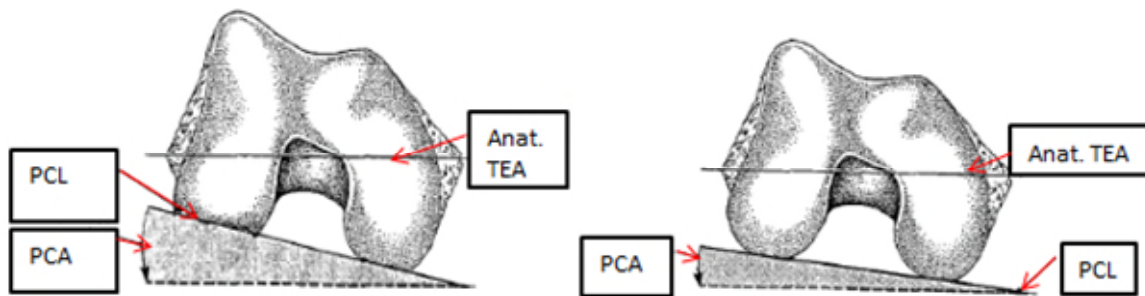


Abbildung 20 a

Abbildung 20 b

Abbildung 20 a, b: Axiale Ansicht eines rechten distalen Femurs.

Abbildung 20 a: Der größere PCA mit der entsprechenden postero-lateralen Kondylenform bei einem Knie mit valgischer Ganzbeinachse.

Abbildung 20 b: Ein kleinerer PCA bei normaler oder varischer Ganzbeinachse (Griffin et al., 1998).

## 2.4 Endoprothetische Aspekte

Bei der Implantation einer Knie-TEP ist die korrekte rotationsgerechte Ausrichtung der Femurkomponente von wesentlicher Bedeutung für die Erzielung der richtigen Varus- und Valgusstabilität sowie die Patellaführung (Abb. 21 a und b).

Um dieses Ziel zu erreichen, orientieren sich die Operateure an der anat. TEA und der chirurg. TEA (Elias et al., 1990), (Katz et al., 2001), (Yoshioka et al., 1987), der AP-Achse (Arima et al., 1995) und der PCL (Griffin et al., 1998).

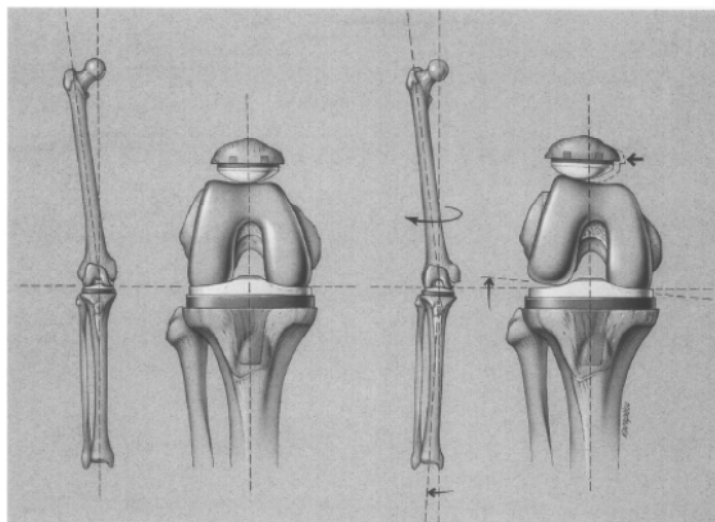


Abbildung 21 a

Abbildung 21 b

Abbildung 21 a und b: Koronare Ansichten von in 90 Grad flektierten rechten Kniegelenken. Eine Innenrotation der Femurkomponente führt zu einem fehlerhaften Sitz der Patella und zu Instabilitäten in der Beugung des Kniegelenkes (Sheppard and Rubash, 1998).

Die gängigen Schnittführungen am distalen Femur bewirken eine Außenrotation der Femurkomponente um wenige Grade in Relation zu den hinteren Kondylen.

Die anatomische Beschaffenheit der hinteren Kondylen verändert sich jedoch mit zunehmender Arthrose, sodass die Verwendung eines standardisierten Außenrotationswinkels den individuellen anatomischen Gegebenheiten nicht gerecht wird und somit bei vielen Patienten eine fehlerhafte Rotationsausrichtung der Femurkomponente resultiert.

Mehrere Autoren konnten anhand von radiologischen und MR-tomografischen Studien zeigen, dass beim Genu valgum regelmäßig eine Hypoplasie der lateralen Kondyle vorhanden ist (Murray and Rand, 1993), (Phillips and Krackow, 1999).

Bei einer solchen Situation muss präoperativ das Ausmaß der Hypoplasie quantifiziert werden, damit durch eine korrigierende Resektion die Fehlform neutralisiert und dadurch eine physiologische Achsen- und Rotationsausrichtung ermöglicht wird (Matsuda et al., 2004).

Im Gegensatz zum Genu valgum weisen die Varus-Knie keine Hypoplasie oder einen fortgeschrittenen Verschleiß im dorsalen Bereich der medialen Kondyle auf (Matsuda et al., 1998).

Matsuda et al. stellen weiterhin fest, dass der Femurgelenkwinkel beim Genu valgum signifikant kleiner ist als beim Genu varum oder beim gesunden Knie (Matsuda et al., 1998).

Für einen möglichst achsen- und rotationsgerechten Einbau der TEP ist laut Insall et al. eine unterschiedliche Resektion der lateralen und medialen Femurkondyle vorzunehmen, um auf diese Weise eine Varusneigung zur Querachse des Knies zu bekommen.

Dadurch werde der Bandapparat in der Beugung im Gleichgewicht gehalten und die Patellaführung verbessert (Insall et al., 1985).

Arima et al. berichten, dass bei einem Knie mit einer normalen Kondylenkontur eine in Bezug auf die PCL parallel oder etwas nach außen rotierte Resektion der Femurkondylen zu einer in Relation zu den anderen Landmarken und Bezugspunkten korrekten Drehausrichtung des Implantats führt (Arima et al., 1995).

In einem Genu valgum mit einem hypoplastischen lateralen Femurkondylus hat eine Resektionslinie parallel zur anat.TEA und senkrecht zur AP-Achse eine kleinere Resektion des lateralen Femurkondylus zur Folge mit dem Ergebnis, dass die resezierte femorale Oberfläche eine korrekte Außenrotationsausrichtung aufweist (Arima et al., 1995), (Poilvache et al., 1996).



Umgekehrt würde man eine starke Innenrotationsausrichtung der Femurkomponente erwarten, wenn entsprechend große Anteile von den posterioren Femurkondylen in einem Knie mit einer Valgusdeformität reseziert würden. Eine nach innen rotierte Fehlstellung positioniert die Patellarinne weit medial in Bezug auf seine normale physiologische Position (Abb. 22) (Arima et al., 1995).



Abbildung 22: Grafische Darstellung der Konsequenzen einer Resektion der Femurkondylen parallel zu der PCL in einem linken Knie mit schwerer Valgusdeformität (Arima et al., 1995).

In den Fällen, in denen die posterioren Femurkondylen massive Deformitäten aufweisen oder eine patello-femorale Inkongruenz besteht, ist die akkurate Rotationsausrichtung des Femurs besonders relevant, sodass sich eine präoperative Planung des Eingriffs mit Hilfe eines CTs empfiehlt. Bei Patienten mit einer geringgradigen Arthrose oder Kniegelenken mit einer geringen Valgus-Deformität ist eine präoperative Planung mit dem CT nicht sinnvoll, da man in diesen Fällen die AP-Achse oder den medialen Sulkus als Orientierungspunkte zu Hilfe nehmen kann (Yoshino et al., 2001).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass bei der Prothesenimplantation femorale und tibiale Fehlresektionen unbedingt vermieden werden müssen, damit sich die zu implantierenden Komponenten optimal aufeinander abstimmen lassen.

Insbesondere ist eine physiologische Achsenstellung des Kniegelenks mit genauer Ausbalancierung des medialen und lateralen Kollateralband unbedingt zu gewährleisten (Hassaballa et al., 2011).

Andernfalls sind auch bei den neuesten und modernsten Prothesendesigns Achsenfehlstellungen und Instabilitäten die Folge mit ungünstig einwirkenden Scherkräften und inhomogenen Druckverteilungen zwischen den Komponenten. Daraus resultiert ein schlechtes klinisches Outcome im Sinne von dauerhaften Beschwerden, Funktionsstörungen und vorzeitigem Prothesenverschleiß (Matziolis et al., 2010).

### 3. Methoden/ Material

#### 3.1 Datensätze femoraler Knochen

Kollektiv	Anzahl
Distale Femora insgesamt (Stryker® Datenbank)	1.054
Distale Femora: aussortiert aufgrund von Gonarthrose	64
Distale Femora in die Studie aufgenommen	988
Distale Femora der Kaukasier	663
Distale Femora der Asiaten	189
Distale Femora der Afrikaner	26
Distale Femora der Menschen des mittleren Ostens	13
Distale Femora unbekannter ethnischer Herkunft	99
Distale Femora von Männern	546
Distale Femora von Frauen	442
Distale Femora ohne geschlechtliche Zuordnung	2
Distale Femora des Kollektivs $\leq$ 49 Jahre	199
Distale Femora des Kollektivs $\geq$ 50 Jahre	672
Distale Femora des Kollektivs ohne Altersangabe	119
Distale Femora von männlichen Kaukasiern	347
Distale Femora von weiblichen Kaukasiern	316
Distale Femora von männlichen Asiaten	113
Distale Femora von weiblichen Asiaten	76
Distale Femora von männlichen Afrikanern	14
Distale Femora von weiblichen Afrikanern	12

Tabelle 1: Zusammenfassung der Datensätze der femoralen Knochen.

Nach dem Ausschluss von insgesamt 64 Femora, welche aufgrund von zu ausgeprägten arthrotischen Randanbauten von den Berechnungen ausgenommen wurden, da sie zu Verfälschungen der Messergebnisse führen würde, umfasst der Datensatz 988 Femora.

Informationen über die ethnische Herkunft sind bei 90,1 % (n = 891) der Femora vorhanden. 67,0 % (n = 663) stammen von Kaukasiern, 19,1 % (n = 189) von Asiaten, 2,6 % (n = 26) von Afrikanern und 1,3 % (n = 13) von Menschen des mittleren Ostens. Da aufgrund der geringen Kollektivgröße von n = 13 keine statistisch relevanten Aussagen zu erwarten sind, wurde diese Gruppe nicht weiter analysiert. Bei 9,9 % (n = 98) ist die ethnische Herkunft nicht bekannt.

Informationen zum Geschlecht sind bei 99,8 % (n = 988) der Femora vorhanden. 55,2 % (n = 546) sind dem männlichen und 44,6 % (n = 442) dem weiblichen Geschlecht zuzuordnen. Bei 0,2 % (n = 2) liegen keine Angaben vor.

Informationen hinsichtlich des Alters sind bei 88,0 % (n = 871) der Femora vorhanden. Bei 12,0 % (n = 119) ist kein Alter angegeben. Das mittlere Alter beträgt 61,2 Jahre (Altersspanne von 11 bis 109 Jahre).

In der männlichen Gruppe beträgt das mittlere Alter der Femora 61,0 Jahre, SD  $\pm$  15,6 (Altersspanne von 12 bis 109 Jahre) und in der weiblichen 61,4 Jahre, SD  $\pm$  16,3 (Altersspanne von 11 bis 93 Jahre).

### **3.2 Datenquelle**

Alle CT's entstammen einer Datenbank der Firma Stryker®, welche speziell für Forschungszwecke angelegt worden ist und CT's der unteren Extremität sammelt. Die Datenbank ist anonymisiert, zu vielen Aufnahmen gibt es zusätzliche Informationen wie Alter, Geschlecht, Größe, Gewicht, BMI und ethnische Herkunft. Alle Aufnahmen sind im Liegen in Spiraltechnik erstellt. Die Studie entspricht somit einer retrospektiven Kohortenstudie.

Die CT-Aufnahmen erfolgten in der Regel aufgrund von traumatologischen bzw. angiologischen Indikationen. Bei ca. 90 % der CT's liegen keine primären Erkrankungen am Kniegelenk vor. Bei ca. 70 % der Patienten war die Indikation eine Angiographie, bei ca. 20 % ein Polytrauma und bei ca. 10 % ist die Indikation unbekannt. Aufgrund der Indikationen kann von einer gewissen Randomisierung der Kohorte ausgegangen werden.

### **3.3 Ausschluss atypischer Femora**

Die Ergebnisse, die das Stryker® Anatomy Analysis Tool (SAAT) V 4.0 errechnet hat, werden in eine Excel-Datei eingefügt. Bevor eine weitere Analyse der Daten erfolgt, werden alle Femora von den Messungen ausgeschlossen, die in der 3D-Darstellung im Kondylenbereich arthrotische Randanbauten aufweisen. Würden diese distalen Femora nicht aussortiert, würde es aufgrund von z. B. osteophytären Randanbauten zu Fehlern in der Längenbestimmung kommen. Dieses wiederum könnte die Messergebnisse der Achsen, Strecken und Winkel verfälschen. Insgesamt sind 64 Femora aussortiert worden.

### 3.4 Beschreibung des Softwareanalyseprogrammes (Stryker® Anatomy Analysis Tool)

#### 3.4.1 Datenbank-Filter

Über die Startseite des Computer-Programmes Stryker® „Anatomie Analysis Tool V4.0“, (SAAT), welches von der Arbeitsgruppe „Virtuelle Medizin“ der Klinik für Orthopädie und Sportorthopädie des Klinikums rechts der Isar der Technischen Universität München entwickelt worden ist, kann der jeweilige Knochentyp, mit dem man arbeiten möchte, unter der Rubrik „Filter-Datenbank“, ausgewählt werden (Abb. 23). Für diese Arbeit wurde das Femur als Untersuchungsgegenstand ausgewählt.

Das Programm erstellt dann die entsprechende Patientenliste. Des Weiteren ist es möglich, sich für das linke oder rechte Femur zu entscheiden sowie das Patientenkollektiv in Bezug auf Geschlecht, ethnische Gruppe, Alter, Größe, Gewicht und BMI auszuwählen. Die entsprechenden Auswertungen für diese Arbeit bezgl. der Bestimmung von Achsen und Winkeln wurden an linken Femora vorgenommen, die rechten Femora wurden gespiegelt. Die Auswahl der Merkmale (ethnische Gruppe, Geschlecht, Alter, Größe, Gewicht und BMI) erfolgt individuell. Wenn man sich für ein Kollektiv entschieden hat, erscheint im unteren Bereich des Programmes die Anzahl der Patienten, die die jeweiligen statistischen Anforderungen erfüllen und in die Berechnungen eingehen.

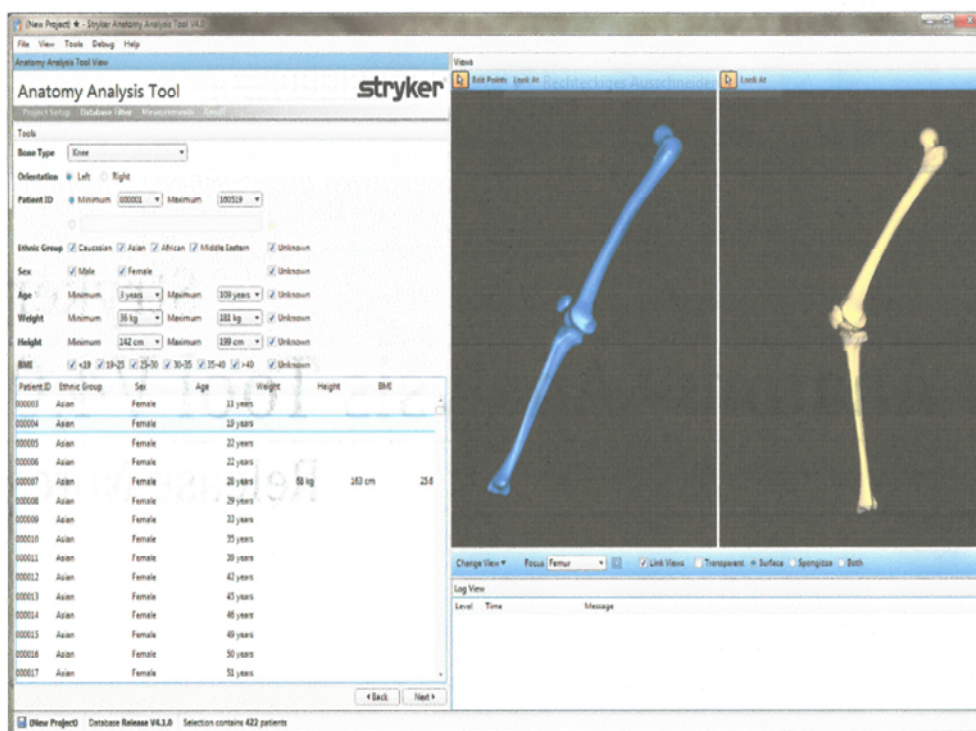


Abbildung 23: Startseite des Programmes Stryker® „Anatomie Analysis Tool V4.0“.

### 3.4.2 Ausmessungen

Auf der Programmseite, die mit „Ausmessungen“ betitelt ist, kann der Untersucher für die geplanten Berechnungen an einem blauen Modellfemur relevante Punkte, Linien und Landmarken einzeichnen und entsprechende Winkel oder Achsenlängen definieren, die im weiteren Verlauf von dem Programm mit Hilfe eines Korrespondenzalgorithmus auf das gesamte Kollektiv übertragen und berechnet werden. Des Weiteren kann im Menü "Ansicht ändern" eine Blickrichtung, z. B. anterior/ posterior, medial/ lateral etc. ausgewählt werden. Das Femur wird dann der ausgewählten Ansicht nach eingestellt.

### 3.4.3 Konstruktionen

Wenn der Untersucher alle relevanten Achsen, Bezugspunkte und Landmarken auf das blaue Modellfemur übertragen hat, kann er über den Button „Konstruktionen“ auswählen, ob er einen Punkt auf einer anderen Ebene herausheben oder ob er verschiedene Achsen und Punkte gleichzeitig auf einer Ebene sehen möchte. Mit Hilfe des Buttons „Messungen“ kann der Untersucher nun genau eingrenzen, welche Winkel oder Achsenlängen von dem SAAT-Programm ausgemessen werden sollen.

### 3.4.4 Screenshot- Evaluation

Mit dieser Einstellung kann der Benutzer Screenshots in allen Konstruktionen für jede Probe erstellen. Die Ansichtparameter, Kameraposition, Fenstergröße, etc., werden von der 3D-Ansicht des Femurs übernommen. Die Farbauswahl für den Hintergrund kann der Benutzer mittels der „Create-Taste“ treffen.

Die erzeugten Screenshots werden auf der Ergebnisseite in einem Bildbetrachter angezeigt. Der Benutzer kann mit dem Drücken der Taste STRG und durch Mausbewegungen das blaue Modellfemur steuern und in Position bringen (rechte Maustaste = Drehung des Modellfemurs, linke Maustaste = Verschiebung des Modellfemurs, Mause rad = Zoom).

### 3.4.5 Auswertung

In dem Fenster „Auswertung“ werden die Messresultate, Features und Screenshots gezeigt (Abb. 24).

Das Menü bietet auch Export-Optionen, z. B. eine Speicherung bei Excel, um das ausgewählte Ergebnis in Tabellenform zu präsentieren.

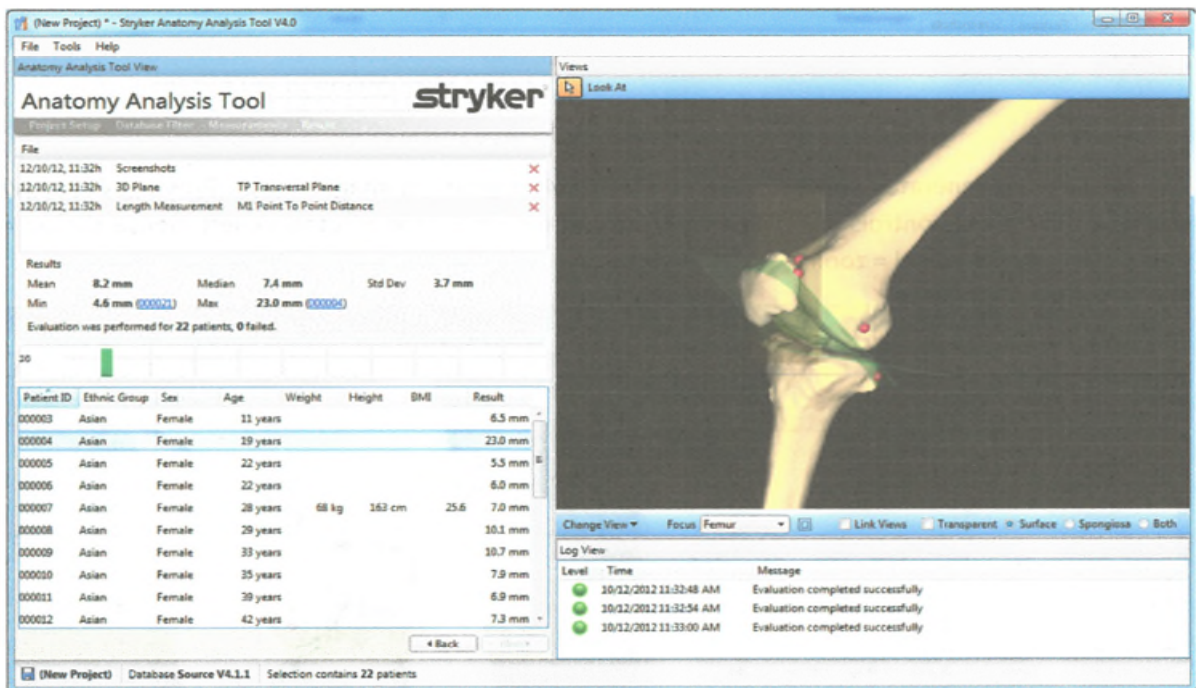


Abbildung 24: Präsentation der Messresultate, Features und Screenshots.

Die statistische Auswertung der Messergebnisse wird in einem Diagramm angezeigt (Abb. 25). Die beiden Patienten-ID's, welche sowohl den Minimal- als auch den Maximalwert kennzeichnen, sind blau gedruckt. Durch ein Anklicken dieser blauen Patienten-ID's erscheint das zugehörige Femur in der 3D-Ansicht. Dem Benutzer ist es auch möglich, andere ausgewertete Femora in die 3D-Ansicht zu laden und diese anzuschauen.



Abbildung 25: Statistische Auswertung der Messergebnisse in Diagrammform.

Die Liste unter dem Diagramm beinhaltet die Ergebnisse für alle Patienten (Abb. 26). Die Auswahl eines Patienten bewirkt, dass die entsprechende Probe in die 3D-Ansicht geladen wird. Die Liste kann nun nach den Werten in jeder Spalte durch nur einen Mausklick auf die jeweilige Spalte sortiert werden.

Patient ID	Ethnic Group	Sex	Age	Weight	Height	BMI	Result
000021	Asian	Female	67 years				4.6 mm
000018	Asian	Female	59 years	57 kg	161 cm	22.0	4.9 mm
000015	Asian	Female	49 years				5.3 mm
000005	Asian	Female	22 years				5.5 mm
000020	Asian	Female	65 years				5.7 mm
000006	Asian	Female	22 years				6.0 mm
000014	Asian	Female	46 years				6.2 mm

Abbildung 26: Tabellarische Auflistung der Ergebnisse.

Alle Standard- und Mittelwerte sowie die Standardabweichungen werden ermittelt.

Mit Hilfe des t-Tests werden die Messergebnisse innerhalb der Kollektive auf ihre Signifikanz verglichen und geprüft.

P-Werte kleiner als 0,05 sind statistisch signifikant.

### 3.5 Statistik

Die statistische Analyse erfolgt mit Hilfe des Datenanalysesystems (SPSS Statistics 20).

Es wird die Standardabweichung bei allen Messungen berechnet. Bei dem Vergleich von zwei Kollektiven kommt der t-Test zur Anwendung. Mit Hilfe dieses Tests soll festgestellt werden, ob die Unterschiede der biometrischen Messergebnisse bei den verschiedenen Kollektiven, (Ethnie, Geschlechter und Alter) statistisch relevant sind.

Es werden folgende Gruppen gebildet:

- Kaukasier, Asiaten und Afrikaner, unabhängig von Alter und Geschlecht
- Männer und Frauen, unabhängig von ethnischer Zuordnung und dem Alter
- Menschen bis einschließlich 49 Jahre und Menschen älter als 49 Jahre, unabhängig der ethnischen Zuordnung und Geschlecht

Ein p-Wert kleiner als 0,05 wird als statistisch relevant gewertet und kennzeichnet einen signifikanten Unterschied zwischen den zu vergleichenden Kollektiven.

Es wird immer der Mittelwert aufgeführt sowie die Standardabweichung eines jeden Winkels oder einer jeden Länge.

Die vollständigen Ergebnisse und deren Signifikanz finden sich im Anhang als tabellarische Aufstellung.

## 4. Ergebnisse

### 4.1 Längen des distalen Femurs

#### 4.1.1 Anteriore medio-laterale Länge/anteriore kondyläre Peak-Differenz/Trochlearachse

Der Mittelwert dieser Länge des gesamten Kollektivs liegt bei 35,5 mm  $\pm$  3,6 mm.

Der Mittelwert der AML der Femora des weiblichen Geschlechts – unabhängig von der Ethnie und vom Alter - wird mit 33,0 mm  $\pm$  2,8 mm und der des männlichen mit 37,6 mm  $\pm$  2,8 mm berechnet. Der Unterschied ist signifikant (p-Wert < 0,0001).

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte der AML der Femora in Bezug auf die Ethnie, unabhängig vom Alter und Geschlecht (Abb. 27):

- Kaukasier (35,7 mm  $\pm$  3,6 mm) versus Asiaten (34,5 mm  $\pm$  3,3 mm) (p-Wert < 0,0001)
- Kaukasier (35,7 mm  $\pm$  3,6 mm) versus Afrikaner (35,3 mm  $\pm$  3,9 mm) (p-Wert > 0,05)
- Asiaten (34,5 mm  $\pm$  3,3 mm) versus Afrikaner (35,3 mm  $\pm$  3,9 mm) (p-Wert > 0,05)

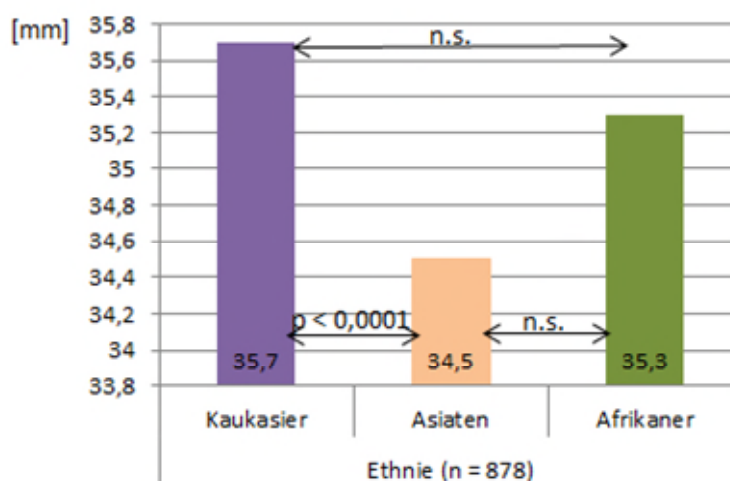


Abbildung 27: Vergleich der Mittelwerte (MW) der AML der Femora in Bezug auf die Ethnie.



Es bestehen signifikante Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte der AML der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie (Abb. 28):

- asiatische Männer (36,1 mm ± 2,6 mm) versus asiatische Frauen (32,1 mm ± 2,8 mm) (p-Wert < 0,0001)
- afrikanische Männer (38,1 mm ± 2,8 mm) versus afrikanische Frauen (32,1 mm ± 1,9 mm) (p-Wert < 0,0001)
- kaukasische Männern (37,9 mm ± 2,7 mm) versus kaukasische Frauen (33,3 mm ± 2,8 mm) (p-Wert < 0,0001)

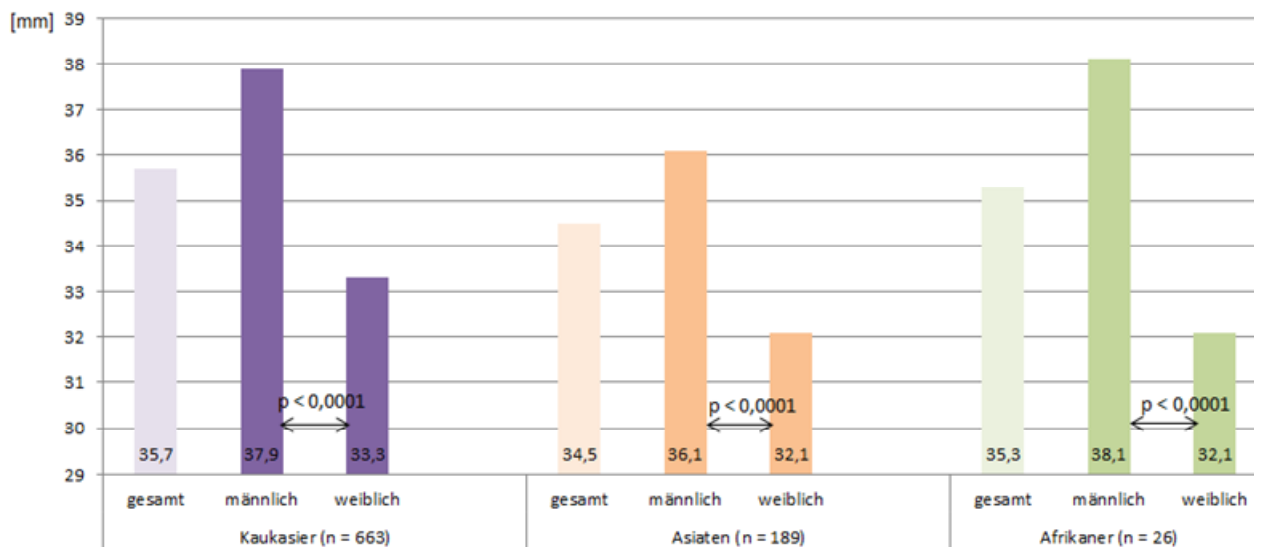


Abbildung 28: Vergleich der Mittelwerte (MW) der AML der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie.

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte der AML der Femora der Männer in Bezug auf die Ethnie (Abb. 29):

- afrikanische Männer (38,1 mm ± 2,8 mm) (p-Wert > 0,05) versus kaukasische Männer (37,9 mm ± 2,7 mm)
- asiatische Männer (36,1 mm ± 2,6 mm) versus kaukasische Männer (37,9 mm ± 2,7 mm) (p-Wert < 0,0001)
- afrikanische Männer (38,1 mm ± 2,8 mm) versus asiatische Männer (36,1 mm ± 2,6 mm) (p-Wert < 0,05)

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte der AML der Femora der Frauen in Bezug auf die Ethnie (Abb. 29):

- afrikanische Frauen (32,1 mm ± 1,9 mm) versus kaukasische Frauen (33,3 mm ± 2,8 mm) (p-Wert > 0,05)
- asiatische Frauen (32,1 mm ± 2,8 mm) versus kaukasische Frauen (33,3 mm ± 2,8 mm) (p-Wert < 0,0001)
- afrikanische Frauen (32,1 mm ± 1,9 mm) versus asiatische Frauen (32,1 mm ± 2,8 mm), (p-Wert > 0,05)

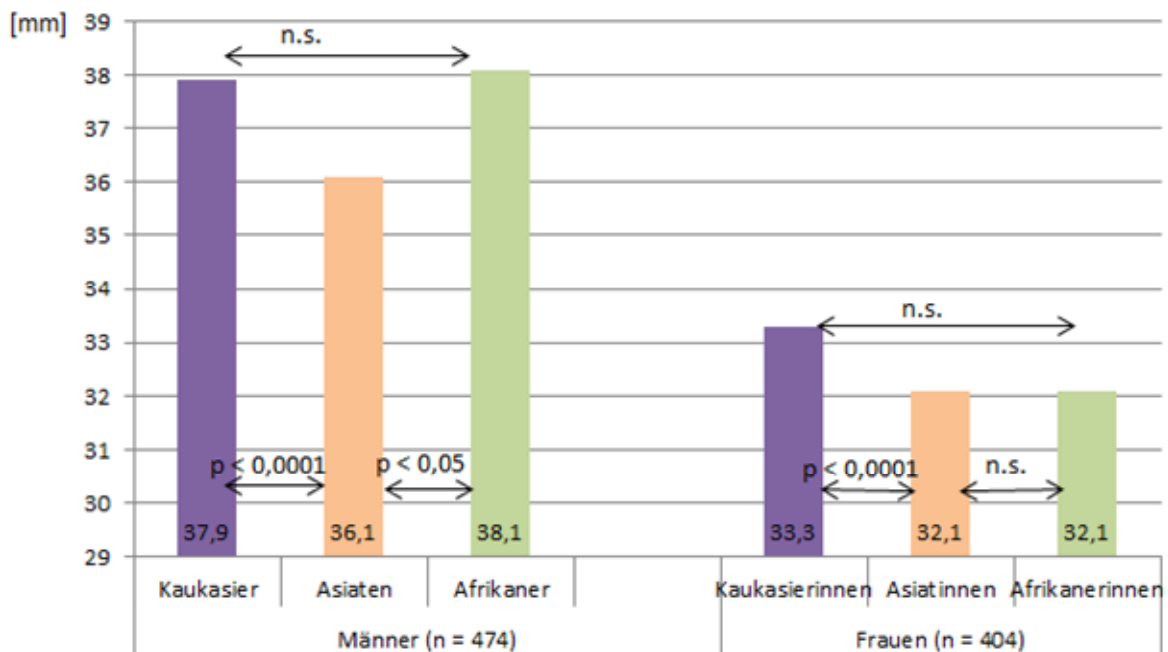


Abbildung 29: Vergleich der Mittelwerte (MW) der AML der Femora der männlichen und der weiblichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie.

Es besteht ein signifikanter Unterschied beim Vergleich der Mittelwerte der AML der Femora in Bezug auf das Alter, unabhängig von Ethnie und Geschlecht (Abb. 30):

- 49-jährig und jünger (34,9 mm ± 3,6 mm) versus 50-jährig und älter (35,6 mm ± 3,6 mm) (p-Wert < 0,0001)

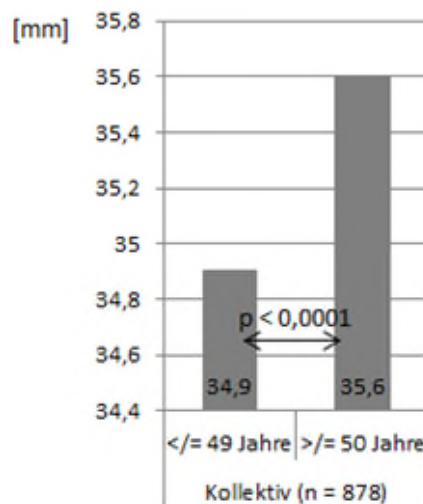


Abbildung 30: Vergleich der Mittelwerte (MW) der AML der Femora in Bezug auf das Alter.

#### 4.1.2 Femorale anteriore-posteriore Länge lateral

Der Mittelwert dieser fAP lateral beträgt für das gesamte Kollektiv 66,4 mm  $\pm$  4,7 mm.

Der Mittelwert der fAP lateral der Femora des weiblichen Geschlechts - unabhängig von der Ethnie und vom Alter - liegt bei 63,1 mm  $\pm$  3,4 mm und der des männlichen bei 69,1 mm  $\pm$  3,7 mm. Der Unterschied ist signifikant (p-Wert < 0,0001).

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte der fAP lateral der Femora in Bezug auf die Ethnie, unabhängig vom Alter und Geschlecht (Abb. 31):

- Kaukasier (66,9 mm  $\pm$  4,6 mm) versus Asiaten (64,0 mm  $\pm$  4,3 mm) (p-Wert < 0,0001)
- Kaukasier (66,9 mm  $\pm$  4,6 mm) versus Afrikaner (64,9 mm  $\pm$  4,1 mm) (p-Wert < 0,05)
- Asiaten (64,0 mm  $\pm$  4,3 mm) versus Afrikaner (64,9 mm  $\pm$  4,1 mm) (p-Wert > 0,05)

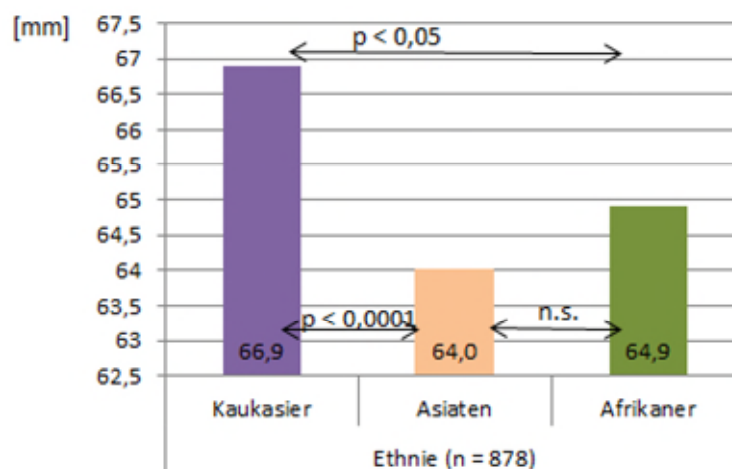


Abbildung 31: Vergleich der Mittelwerte (MW) der fAP lateral der Femora in Bezug auf die Ethnie.

Es bestehen signifikante Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte der fAP lateral der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie (Abb. 32):

- asiatische Männer (66,5 mm ± 3,3 mm) versus asiatische Frauen (60,4 mm ± 2,7 mm) (p-Wert < 0,0001)
- afrikanische Männer (68,0 mm ± 2,3 mm) versus afrikanische Frauen (61,2 mm ± 2,2 mm) (p-Wert < 0,0001)
- kaukasische Männer (69,9 mm ± 3,5 mm) versus kaukasische Frauen (63,7 mm ± 3,3 mm) (p-Wert < 0,0001)

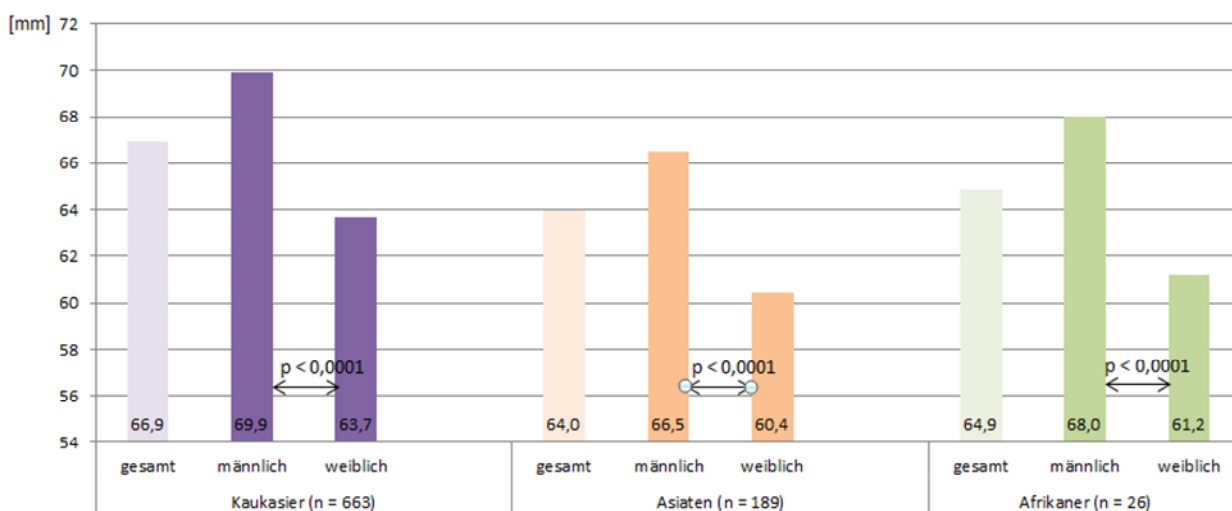


Abbildung 32: Vergleich der Mittelwerte (MW) der fAP lateral der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie.

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte der fAP lateral der Femora der Männer in Bezug auf die Ethnie (Abb. 33):

- afrikanische Männer (68,0 mm ± 2,3 mm) versus kaukasische Männer (69,9 mm ± 3,5 mm) (p-Wert < 0,05)
- asiatische Männer (66,5 mm ± 3,3 mm) (p-Wert < 0,0001) versus kaukasische Männer (69,9 mm ± 3,5 mm)
- afrikanische Männer (68,0 mm ± 2,3 mm) versus asiatische Männer (66,5 mm ± 3,3 mm) (p-Wert < 0,05)

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte der fAP lateral der Femora der Frauen in Bezug auf die Ethnie (Abb. 33):

- afrikanische Frauen (61,2 mm  $\pm$  2,2 mm) versus kaukasische Frauen (63,7 mm  $\pm$  3,3 mm) (p-Wert < 0.05)
- asiatische Frauen (60,4 mm  $\pm$  2,7 mm) versus kaukasische Frauen (63,7 mm  $\pm$  3,3 mm) (p-Wert < 0,0001)
- afrikanische Frauen (61,2 mm  $\pm$  2,2 mm) versus asiatische Frauen (60,4 mm  $\pm$  2,7 mm) (p-Wert > 0.05)

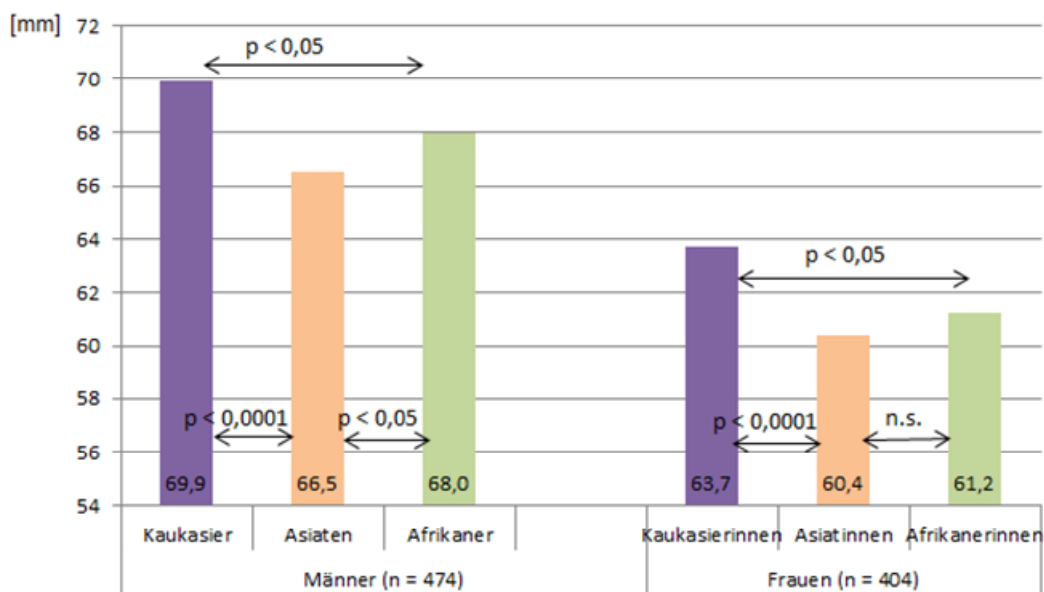


Abbildung 33: Vergleich der Mittelwerte (MW) der fAP lateral der Femora der männlichen und der weiblichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie.

Es besteht ein signifikanter Unterschied beim Vergleich der Mittelwerte der fAP lateral der Femora der kaukasischen Frauen (63,7 mm  $\pm$  3,3 mm) mit denen der asiatischen Männer (66,5 mm  $\pm$  3,3 mm) (p-Wert < 0,0001).

Es besteht kein signifikanter Unterschied beim Vergleich der Mittelwerte der fAP lateral der Femora in Bezug auf das Alter, unabhängig von Ethnie und Geschlecht (Abb. 34):

- 49-jährig und jünger ( $65,7 \text{ mm} \pm 4,7 \text{ mm}$ ) versus 50-jährig und älter ( $66,4 \text{ mm} \pm 4,7 \text{ mm}$ ) (p-Wert  $> 0,05$ )

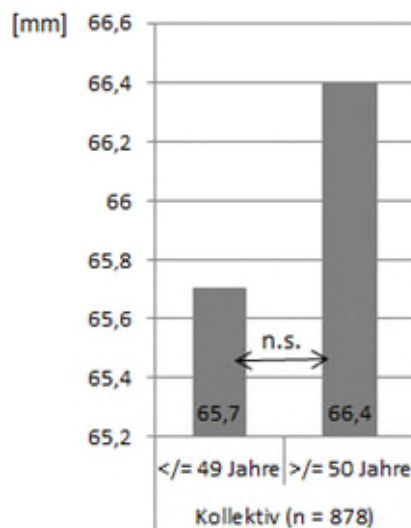


Abbildung 34: Vergleich der Mittelwerte (MW) der fAP lateral der Femora in Bezug auf das Alter.

#### 4.1.3 Femorale anteriore-posteriore Länge medial

Der Mittelwert dieser Länge beträgt für das gesamte Kollektiv  $64,9 \text{ mm} \pm 4,9 \text{ mm}$ .

Der Mittelwert der fAP medial der Femora des weiblichen Geschlechts – unabhängig von der Ethnie und vom Alter - liegt bei  $61,4 \text{ mm} \pm 3,4 \text{ mm}$  und der des männlichen  $67,6 \text{ mm} \pm 3,9 \text{ mm}$ . Der Unterschied ist signifikant (p-Wert  $< 0,0001$ ).

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte der fAP medial der Femora in Bezug auf die Ethnie (Abb. 35):

- Kaukasier ( $65,5 \text{ mm} \pm 4,8 \text{ mm}$ ) versus Asiaten ( $62,2 \text{ mm} \pm 4,4 \text{ mm}$ ) (p-Wert  $< 0,0001$ )
- Kaukasier ( $65,5 \text{ mm} \pm 4,8 \text{ mm}$ ) versus Afrikaner ( $63,3 \text{ mm} \pm 4,5 \text{ mm}$ ) (p-Wert  $< 0,05$ )
- Asiaten ( $62,2 \text{ mm} \pm 4,4 \text{ mm}$ ) versus Afrikaner ( $63,3 \text{ mm} \pm 4,5 \text{ mm}$ ) (p-Wert  $> 0,05$ )

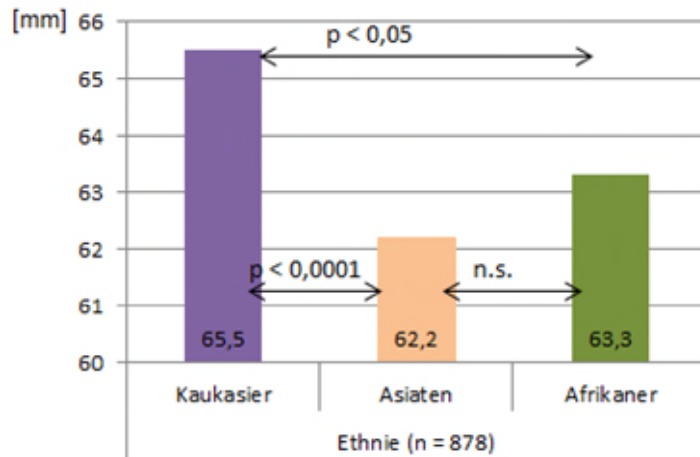


Abbildung 35: Vergleich der Mittelwerte (MW) der fAP medial der Femora in Bezug auf die Ethnie.

Es bestehen signifikante Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte der fAP medial der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie (Abb. 36):

- asiatische Männer (64,6 mm ± 3,6 mm) versus asiatische Frauen (58,6 mm ± 2,7 mm) (p-Wert < 0,0001)
- afrikanische Männer (66,6 mm ± 2,9 mm) versus afrikanische Frauen (59,4 mm ± 2,4 mm) (p-Wert < 0,0001)
- kaukasische Männer (68,6 mm ± 3,7 mm) versus kaukasische Frauen (62,1 mm ± 3,3 mm) (p-Wert < 0,0001)

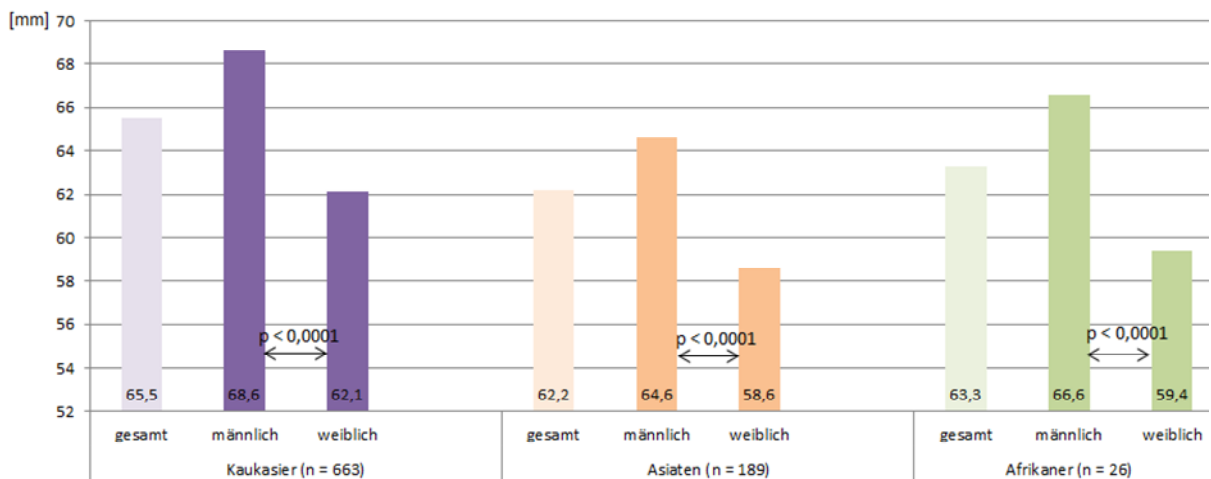


Abbildung 36: Vergleich der Mittelwerte (MW) der fAP medial der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie.

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte der fAP medial der Femora der Männer in Bezug auf die Ethnie (Abb. 37):

- afrikanische Männer (66,6 mm  $\pm$  2,9 mm) versus kaukasische Männer (68,6 mm  $\pm$  3,7 mm) (p-Wert < 0,05)
- asiatische Männer (64,6 mm  $\pm$  3,6 mm) versus kaukasische Männern (68,6 mm  $\pm$  3,7 mm) (p-Wert < 0,0001)
- afrikanische Männer (66,6 mm  $\pm$  2,9 mm) versus asiatische Männer (64,6 mm  $\pm$  3,6 mm) (p-Wert < 0,05)

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte der fAP medial der Femora der Frauen in Bezug auf die Ethnie (Abb. 37):

- afrikanische Frauen (59,4 mm  $\pm$  2,4 mm) versus kaukasische Frauen (62,1 mm  $\pm$  3,3 mm) (p-Wert < 0,05)
- asiatische Frauen (58,6 mm  $\pm$  2,7 mm) versus kaukasische Frauen (62,1 mm  $\pm$  3,3 mm) (p-Wert < 0,0001)
- afrikanische Frauen (59,4 mm  $\pm$  2,4 mm) versus asiatische Frauen (58,6 mm  $\pm$  2,7 mm) (p-Wert > 0,05)

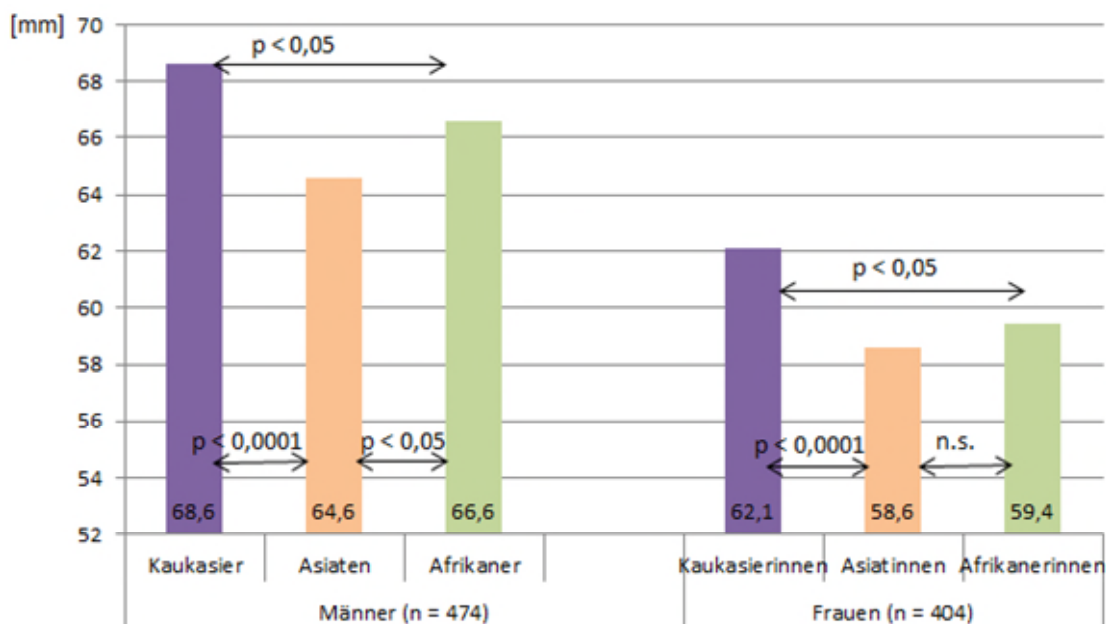


Abbildung 37: Vergleich der Mittelwerte (MW) der fAP medial der Femora der männlichen und der weiblichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie.



Es besteht ein signifikanter Unterschied beim Vergleich der Mittelwerte der fAP medial der Femora der kaukasischen Frauen (62,1 mm  $\pm$  3,3 mm) mit denen der asiatischen Männer (64,6 mm  $\pm$  3,6 mm) (p-Wert < 0,0001).

Es besteht ein signifikanter Unterschied beim Vergleich der Mittelwerte der fAP medial der Femora in Bezug auf das Alter, unabhängig von Ethnie und Geschlecht (Abb. 38):

- 49-jährig und jünger (64,1 mm  $\pm$  5,1 mm) versus 50-jährig und älter (65,0 mm  $\pm$  4,8 mm) (p-Wert < 0,05)

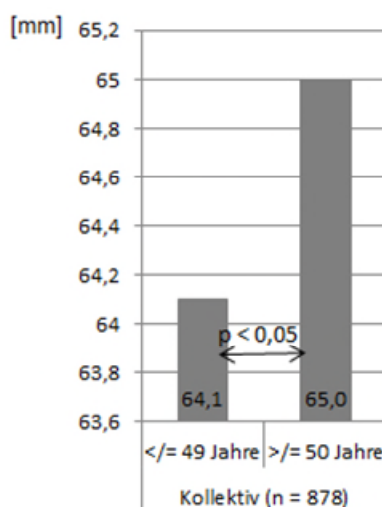


Abbildung 38: Vergleich der Mittelwerte (MW) der fAP medial der Femora in Bezug auf das Alter.

#### 4.1.4 Femorale medio-laterale Länge

Der Mittelwert dieser Länge beträgt für das gesamte Kollektiv 83,7 mm  $\pm$  6,6 mm.

Der Mittelwert der fML der Femora des weiblichen Geschlechts - unabhängig von der Ethnie und vom Alter - liegt bei 78,2 mm  $\pm$  3 8 mm und der des männlichen bei 88,1mm  $\pm$  4,7 mm. Der Unterschied ist signifikant (p-Wert < 0,0001).

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte der fML der Femora in Bezug auf die Ethnie, unabhängig vom Alter und Geschlecht (Abb. 39):

- Kaukasier (84,3 mm  $\pm$  6,5 mm) versus Asiaten (80,7 mm  $\pm$  6,2 mm) (p-Wert < 0,0001)
- Kaukasier (84,3 mm  $\pm$  6,5 mm) versus Afrikaner (81,4 mm  $\pm$  6,1 mm) (p-Wert < 0,05)
- Asiaten (80,7 mm  $\pm$  6,2 mm) versus Afrikaner (81,4 mm  $\pm$  6,1 mm) (p-Wert > 0,05)

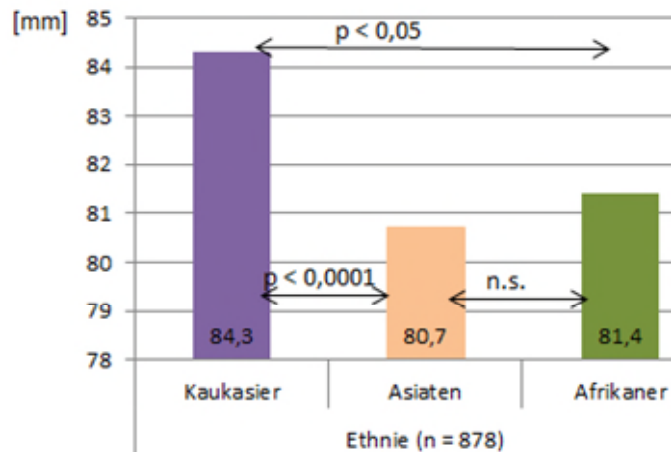


Abbildung 39: Vergleich der Mittelwerte (MW) der fML der Femora in Bezug auf die Ethnie

Es bestehen signifikante Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte der fML der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie (Abb. 40):

- asiatische Männer (84,7 mm ± 4,3 mm) versus asiatische Frauen (74,8 mm ± 3,0 mm) (p-Wert < 0,0001)
- afrikanische Männer (86,3 mm ± 3,2 mm) versus afrikanische Frauen (75,7 mm ± 2,8 mm) (p-Wert < 0,0001)
- kaukasische Männer (89,2 mm ± 4,4 mm) versus kaukasische Frauen (79,0 mm ± 3,5 mm) (p-Wert < 0,0001)

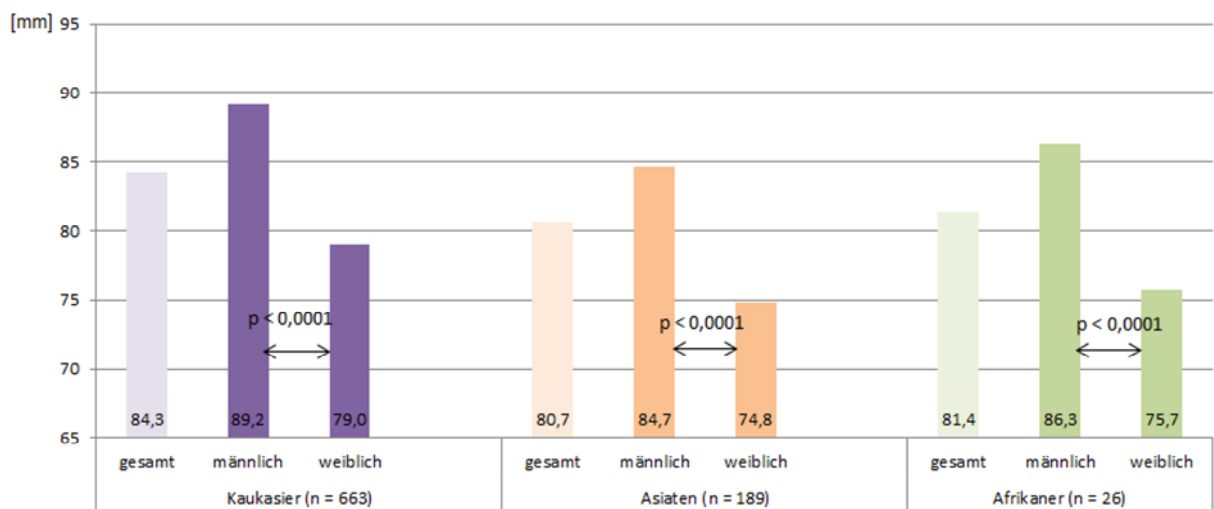


Abbildung 40: Vergleich der Mittelwerte (MW) der fML der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie.

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte der fML der Femora der Männer in Bezug auf die Ethnie (Abb. 41):

- afrikanische Männer (86,3 mm ± 3,2 mm) versus kaukasische Männer (89,2 mm ± 4,4 mm) (p-Wert < 0,05)
- asiatische Männer (84,7 mm ± 4,3 mm) versus kaukasische Männer (89,2 mm ± 4,4 mm) (p-Wert < 0,0001)
- afrikanische Männer (86,3 mm ± 3,2 mm) versus asiatische Männer (84,7 mm ± 4,3 mm) (p-Wert > 0,05)

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte der fML der Femora der Frauen in Bezug auf die Ethnie (Abb. 41):

- afrikanische Frauen (75,7 mm ± 2,8 mm) versus kaukasische Frauen (79,0 mm ± 3,5 mm) (p-Wert < 0,05)
- asiatische Frauen (74,8 mm ± 3,0 mm) versus kaukasische Frauen (79,0 mm ± 3,5 mm) (p-Wert < 0,0001)
- afrikanische Frauen (75,7 mm ± 2,8 mm) versus asiatische Frauen (74,8 mm ± 3,0 mm) (p-Wert > 0,05)

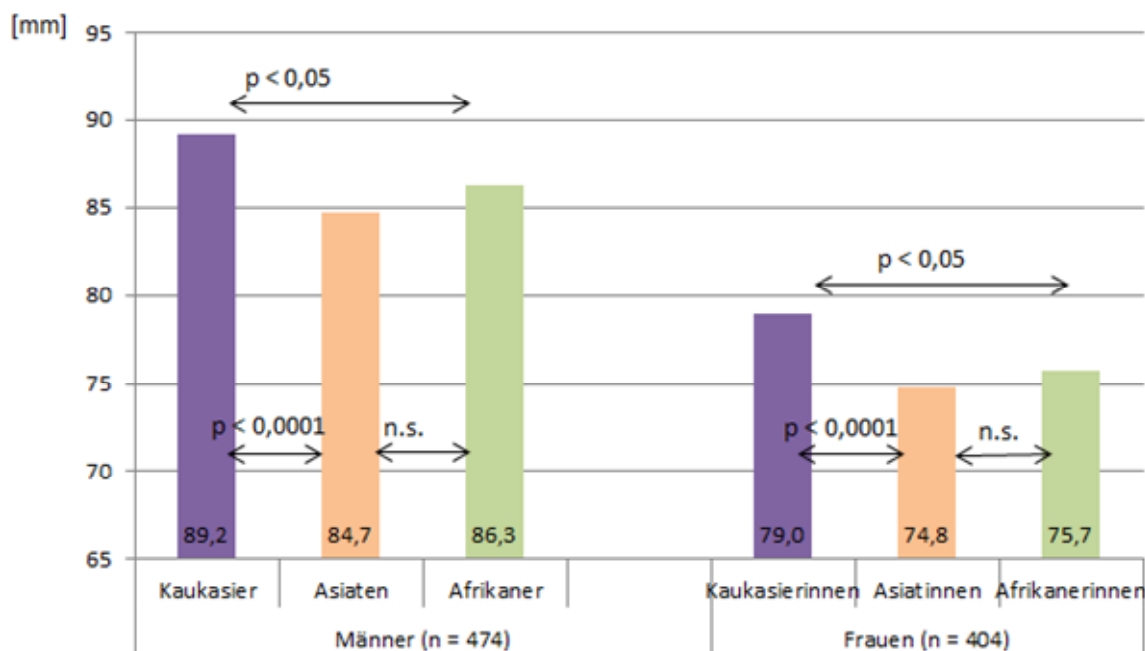


Abbildung 41: Vergleich der Mittelwerte (MW) der fML der Femora der männlichen und der weiblichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie.

Es besteht ein signifikanter Unterschied beim Vergleich der Mittelwerte der fML der Femora der kaukasischen Frauen (79,0 mm  $\pm$  3,5 mm) mit denen der asiatischen Männer (84,7 mm  $\pm$  4,3 mm) (p-Wert < 0,0001).

Es besteht ein signifikanter Unterschied beim Vergleich der Mittelwerte der fML der Femora in Bezug auf das Alter, unabhängig von Ethnie und Geschlecht (Abb. 42):

- 49-jährig und jünger (82,0 mm  $\pm$  6,5 mm) versus 50-jährig und älter (83,9 mm  $\pm$  6,5 mm) (p-Wert < 0,0001)

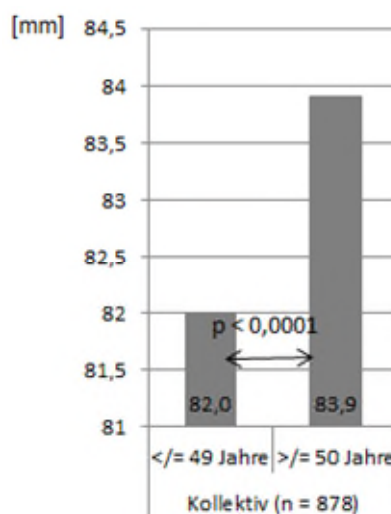


Abbildung 42: Vergleich der Mittelwerte (MW) der fML der Femora in Bezug auf das Alter.

#### 4.1.5 Interkondyläre Länge

Der Mittelwert dieser Länge beträgt für das gesamte Kollektiv 13,1 mm  $\pm$  1,4 mm.

Der Mittelwert der interkondylären Länge der Femora des weiblichen Geschlechts – unabhängig von der Ethnie und vom Alter - liegt bei 12,1 mm  $\pm$  1,0 mm und der des männlichen bei 13,9 mm  $\pm$  1,1 mm. Der Unterschied ist signifikant (p-Wert < 0,0001).

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte der interkondylären Länge der Femora in Bezug auf die Ethnie, unabhängig vom Alter und Geschlecht (Abb. 43):

- Kaukasier (13,2 mm  $\pm$  1,4 mm) versus Asiaten (13,0 mm  $\pm$  1,5 mm) (p-Wert > 0,05)
- Kaukasier (13,2 mm  $\pm$  1,4 mm) versus Afrikaner (12,5 mm  $\pm$  1,1 mm) (p-Wert < 0,05)
- Asiaten (13,0 mm  $\pm$  1,5 mm) versus Afrikaner (12,5 mm  $\pm$  1,1 mm) (p-Wert > 0,05)

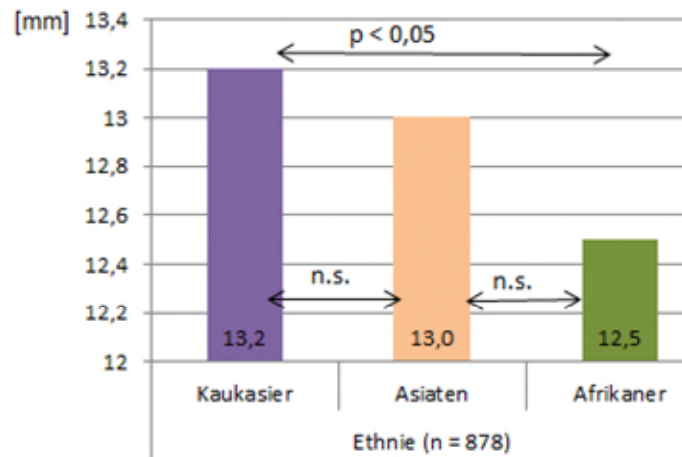


Abbildung 43: Vergleich der Mittelwerte (MW) der interkondylären Länge der Femora in Bezug auf die Ethnie.

Es bestehen signifikante Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte der interkondylären Länge der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie (Abb. 44):

- asiatische Männer (13,9 mm  $\pm$  1,1 mm) versus asiatische Frauen (11,7 mm  $\pm$  1,1 mm) (p-Wert < 0,0001)
- afrikanische Männer (13,3 mm  $\pm$  0,9 mm) versus afrikanische Frauen (11,7 mm  $\pm$  0,6 mm) (p-Wert < 0,0001)
- kaukasische Männer (14,0 mm  $\pm$  1,1 mm) versus kaukasische Frauen (12,3 mm  $\pm$  1,0 mm) (p-Wert < 0,0001)

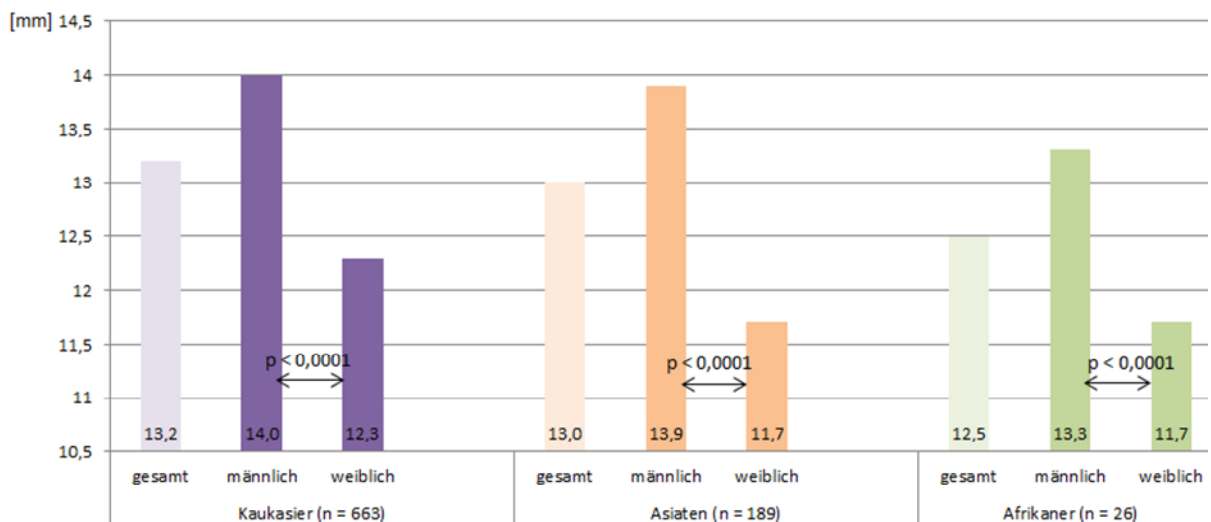


Abbildung 44: Vergleich der Mittelwerte (MW) der interkondylären Länge der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie.

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte der interkondylären Länge der Femora der Männer in Bezug auf die Ethnie (Abb. 45):

- afrikanische Männer (13,3 mm ± 0,9 mm) versus kaukasische Männern (14,0 mm ± 1,1 mm) (p-Wert < 0,05)
- asiatische Männer (13,9 mm ± 1,1 mm) versus kaukasische Männer (14,0 mm ± 1,1 mm) (p-Wert > 0,05)
- afrikanische Männer (13,3 mm ± 0,9 mm) versus asiatische Männer (13,9 mm ± 1,1 mm) (p-Wert < 0,05)

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte der interkondylären Länge der Femora der Frauen in Bezug auf die Ethnie (Abb. 45):

- afrikanische Frauen (11,7 mm ± 0,6 mm) versus kaukasische Frauen (12,3 mm ± 1,0 mm) (p-Wert < 0,05)
- asiatische Frauen (11,7 mm ± 1,1 mm) versus kaukasische Frauen (12,3 mm ± 1,0 mm) (p-Wert < 0,0001)
- afrikanische Frauen (11,7 mm ± 0,6 mm) versus asiatische Frauen (11,7 mm ± 1,1 mm) (p-Wert > 0,05)

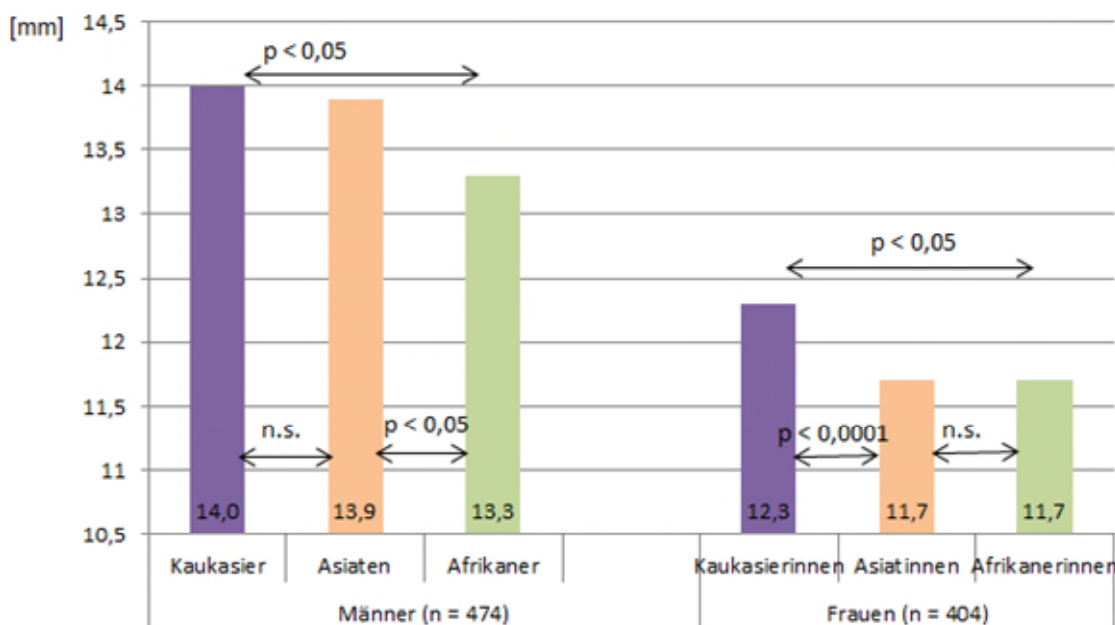


Abbildung 45: Vergleich der Mittelwerte (MW) der interkondylären Länge der Femora der männlichen und der weiblichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie.

Es besteht ein signifikanter Unterschied beim Vergleich der Mittelwerte der interkondylären Länge der Femora in Bezug auf das Alter, unabhängig von Ethnie und Geschlecht (Abb. 46):

- 49-jährig und jünger ( $12,9 \text{ mm} \pm 1,4 \text{ mm}$ ) versus 50-jährig und älter ( $13,2 \text{ mm} \pm 1,4 \text{ mm}$ ) (p-Wert < 0,05)

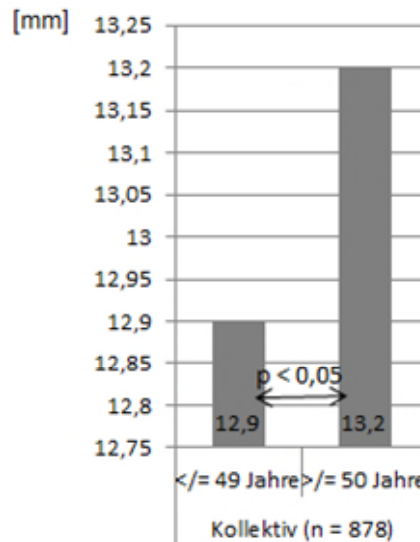


Abbildung 46: Vergleich der Mittelwerte (MW) der interkondylären Länge der Femora in Bezug auf das Alter.

#### 4.1.6 Kondyläre Länge

Der Mittelwert dieser Länge beträgt für das gesamte Kollektiv  $74,3 \text{ mm} \pm 6,3 \text{ mm}$ .

Der Mittelwert der kondylären Länge der Femora des weiblichen Geschlechts – unabhängig von der Ethnie und vom Alter - liegt bei  $69,1 \text{ mm} \pm 3,7 \text{ mm}$  und der des männlichen bei  $78,5 \text{ mm} \pm 4,5 \text{ mm}$ . Der Unterschied ist signifikant (p-Wert < 0,0001).

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte der kondylären Länge der Femora in Bezug auf die Ethnie, unabhängig vom Alter und Geschlecht (Abb. 47):

- Kaukasier ( $75,1 \text{ mm} \pm 6,1 \text{ mm}$ ) versus Asiaten ( $70,7 \text{ mm} \pm 5,7 \text{ mm}$ ) (p-Wert < 0,0001)
- Kaukasier ( $75,1 \text{ mm} \pm 6,1 \text{ mm}$ ) versus Afrikaner ( $72,5 \text{ mm} \pm 6,0 \text{ mm}$ ) (p-Wert < 0,05)
- Asiaten ( $70,7 \text{ mm} \pm 5,7 \text{ mm}$ ) versus Afrikaner ( $72,5 \text{ mm} \pm 6,0 \text{ mm}$ ) (p-Wert > 0,05)

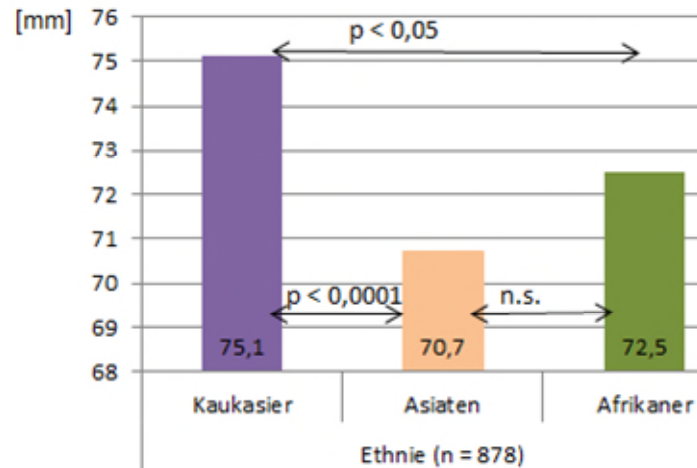


Abbildung 47: Vergleich der Mittelwerte (MW) der kondylären Länge der Femora in Bezug auf die Ethnie.

Es bestehen signifikante Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte der kondylären Länge der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie (Abb. 48):

- asiatische Männer (74,3 mm  $\pm$  4,0 mm) versus asiatische Frauen (65,4 mm  $\pm$  3,0 mm) (p-Wert < 0,0001)
- afrikanische Männer (77,4 mm  $\pm$  3,2 mm) versus afrikanische Frauen (66,7 mm  $\pm$  2,1 mm) (p-Wert < 0,05)
- kaukasische Männer (79,8 mm  $\pm$  4,0 mm) versus kaukasische Frauen (70,1 mm  $\pm$  3,4 mm) (p-Wert < 0,0001)

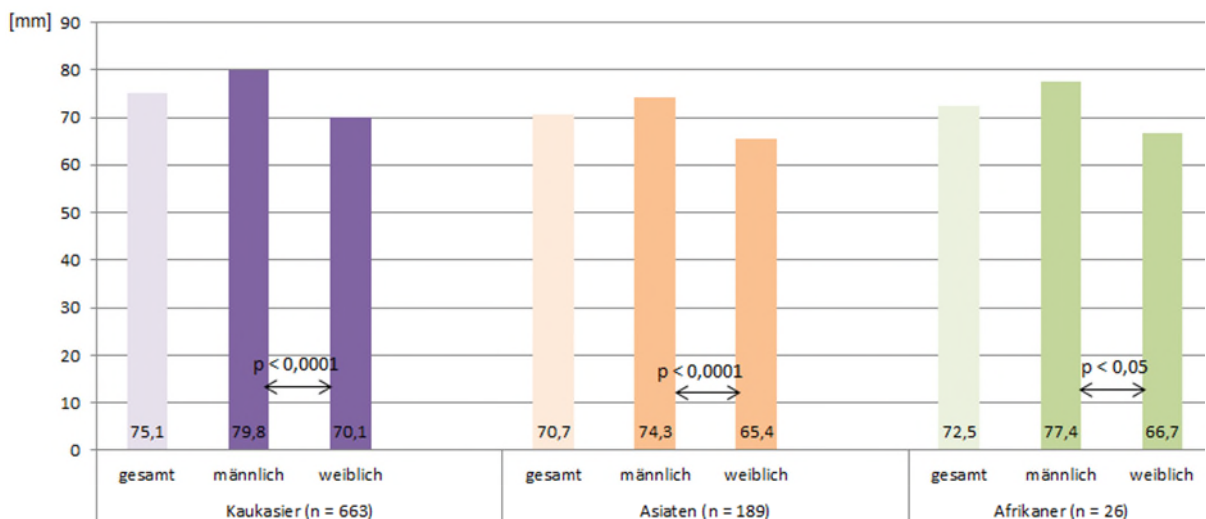


Abbildung 48: Vergleich der Mittelwerte (MW) der kondylären Länge der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie.



Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte der kondylären Länge der Femora der Männer in Bezug auf die Ethnie (Abb. 49):

- afrikanische Männer (77,4 mm ± 3,2 mm) versus kaukasische Männer (79,8 mm ± 4,0 mm) (p-Wert < 0,05)
- asiatische Männer (74,3 mm ± 4,0 mm) versus kaukasische Männer (79,8 mm ± 4,0 mm) (p-Wert < 0,0001)
- afrikanische Männer (77,4 mm ± 3,2 mm) versus asiatische Männer (74,3 mm ± 4,0 mm) (p-Wert < 0,05)

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte der kondylären Länge der Femora der Frauen in Bezug auf die Ethnie (Abb. 49):

- afrikanische Frauen (66,7 mm ± 2,1 mm) versus kaukasische Frauen (70,1 mm ± 3,4 mm) (p-Wert < 0,0001)
- asiatische Frauen (65,4 mm ± 3,0 mm) versus kaukasische Frauen (70,1 mm ± 3,4 mm) (p-Wert < 0,0001)
- afrikanische Frauen (66,7 mm ± 2,1 mm) versus asiatische Frauen (65,4 mm ± 3,0 mm) (p-Wert > 0,05)

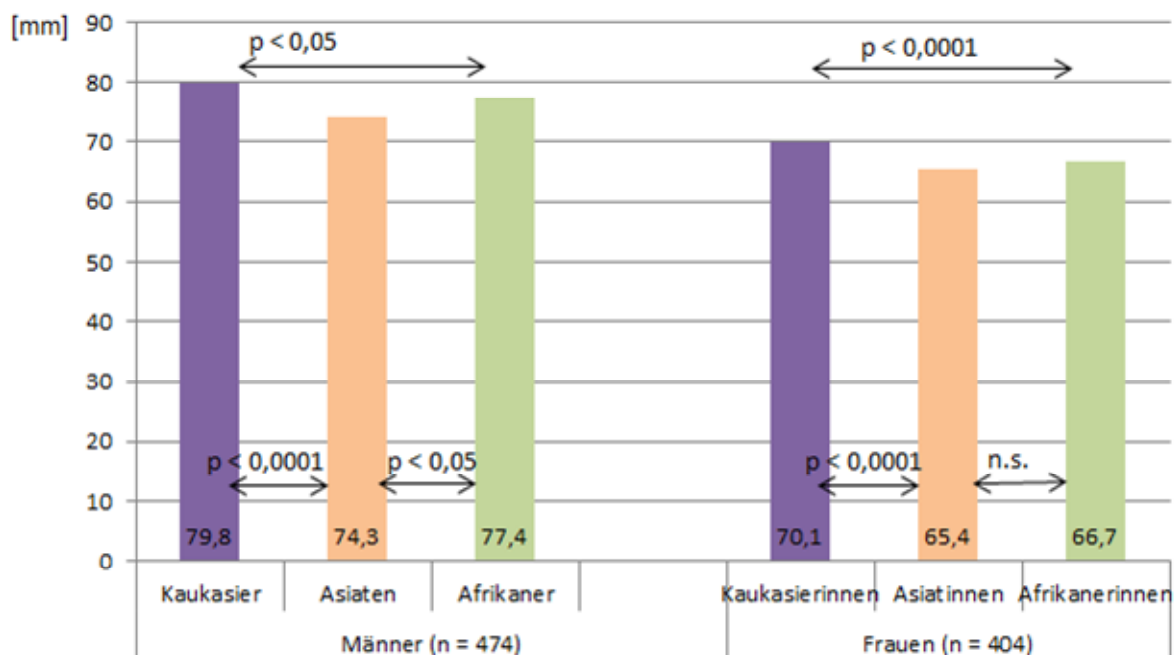


Abbildung 49: Vergleich der Mittelwerte (MW) der kondylären Länge der Femora der männlichen und der weiblichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie.

Es besteht ein signifikanter Unterschied beim Vergleich der Mittelwerte der kondylären Länge der Femora von asiatischen Männern (74,3 mm ± 4,0 mm) mit denen von kaukasischen Frauen (70,1 mm ± 3,4 mm) (p-Wert < 0,0001).

Es besteht ein signifikanter Unterschied beim Vergleich der Mittelwerte der kondylären Länge der Femora in Bezug auf das Alter, unabhängig von Ethnie und Geschlecht (Abb. 50):

- 49-jährig und jünger (72,3 mm ± 6,1 mm) versus 50-jährig und älter (74,7 mm ± 6,2 mm) (p-Wert < 0,0001)

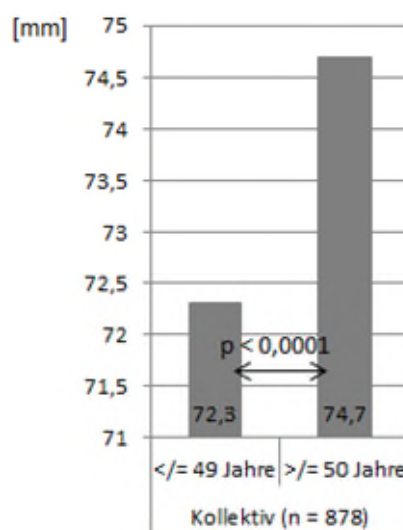


Abbildung 50: Vergleich der Mittelwerte (MW) der kondylären Länge der Femora in Bezug auf das Alter.

#### 4.1.7 Länge des lateralen Kondylus

Der Mittelwert dieser Länge beträgt für das gesamte Kollektiv 29,9 mm ± 2,8 mm.

Der Mittelwert der Länge des lateralen Kondylus der Femora des weiblichen Geschlechts – unabhängig von der Ethnie und vom Alter – liegt bei 27,6 mm ± 1,8 mm und der des männlichen bei 31,7 mm ± 2,1 mm. Der Unterschied ist signifikant (p-Wert < 0,0001).

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte der Länge des lateralen Kondylus der Femora in Bezug auf die Ethnie (Abb. 51):

- Kaukasier (30,2 mm ± 2,8 mm) versus Asiaten (28,5 mm ± 2,5 mm) (p-Wert < 0,0001)
- Kaukasier (30,2 mm ± 2,8 mm) versus Afrikaner (28,5 mm ± 2,7 mm) (p-Wert < 0,05)
- Asiaten (28,5 mm ± 2,5 mm) versus Afrikaner (28,5 mm ± 2,7 mm) (p-Wert > 0,05)

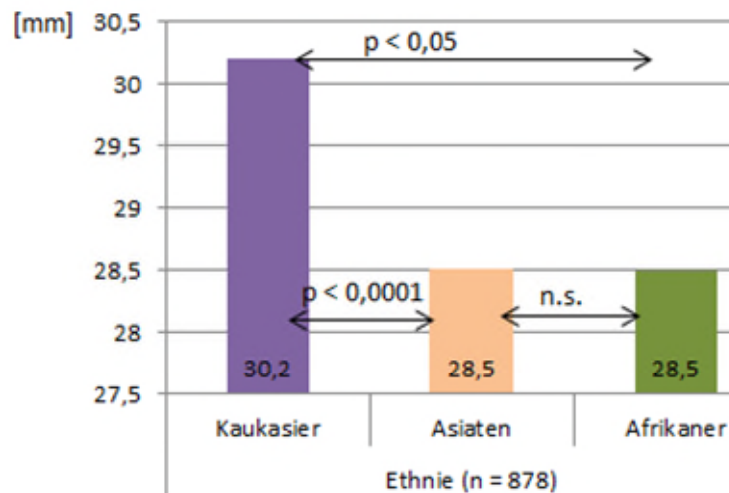


Abbildung 51: Vergleich der Mittelwerte (MW) der Länge des lateralen Kondylus der Femora in Bezug auf die Ethnie.

Es bestehen signifikante Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte der Länge des lateralen Kondylus der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie (Abb. 52):

- asiatische Männer (30,0 mm  $\pm$  1,7 mm) versus asiatische Frauen (26,2 mm  $\pm$  1,5 mm) (p-Wert < 0,0001)
- afrikanische Männer (30,7 mm  $\pm$  1,4 mm) versus afrikanische Frauen (25,9 mm  $\pm$  1,1 mm) (p-Wert < 0,0001)
- kaukasische Männer (32,2 mm  $\pm$  2,0 mm) versus kaukasische Frauen (28,0 mm  $\pm$  1,7 mm) (p-Wert < 0,0001)



Abbildung 52: Vergleich der Mittelwerte (MW) der Länge des lateralen Kondylus der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie.

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte der Länge des lateralen Kondylus der Femora der Männer in Bezug auf die Ethnie (Abb. 53):

- afrikanische Männer (30,7 mm ± 1,4 mm) versus kaukasische Männer (32,2 mm ± 2,0 mm) (p-Wert < 0,05)
- asiatische Männer (30,0 mm ± 1,7 mm) versus kaukasische Männer (32,2 mm ± 2,0 mm) (p-Wert < 0,0001)
- afrikanische Männer (30,7 mm ± 1,4 mm) versus asiatische Männern (30,0 mm ± 1,7 mm) (p-Wert > 0,05)

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte der Länge des lateralen Kondylus der Femora der Frauen in Bezug auf die Ethnie (Abb. 53):

- afrikanische Frauen (25,9 mm ± 1,1 mm) versus kaukasische Frauen (28,0 mm ± 1,7 mm) (p-Wert < 0,0001)
- asiatische Frauen (26,2 mm ± 1,5 mm) versus kaukasische Frauen (28,0 mm ± 1,7 mm) (p-Wert < 0,0001)
- afrikanische Frauen (25,9 mm ± 1,1 mm) versus asiatische Frauen (26,2 mm ± 1,5 mm) (p-Wert > 0,05)

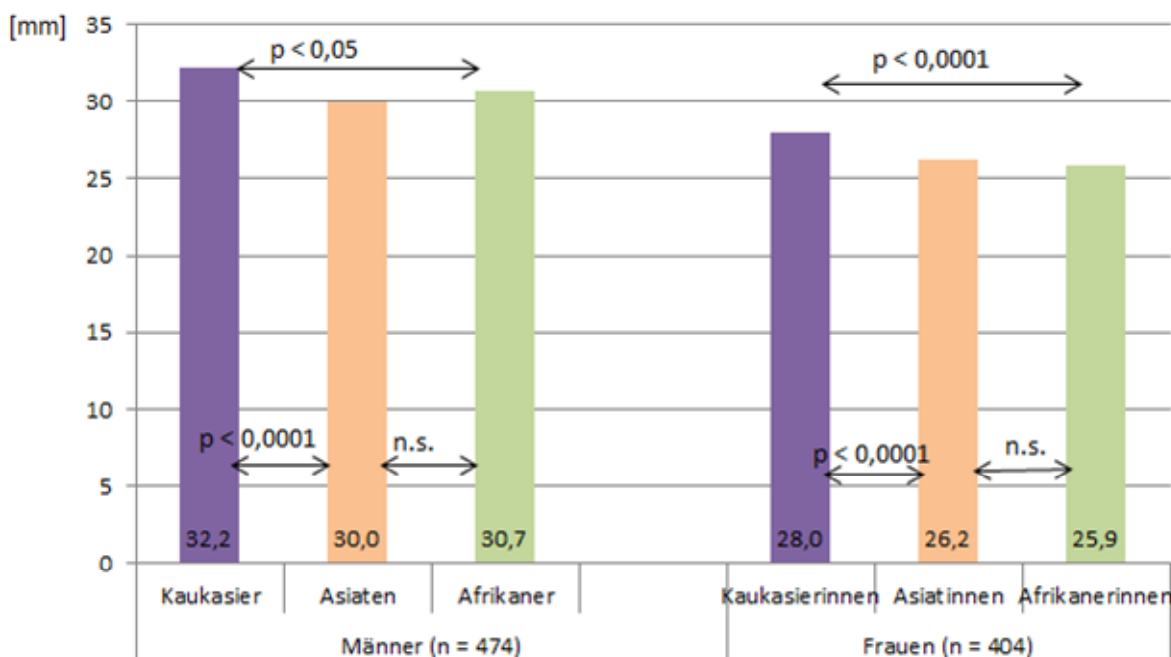


Abbildung 53: Vergleich der Mittelwerte (MW) der Länge des lateralen Kondylus der Femora der männlichen und der weiblichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie.

Es besteht ein signifikanter Unterschied beim Vergleich der Mittelwerte der Länge des lateralen Kondylus der Femora von kaukasischen Frauen (28,0 mm ± 1,7 mm) mit denen von asiatischen Männern (30,0 mm ± 1,7 mm) (p-Wert < 0,0001).

Es besteht ein signifikanter Unterschied beim Vergleich der Mittelwerte der Länge des lateralen Kondylus der Femora in Bezug auf das Alter, unabhängig von Ethnie und Geschlecht (Abb. 54):

- 49-jährig und jünger (29,2 mm ± 2,7 mm) versus 50-jährig und älter (30,0 mm ± 2,9 mm) (p-Wert < 0,0001)

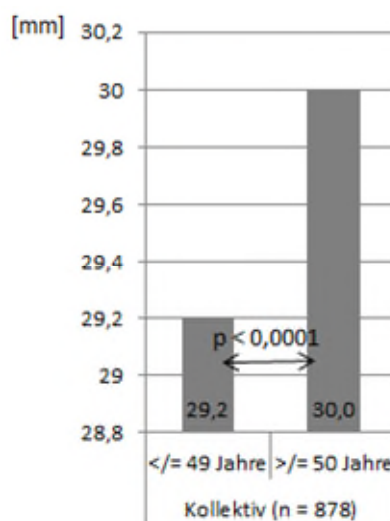


Abbildung 54: Vergleich der Mittelwerte (MW) der Länge des lateralen Kondylus der Femora in Bezug auf das Alter.

#### 4.1.8 Länge des medialen Kondylus

Der Mittelwert dieser Länge beträgt für das gesamte Kollektiv 27,3 mm ± 2,5 mm.

Der Mittelwert der Länge des medialen Kondylus der Femora des weiblichen Geschlechts – unabhängig von der Ethnie und vom Alter – liegt bei 25,6 mm ± 1,8 mm und der des männlichen bei 28,6 mm ± 2,0 mm. Der Unterschied ist signifikant (p-Wert < 0,0001).

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte der Länge des medialen Kondylus der Femora in Bezug auf die Ethnie, unabhängig vom Alter und Geschlecht (Abb. 55):

- Kaukasier (27,7 mm ± 2,4 mm) versus Asiaten (25,8 mm ± 2,2 mm) (p-Wert < 0,0001)
- Kaukasier (27,7 mm ± 2,4 mm) versus Afrikaner (27,3 mm ± 2,5 mm) (p-Wert > 0,05)
- Asiaten (25,8 mm ± 2,2 mm) versus Afrikaner (27,3 mm ± 2,5 mm) (p-Wert < 0,05)

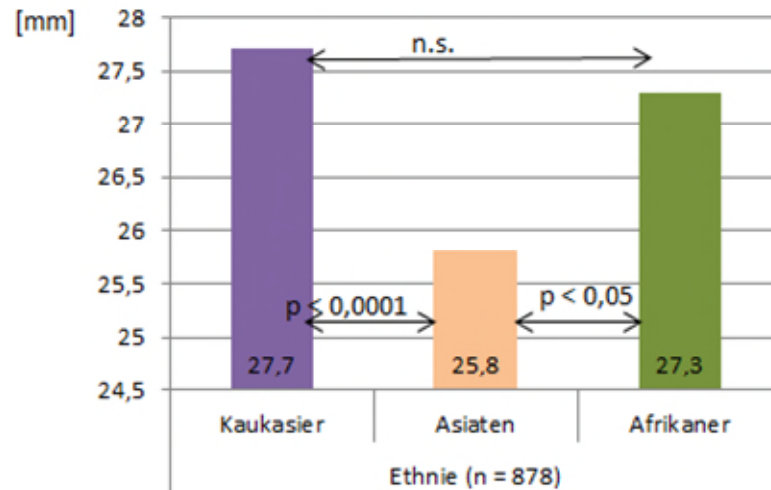


Abbildung 55: Vergleich der Mittelwerte (MW) der Länge des medialen Kondylus der Femora in Bezug auf die Ethnie.

Es bestehen signifikante Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte der Länge des medialen Kondylus der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie (Abb. 56):

- asiatische Männer (26,8 mm  $\pm$  1,8 mm) versus asiatische Frauen (24,2 mm  $\pm$  1,7 mm) (p-Wert < 0,0001)
- afrikanische Männer (29,0 mm  $\pm$  1,7 mm) versus afrikanische Frauen (25,2 mm  $\pm$  1,3 mm) (p-Wert < 0,0001)
- kaukasische Männer (29,2 mm  $\pm$  1,9 mm) versus kaukasische Frauen (26,0 mm  $\pm$  1,7 mm) (p-Wert < 0,0001)

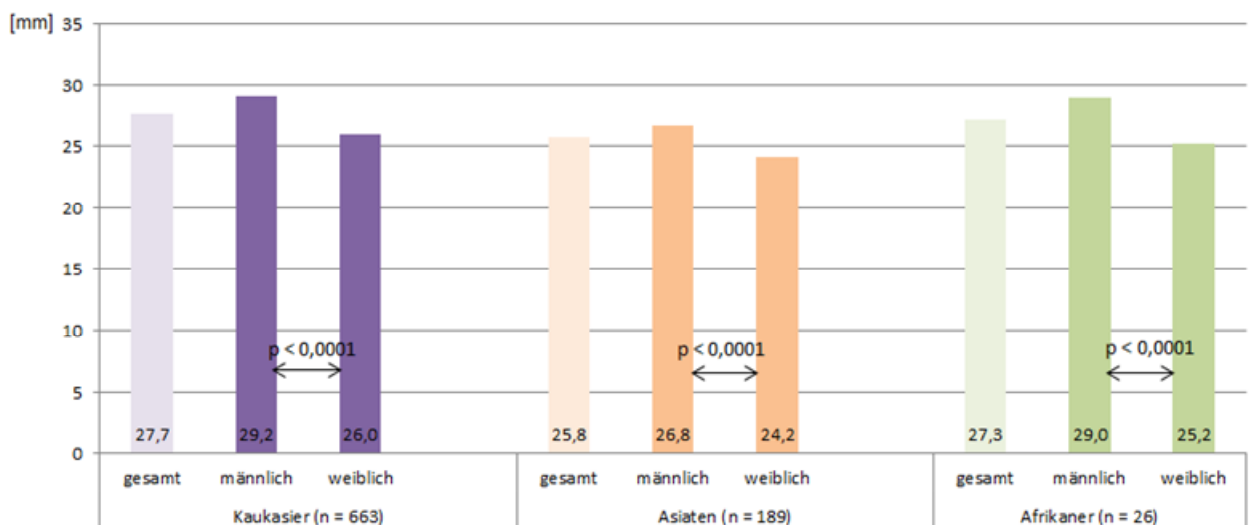


Abbildung 56: Vergleich der Mittelwerte (MW) der Länge des medialen Kondylus der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie.

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte der Länge des medialen Kondylus der Femora der Männer in Bezug auf die Ethnie (Abb. 57):

- afrikanische Männer (29,0 mm ± 1,7 mm) versus kaukasische Männer (29,2 mm ± 1,9 mm) (p-Wert > 0,05)
- asiatische Männer (26,8 mm ± 1,8 mm) versus kaukasische Männer (29,2 mm ± 1,9 mm) (p-Wert < 0,0001)
- afrikanische Männer (29,0 mm ± 1,7 mm) versus asiatische Männer (26,8 mm ± 1,8 mm) (p-Wert < 0,0001)

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte der Länge des medialen Kondylus der Femora der Frauen in Bezug auf die Ethnie (Abb. 57):

- afrikanische Frauen (25,2 mm ± 1,3 mm) versus kaukasische Frauen (26,0 mm ± 1,7 mm) (p-Wert < 0,05)
- asiatische Frauen (24,2 mm ± 1,7 mm) versus kaukasische Frauen (26,0 mm ± 1,7 mm) (p-Wert < 0,0001)
- afrikanische Frauen (25,2 mm ± 1,3 mm) versus asiatische Frauen (24,2 mm ± 1,7 mm) (p-Wert < 0,05)

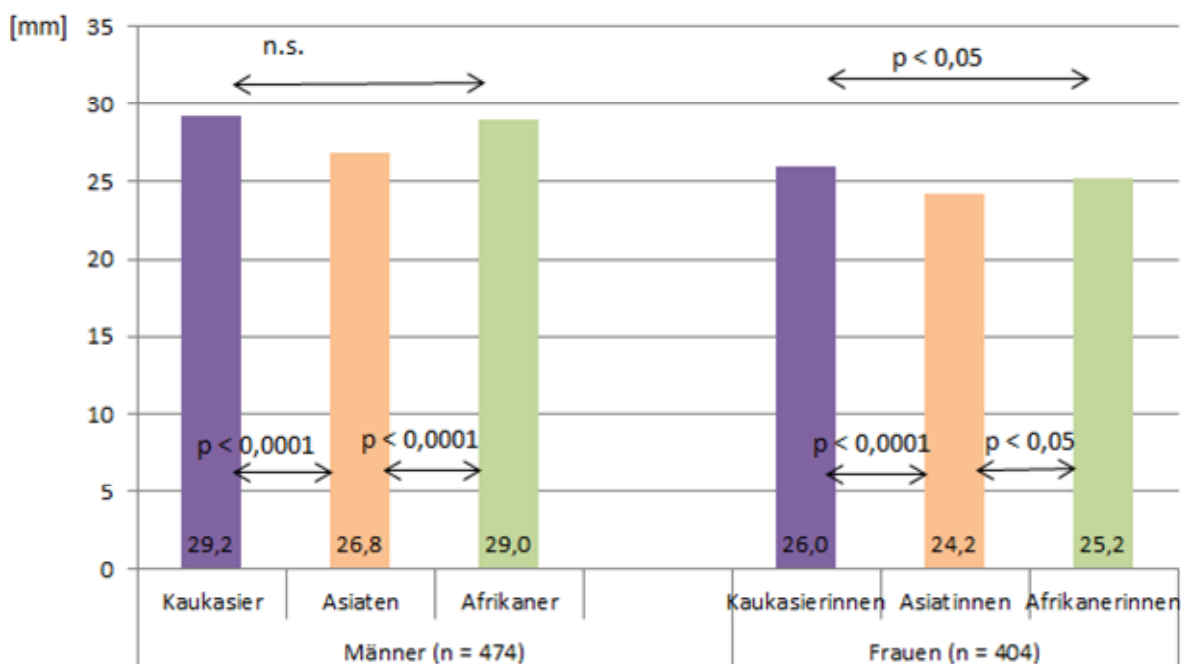


Abbildung 57: Vergleich der Mittelwerte (MW) der Länge des medialen Kondylus der Femora der männlichen und der weiblichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie.

Es besteht ein signifikanter Unterschied beim Vergleich der Mittelwerte der Länge des medialen Kondylus der Femora von kaukasischen Frauen (26,0 mm ± 1,7 mm) mit denen von asiatischen Männern (26,8 mm ± 1,8 mm) (p-Wert < 0,0001).

Es besteht ein signifikanter Unterschied beim Vergleich der Mittelwerte der Länge des medialen Kondylus der Femora in Bezug auf das Alter, unabhängig von Ethnie und Geschlecht (Abb. 58):

- 49-jährig und jünger (26,4 mm ± 2,4 mm) versus 50-jährig und älter (27,5 mm ± 2,4 mm) (p-Wert < 0,0001)

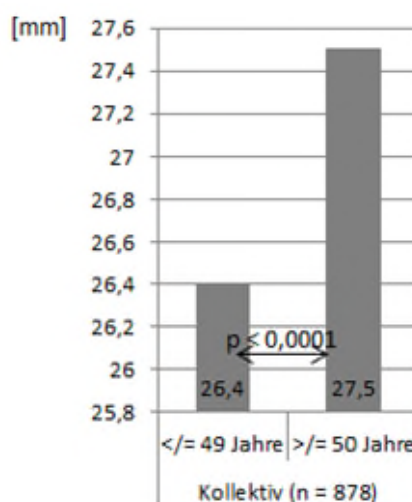


Abbildung 58: Vergleich der Mittelwerte (MW) der Länge des medialen Kondylus der Femora in Bezug auf das Alter.

#### 4.1.9 Sulkuslänge des medialen Epikondylus

Der Mittelwert dieser Länge beträgt für das gesamte Kollektiv 10,4 mm ± 0,8 mm.

Der Mittelwert der SmE der Femora des weiblichen Kollektivs – unabhängig von der Ethnie und vom Alter - beträgt 9,8 mm ± 0,6 mm und der des männlichen 10,8 mm ± 0,7 mm. Der Unterschied ist signifikant (p-Wert < 0,0001).

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte der SmE der Femora in Bezug auf die Ethnie, unabhängig vom Alter und Geschlecht (Abb. 59):

- Kaukasier (10,5 mm ± 0,8 mm) versus Asiaten (9,8 mm ± 0,7 mm) (p-Wert < 0,0001)
- Kaukasier (10,5 mm ± 0,8 mm) versus Afrikaner (10,1 mm ± 0,8 mm) (p-Wert < 0,05)
- Asiaten (9,8 mm ± 0,7 mm) versus Afrikaner (10,1 mm ± 0,8 mm) (p-Wert > 0,05)



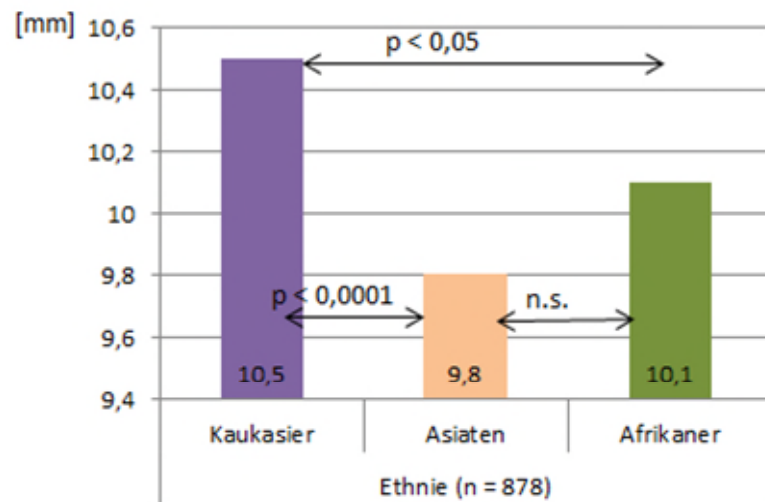


Abbildung 59: Vergleich der Mittelwerte (MW) der SmE der Femora in Bezug auf die Ethnie.

Es bestehen signifikante Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte der SmE der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie (Abb. 60):

- asiatische Männer (10,2 mm  $\pm$  0,6 mm) versus asiatische Frauen (9,3 mm  $\pm$  0,5 mm) (p-Wert < 0,0001)
- afrikanische Männer (10,6 mm  $\pm$  0,4 mm) versus afrikanische Frauen (9,4 mm  $\pm$  0,5 mm) (p-Wert < 0,0001)
- kaukasische Männer (11,0 mm  $\pm$  0,6 mm) versus kaukasische Frauen (9,9 mm  $\pm$  0,5 mm) (p-Wert < 0,0001)

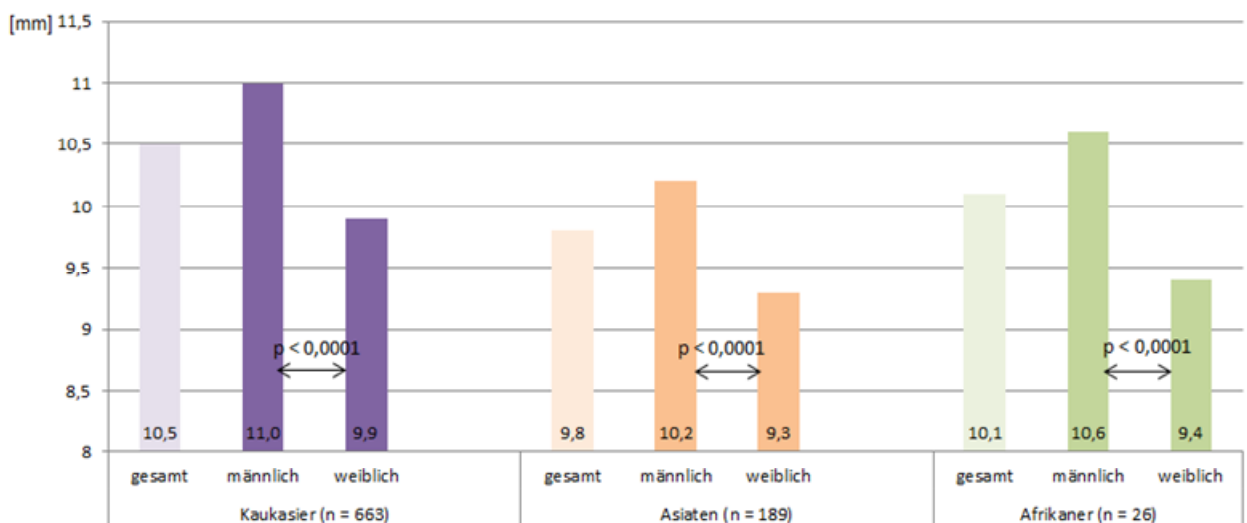


Abbildung 60: Vergleich der Mittelwerte (MW) der SmE der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie.

Es bestehen signifikante Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte der SmE der Femora der Männer in Bezug auf die Ethnie (Abb. 61):

- afrikanische Männer (10,6 mm ± 0,4 mm) versus kaukasische Männer (11,0 mm ± 0,6 mm) (p-Wert < 0,05)
- asiatische Männer (10,2 mm ± 0,6 mm) versus kaukasische Männer (11,0 mm ± 0,6 mm) (p-Wert < 0,0001)
- afrikanische Männer (10,6 mm ± 0,4 mm) versus asiatische Männer (10,2 mm ± 0,6 mm) (p-Wert < 0,05)

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte der SmE der Femora der Frauen in Bezug auf die Ethnie (Abb. 61):

- afrikanische Frauen (9,4 mm ± 0,5 mm) versus kaukasische Frauen (9,9 mm ± 0,5 mm) (p-Wert < 0,05)
- asiatische Frauen (9,3 mm ± 0,5 mm) versus kaukasische Frauen (9,9 mm ± 0,5 mm) (p-Wert < 0,0001)
- afrikanische Frauen (9,4 mm ± 0,5 mm) versus asiatische Frauen (9,3 mm ± 0,5 mm) (p-Wert > 0,05)

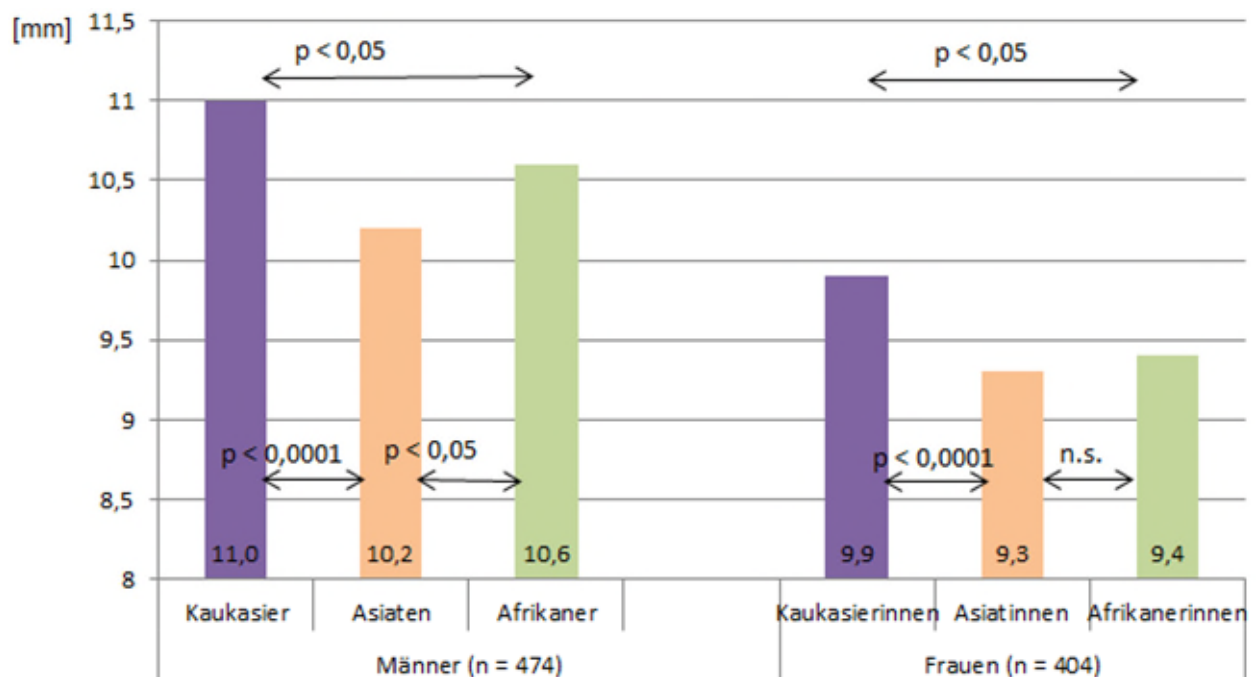


Abbildung 61: Vergleich der Mittelwerte (MW) der SmE der Femora der männlichen und der weiblichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie.

Es besteht ein signifikanter Unterschied beim Vergleich der Mittelwerte der SmE der Femora von asiatischen Männern (10,2 mm ± 0,6 mm) mit denen von kaukasischen Frauen (9,9 mm ± 0,5 mm) (p-Wert < 0,0001).

Es besteht ein signifikanter Unterschied beim Vergleich der Mittelwerte der SmE der Femora in Bezug auf das Alter, unabhängig von Ethnie und Geschlecht (Abb. 62):

- 49-jährig und jünger (10,2 mm ± 0,8 mm) versus 50-jährig und älter (10,4 mm ± 0,8 mm) (p-Wert < 0,05)

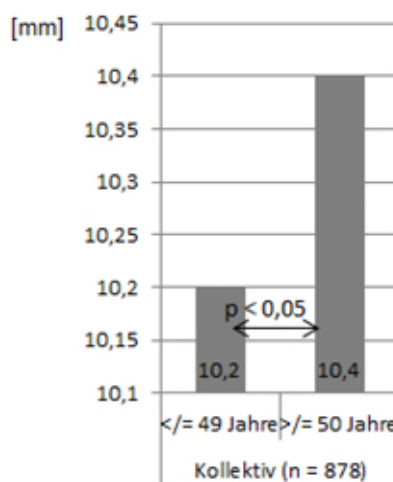


Abbildung 62: Vergleich der Mittelwerte (MW) der SmE der Femora in Bezug auf das Alter.

#### 4.1.10 Durchmesser des Radius der lateralen Kondyle

Der Mittelwert dieses Durchmessers beträgt für das gesamte Kollektiv 20,4 mm ± 1,9 mm.

Der Mittelwert des Durchmessers des Radius der lateralen Kondyle der Femora des weiblichen Kollektivs – unabhängig von der Ethnie und vom Alter - beträgt 18,9 mm ± 1,2 mm und der des männlichen 21,6 mm ± 1,5 mm. Der Unterschied ist signifikant (p-Wert < 0,0001).

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte des Durchmessers des Radius der lateralen Kondyle der Femora in Bezug auf die Ethnie, unabhängig vom Alter und Geschlecht (Abb. 63):

- Kaukasier (20,6 mm ± 1,9 mm) versus Asiaten (19,6 mm ± 1,8 mm) (p-Wert < 0,0001)
- Kaukasier (20,6 mm ± 1,9 mm) versus Afrikaner (19,0 mm ± 1,8 mm) (p-Wert < 0,0001)
- Asiaten (19,6 mm ± 1,8 mm) versus Afrikaner (19,0 mm ± 1,8 mm) (p-Wert > 0,05)

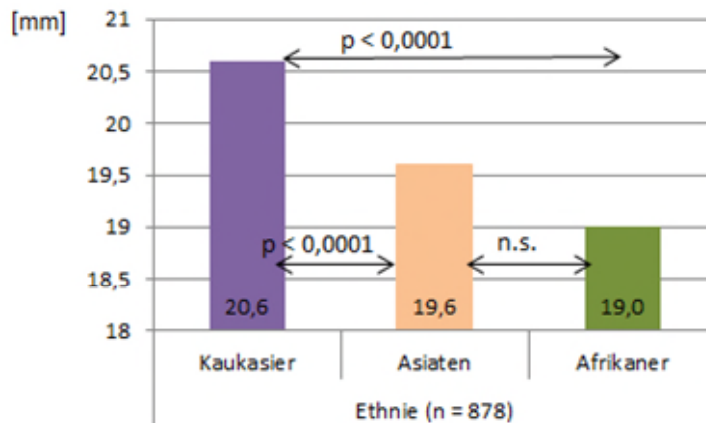


Abbildung 63: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Durchmessers des Radius der lateralen Kondyle der Femora in Bezug auf die Ethnie.

Es bestehen signifikante Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte des Durchmessers des Radius der lateralen Kondyle der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie (Abb. 64):

- asiatische Männer (20,7 mm ± 1,4 mm) versus asiatische Frauen (18,0 mm ± 1,0 mm) (p-Wert < 0,0001)
- afrikanische Männer (20,2 mm ± 1,4 mm) versus afrikanische Frauen (17,7 mm ± 1,1 mm) (p-Wert < 0,0001)
- kaukasische Männer (21,9 mm ± 1,4 mm) versus kaukasische Frauen (19,2 mm ± 1,2 mm) (p-Wert < 0,0001)

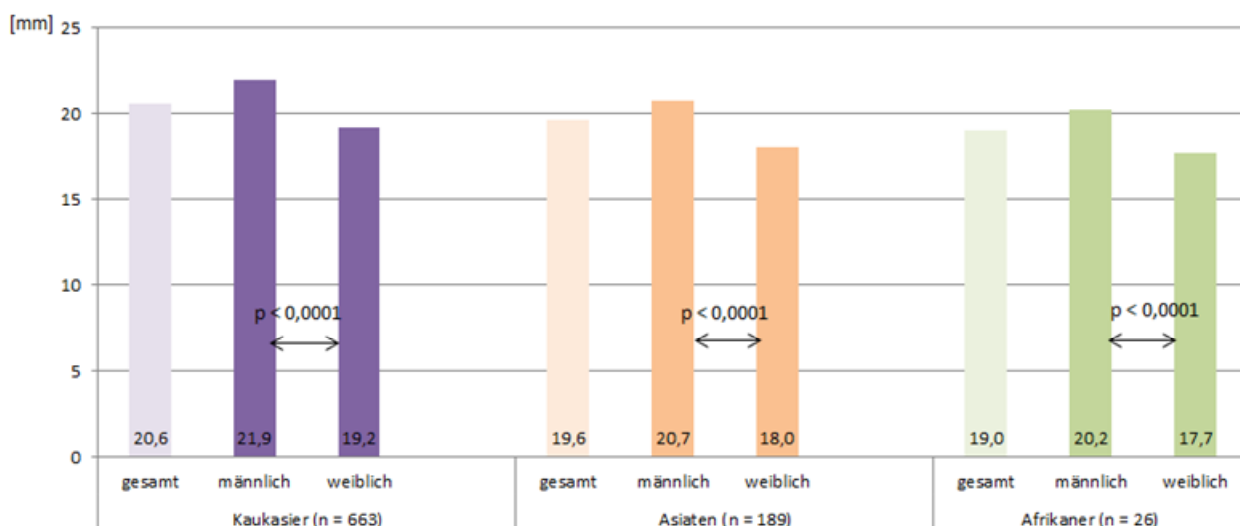


Abbildung 64: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Durchmesser des Radius der lateralen Kondyle der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie.

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte des Durchmessers des Radius der lateralen Kondyle der Femora der Männer in Bezug auf die Ethnie (Abb. 65):

- afrikanische Männer (20,2 mm ± 1,4 mm) versus kaukasische Männer (21,9 mm ± 1,4 mm) (p-Wert < 0,05)
- asiatische Männer (20,7 mm ± 1,4 mm) versus kaukasische Männer (21,9 mm ± 1,4mm) (p-Wert < 0,0001)
- afrikanische Männer (20,2 mm ± 1,4 mm) versus asiatische Männer (20,7 mm ± 1,4 mm) (p-Wert > 0,05)

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte des Durchmessers des Radius der lateralen Kondyle der Femora der Frauen in Bezug auf die Ethnie (Abb. 65):

- afrikanische Frauen (17,7 mm ± 1,1 mm) versus kaukasische Frauen (19,2 mm ± 1,2 mm) (p-Wert < 0,0001)
- asiatische Frauen (18,0 mm ± 1,0 mm) versus kaukasische Frauen (19,2 mm ± 1,2 mm) (p-Wert < 0,0001)
- afrikanische Frauen (17,7 mm ± 1,1 mm) versus asiatische Frauen (18,0 mm ± 1,0 mm) (p-Wert > 0,05)

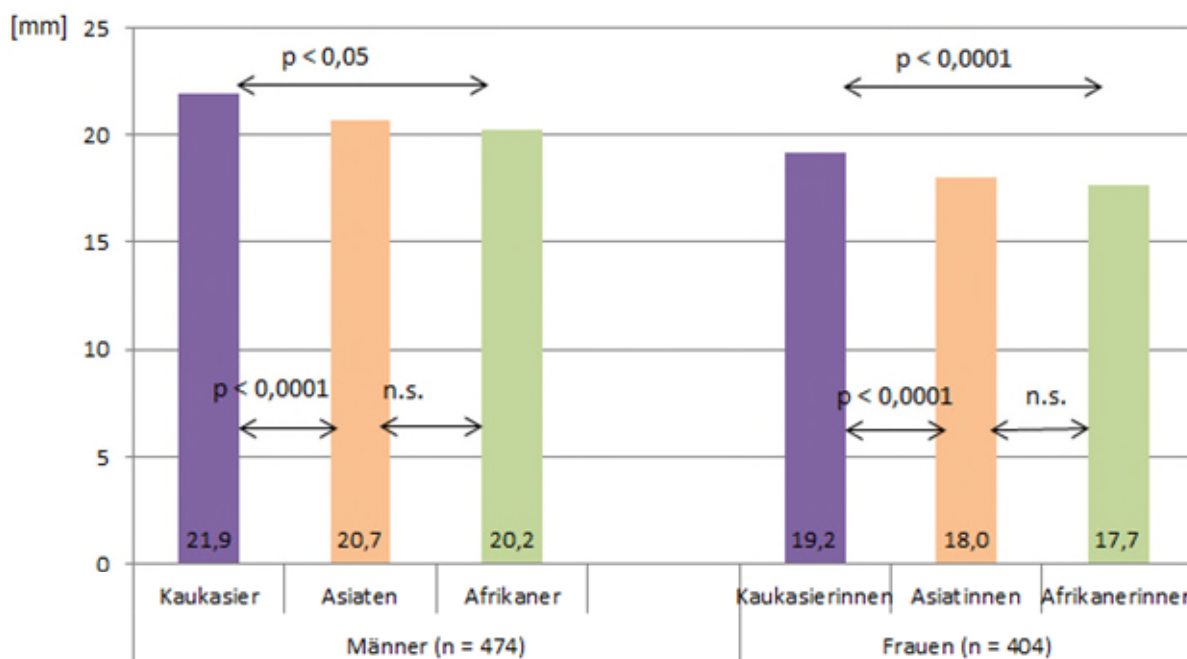


Abbildung 65: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Durchmesser des Radius der lateralen Kondyle der Femora der männlichen und der weiblichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie.

Es besteht ein signifikanter Unterschied beim Vergleich der Mittelwerte des Durchmessers des Radius der lateralen Kondyle der Femora von asiatischen Männern (20,7 mm ± 1,4 mm) mit denen von kaukasischen Frauen (19,2 mm ± 1,2 mm) (p-Wert < 0,0001).

Es besteht kein signifikanter Unterschied beim Vergleich der Mittelwerte des Durchmessers des Radius der lateralen Kondyle der Femora in Bezug auf das Alter, unabhängig von Ethnie und Geschlecht (Abb. 66):

- 49-jährig und jünger ( $20,2 \text{ mm} \pm 1,9 \text{ mm}$ ) versus 50-jährig und älter ( $20,3 \text{ mm} \pm 1,9 \text{ mm}$ ) (p-Wert  $> 0,05$ )

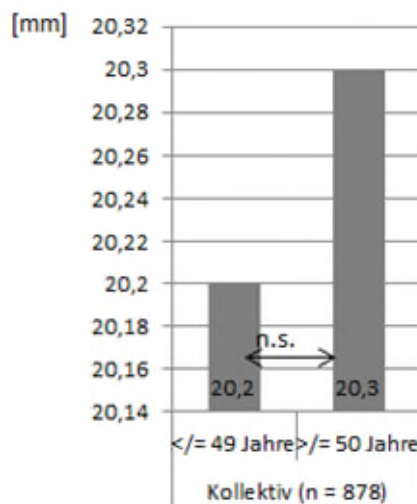


Abbildung 66: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Durchmessers des Radius der lateralen Kondyle der Femora in Bezug auf das Alter.

#### 4.1.11 Durchmesser des Radius der medialen Kondyle

Der Mittelwert dieses Durchmessers beträgt für das gesamte Kollektiv  $21,6 \text{ mm} \pm 1,8 \text{ mm}$ .

Der Mittelwert des Durchmessers des Radius der medialen Kondyle der Femora des weiblichen Kollektivs – unabhängig von der Ethnie und vom Alter - beträgt  $20,3 \text{ mm} \pm 1,4 \text{ mm}$  und der des männlichen  $22,7 \text{ mm} \pm 1,4 \text{ mm}$ . Der Unterschied ist signifikant (p-Wert  $< 0,0001$ ).

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte des Durchmessers des Radius der medialen Kondyle der Femora in Bezug auf die Ethnie, unabhängig vom Alter und Geschlecht (Abb. 67):

- Kaukasier ( $21,8 \text{ mm} \pm 1,8 \text{ mm}$ ) versus Asiaten ( $20,9 \text{ mm} \pm 1,7 \text{ mm}$ ) (p-Wert  $< 0,0001$ )
- Kaukasier ( $21,8 \text{ mm} \pm 1,8 \text{ mm}$ ) versus Afrikaner ( $20,5 \text{ mm} \pm 1,9 \text{ mm}$ ) (p-Wert  $< 0,05$ )
- Asiaten ( $20,9 \text{ mm} \pm 1,7 \text{ mm}$ ) versus Afrikaner ( $20,5 \text{ mm} \pm 1,9 \text{ mm}$ ) (p-Wert  $> 0,05$ )

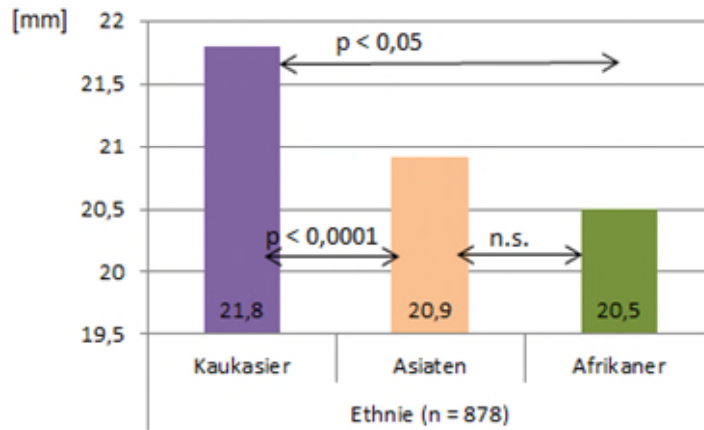


Abbildung 67: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Durchmessers des Radius der medialen Kondyle der Femora in Bezug auf die Ethnie.

Es bestehen signifikante Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte des Durchmessers des Radius der medialen Kondyle der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie (Abb. 68):

- asiatische Männer (21,8 mm  $\pm$  1,3 mm) versus asiatische Frauen (19,5 mm  $\pm$  1,1 mm) (p-Wert < 0,0001)
- afrikanische Männer (21,7 mm  $\pm$  1,6 mm) versus afrikanische Frauen (19,1 mm  $\pm$  1,0 mm) (p-Wert < 0,0001)
- kaukasische Männer (22,9 mm  $\pm$  1,3 mm) versus kaukasische Frauen (20,6 mm  $\pm$  1,3 mm) (p-Wert < 0,0001)

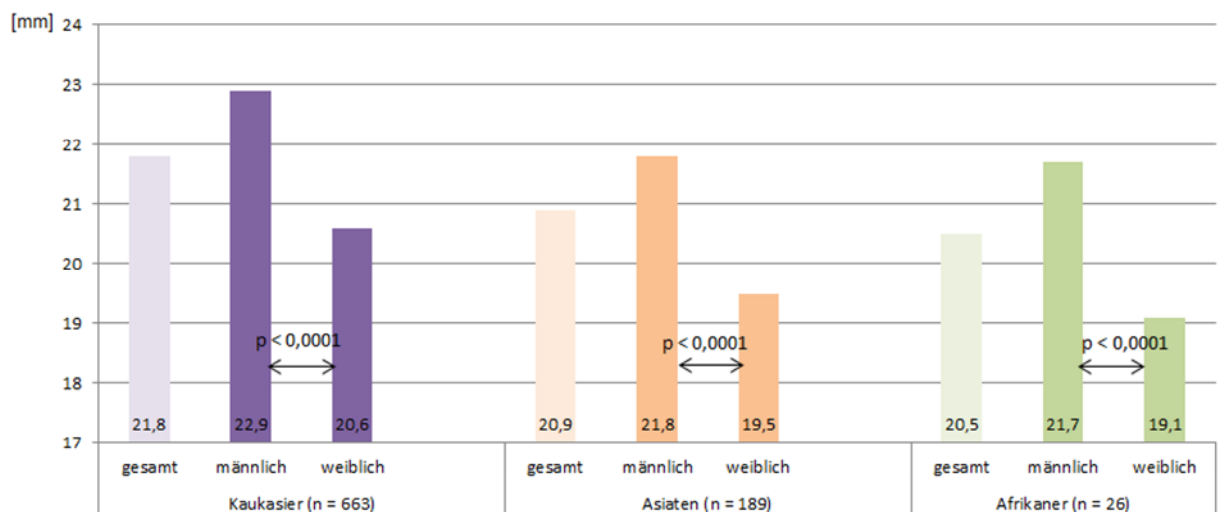


Abbildung 68: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Durchmessers des Radius der medialen Kondyle der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie.

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte des Durchmessers des Radius der medialen Kondyle der Femora der Männer in Bezug auf die Ethnie (Abb. 69):

- afrikanische Männer (21,7 mm ± 1,6 mm) versus kaukasische Männer (22,9 mm ± 1,3 mm) (p-Wert < 0,05)
- asiatische Männer (21,8 mm ± 1,3 mm) versus kaukasische Männer (22,9 mm ± 1,3 mm) (p-Wert < 0,0001)
- afrikanische Männer (21,7 mm ± 1,6 mm) versus asiatische Männer (21,8 mm ± 1,3 mm) (p-Wert > 0,05)

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte des Durchmessers des Radius der medialen Kondyle der Femora der Frauen in Bezug auf die Ethnie (Abb. 69):

- afrikanische Frauen (19,1 mm ± 1,0 mm) versus kaukasische Frauen (20,6 mm ± 1,3 mm) (p-Wert < 0,05)
- asiatische Frauen (19,5 mm ± 1,1 mm) versus kaukasische Frauen (20,6 mm ± 1,3 mm) (p-Wert < 0,0001)
- afrikanische Frauen (19,1 mm ± 1,0 mm) versus asiatische Frauen (19,5 mm ± 1,1 mm) (p-Wert > 0,05)

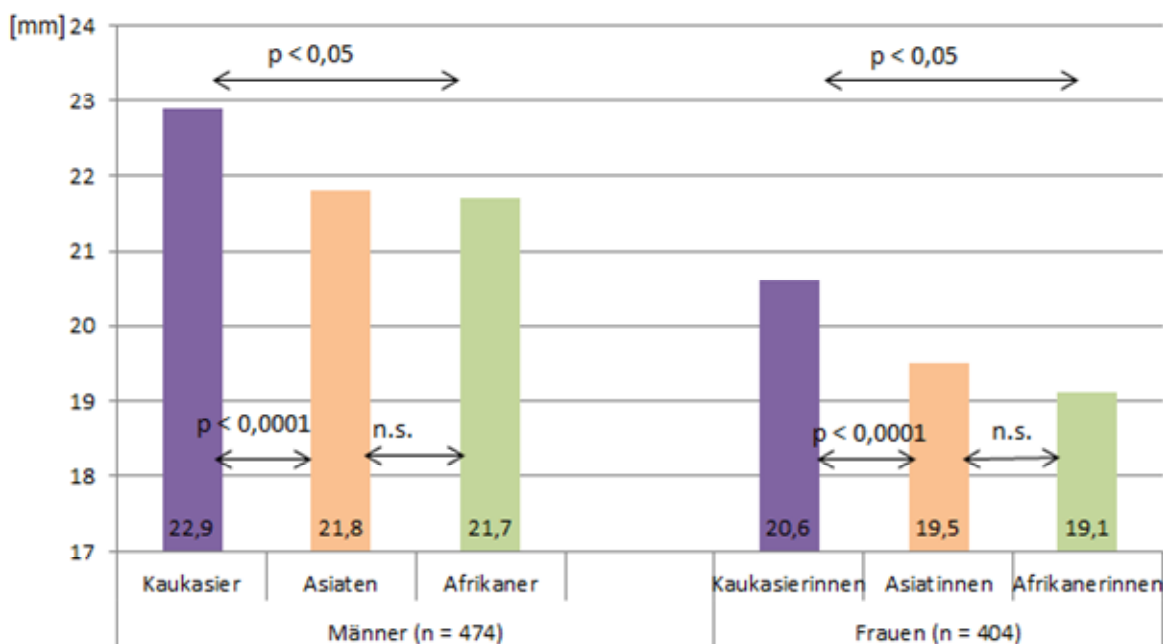


Abbildung 69: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Durchmessers des Radius der medialen Kondyle der Femora der männlichen und der weiblichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie.



Es besteht ein signifikanter Unterschied beim Vergleich der Mittelwerte des Durchmessers des Radius der medialen Kondyle der Femora von asiatischen Männern ( $21,8 \text{ mm} \pm 1,3 \text{ mm}$ ) mit denen von kaukasischen Frauen ( $20,6 \text{ mm} \pm 1,3 \text{ mm}$ ) ( $p\text{-Wert} < 0,0001$ ).

Es besteht kein signifikanter Unterschied beim Vergleich der Mittelwerte des Durchmessers des Radius der medialen Kondyle der Femora in Bezug auf das Alter, unabhängig von Ethnie und Geschlecht (Abb. 70):

- 49-jährig und jünger ( $21,5 \text{ mm} \pm 1,8 \text{ mm}$ ) versus 50-jährig und älter ( $21,6 \text{ mm} \pm 1,8 \text{ mm}$ ) ( $p\text{-Wert} > 0,05$ )

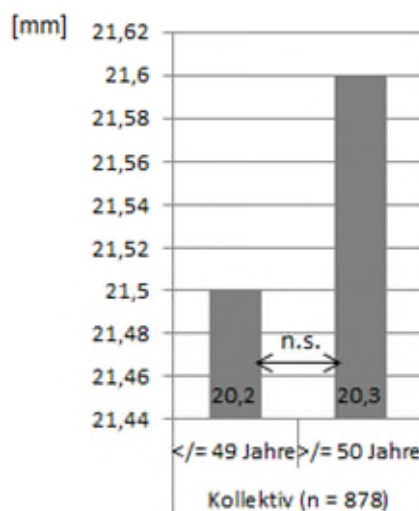


Abbildung 70: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Durchmessers des Radius der medialen Kondyle der Femora in Bezug auf das Alter.

## 4.2 Winkel des distalen Femurs

### 4.2.1 Kondylärer Drehwinkel

Der Mittelwert dieses Winkels beträgt im gesamten Kollektiv  $6,6^\circ \pm 1,7^\circ$ .

Der Mittelwert des CTA der Femora des weiblichen Kollektivs – unabhängig von der Ethnie und vom Alter - wird mit  $6,6^\circ \pm 1,8^\circ$  und der des männlichen mit  $6,5^\circ \pm 1,5^\circ$  berechnet. Der Unterschied ist nicht signifikant. ( $p\text{-Wert} > 0,05$ ).

Ein signifikanter Unterschied besteht beim Vergleich der Mittelwerte des CTA der Femora von asiatischen Männern ( $6,4^\circ \pm 1,6^\circ$ ) mit denen von asiatischen Frauen ( $7,0^\circ \pm 2,2^\circ$ ) ( $p\text{-Wert} < 0,05$ ) (Abb. 71).

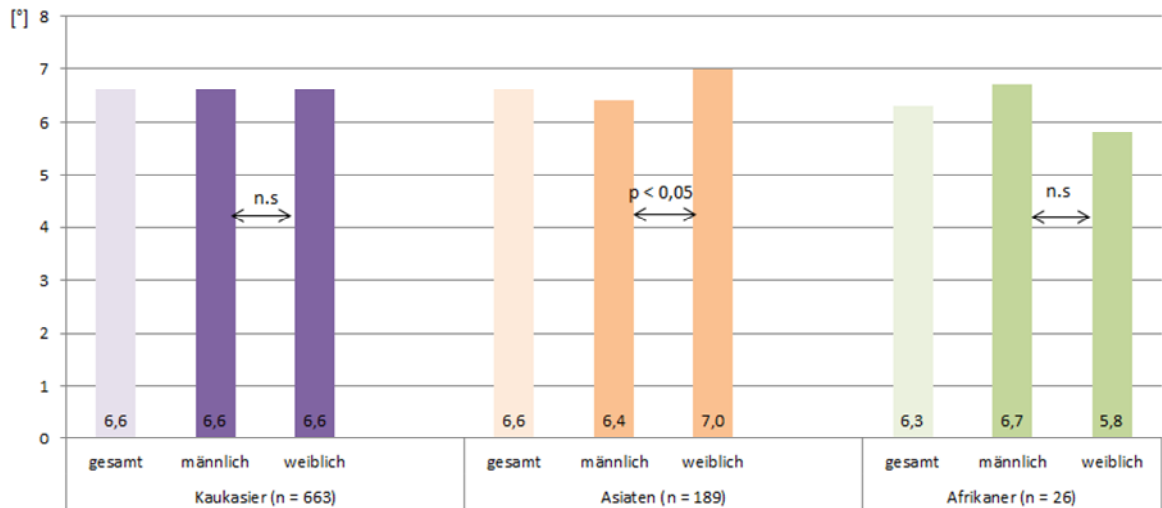


Abbildung 71: Vergleich der Mittelwerte (MW) des CTA der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie.

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte des CTA der Femora der Frauen in Bezug auf die Ethnie (Abb. 72):

- afrikanische Frauen ( $5,8^\circ \pm 1,2^\circ$ ) versus kaukasische Frauen ( $6,6^\circ \pm 1,8^\circ$ ) (p-Wert  $> 0,05$ )
- asiatische Frauen ( $7,0^\circ \pm 2,2^\circ$ ) versus kaukasische Frauen ( $6,6^\circ \pm 1,8^\circ$ ) (p-Wert  $< 0,0001$ )
- afrikanische Frauen ( $5,8^\circ \pm 1,2^\circ$ ) versus asiatische Frauen ( $7,0^\circ \pm 2,2^\circ$ ) (p-Wert  $< 0,05$ )

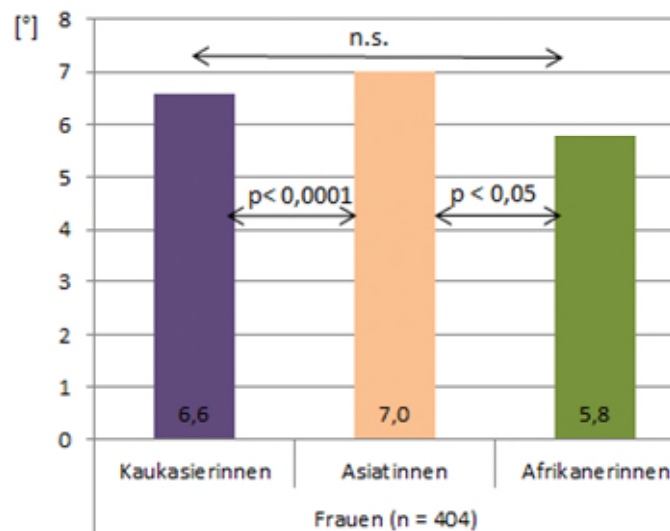


Abbildung 72: Vergleich der Mittelwerte (MW) des CTA der Femora der weiblichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie.

#### 4.2.2 Posteriorer Kondylenwinkel

Der Mittelwert dieses Winkels beträgt im gesamten Kollektiv  $3,1^\circ \pm 1,7^\circ$ .

Der mittlere Wert des PCA der Femora des weiblichen Kollektivs – unabhängig von der Ethnie und vom Alter - wird mit  $3,3^\circ \pm 1,8^\circ$  und der des männlichen mit  $2,9^\circ \pm 1,6^\circ$  berechnet. Der Unterschied ist signifikant (p-Wert < 0,0001).

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte des PCA der Femora in Bezug auf die Ethnie, unabhängig vom Alter und Geschlecht (Abb. 73):

- Kaukasier ( $3,1^\circ \pm 1,7^\circ$ ) versus Asiaten ( $3,4^\circ \pm 1,7^\circ$ ) (p-Wert < 0,05)
- Kaukasier ( $3,1^\circ \pm 1,7^\circ$ ) versus Afrikaner ( $3,2^\circ \pm 1,9^\circ$ ) (p-Wert > 0,05)
- Asiaten ( $3,4^\circ \pm 1,7^\circ$ ) versus Afrikaner ( $3,2^\circ \pm 1,9^\circ$ ) (p-Wert > 0,05)

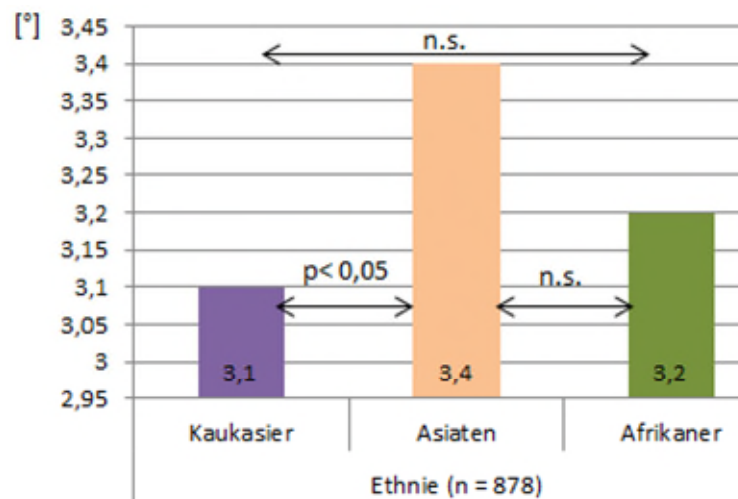


Abbildung 73: Vergleich der Mittelwerte (MW) des PCA der Femora in Bezug auf die Ethnie.

Ein signifikanter Unterschied besteht beim Vergleich der Mittelwerte des PCA der Femora von asiatischen Männern ( $2,9^\circ \pm 1,5^\circ$ ) mit denen von asiatischen Frauen ( $4,0^\circ \pm 1,8^\circ$ ) (p-Wert < 0,0001) (Abb. 74).

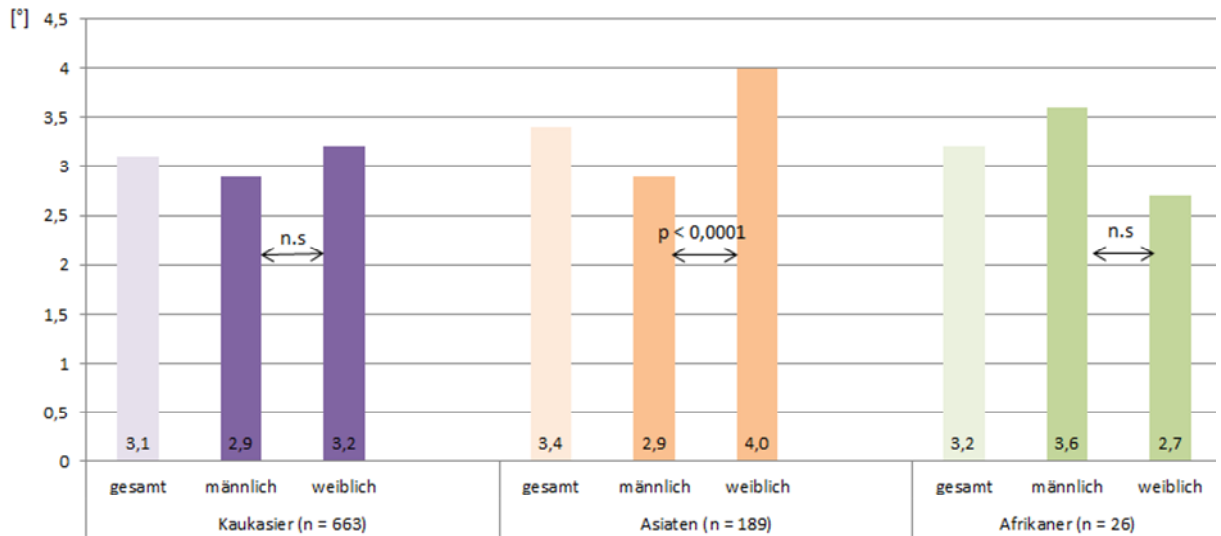


Abbildung 74: Vergleich der Mittelwerte (MW) des PCA der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie.

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte des PCA der Femora der Frauen in Bezug auf die Ethnie (Abb. 75):

- afrikanische Frauen ( $2,7^\circ \pm 1,4^\circ$ ) versus kaukasische Frauen ( $3,2^\circ \pm 1,8^\circ$ ) (p-Wert > 0,05)
- asiatische Frauen ( $4,0^\circ \pm 1,8^\circ$ ) versus kaukasische Frauen ( $3,2^\circ \pm 1,8^\circ$ ) (p-Wert < 0,05)
- asiatische Frauen ( $4,0^\circ \pm 1,8^\circ$ ) versus afrikanische Frauen ( $2,7^\circ \pm 1,4^\circ$ ) (p-Wert < 0,05)

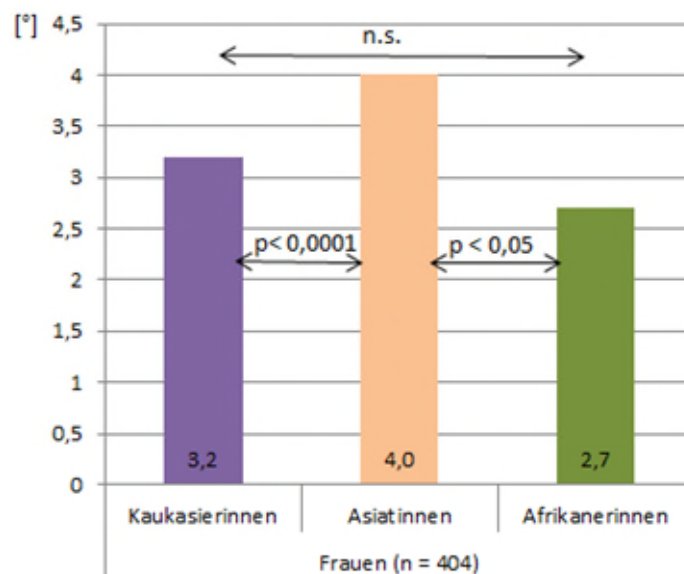


Abbildung 75: Vergleich der Mittelwerte (MW) des PCA der Femora der weiblichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie.

#### 4.2.3 Winkel zwischen der senkrechten Achse zur anterioren-posterioren Achse und der posterioren Kondylenlinie

Der Mittelwert des Winkels beträgt im gesamten Kollektiv  $5,3^\circ \pm 1,9^\circ$ .

Der Mittelwert des Winkels der Femora des weiblichen Geschlechts – unabhängig von der Ethnie und vom Alter - wird mit  $5,5^\circ \pm 1,9^\circ$  und der des männlichen mit  $5,0^\circ \pm 1,8^\circ$  berechnet. Der Unterschied ist signifikant (p-Wert < 0,0001).

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte des Winkels der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie (Abb. 76):

- asiatische Männer ( $4,8^\circ \pm 1,8^\circ$ ) versus asiatische Frauen ( $6,2^\circ \pm 1,9^\circ$ ) (p-Wert < 0,0001)
- afrikanische Männer ( $4,9^\circ \pm 2,3^\circ$ ) versus afrikanische Frauen ( $4,7^\circ \pm 1,7^\circ$ ) (p-Wert > 0,05)
- kaukasische Männer ( $5,1^\circ \pm 1,8^\circ$ ) versus kaukasische Frauen ( $5,4^\circ \pm 1,9^\circ$ ) (p-Wert > 0,05)

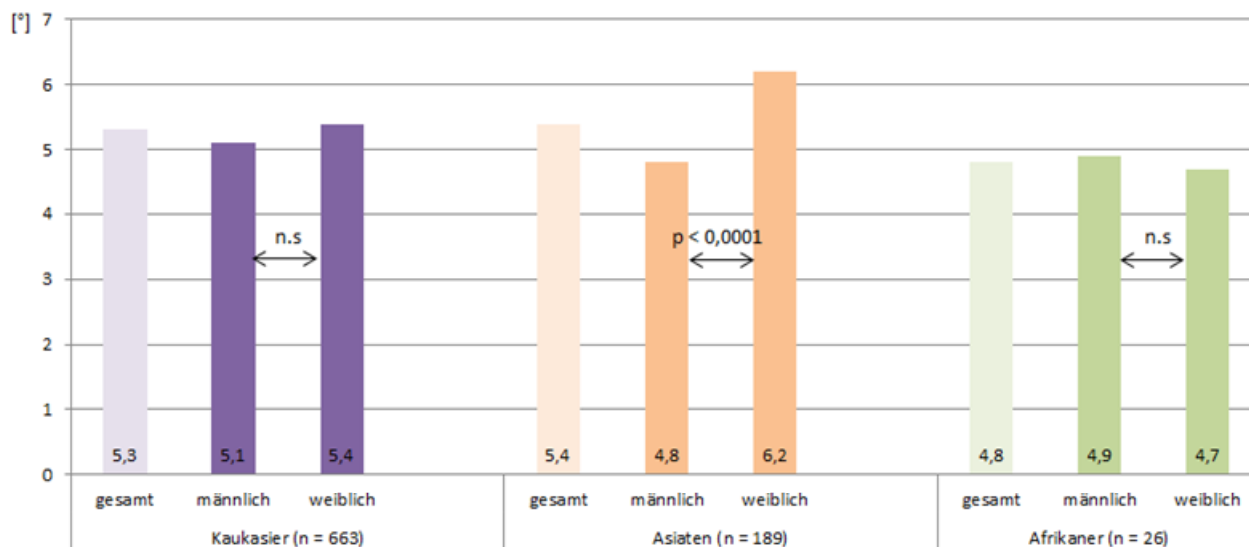


Abbildung 76: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der senkrechten Achse zur AP-Achse und der PCL der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie.

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte des Winkels der Femora der Frauen in Bezug auf die Ethnie (Abb. 77):

- afrikanische Frauen ( $4,7^\circ \pm 1,7^\circ$ ) versus kaukasische Frauen ( $5,4^\circ \pm 1,9^\circ$ ) (p-Wert > 0,05)
- asiatische Frauen ( $6,2^\circ \pm 1,9^\circ$ ) versus kaukasische Frauen ( $5,4^\circ \pm 1,9^\circ$ ) (p-Wert < 0,05)
- afrikanische Frauen ( $4,7^\circ \pm 1,7^\circ$ ) versus asiatische Frauen ( $6,2^\circ \pm 1,9^\circ$ ) (p-Wert < 0,05)

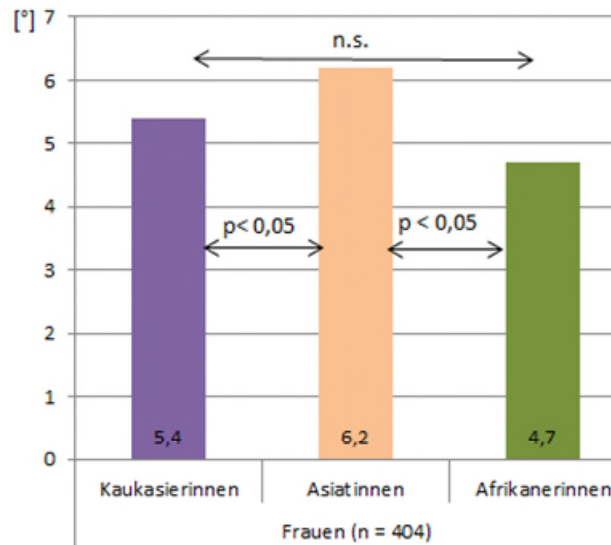


Abbildung 77: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der senkrechten Achse zur AP-Achse und der PCL der Femora innerhalb der weiblichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie.

Es bestehen signifikante Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte des Winkels der Femora von asiatischen Männern ( $4.8^\circ \pm 1.8^\circ$ ) mit denen von kaukasischen Frauen ( $5.4^\circ \pm 1.9^\circ$ ) (p-Wert < 0,05).

#### 4.2.4 Winkel zwischen der senkrechten Achse zur anterioren-posterioren Achse und der chirurgischen transepikondylären Achse

Der Mittelwert des Winkels beträgt im gesamten Kollektiv  $3,0^\circ \pm 1,1^\circ$ .

Der Mittelwert des Winkels der Femora des weiblichen Kollektivs – unabhängig von der Ethnie und vom Alter - wird mit  $3,2^\circ \pm 1,1^\circ$  und der des männlichen mit  $2,9^\circ \pm 1,1^\circ$  berechnet. Der Unterschied ist signifikant (p-Wert < 0.0001).

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte des Winkels der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie (Abb. 78):

- asiatische Männer ( $2,7^\circ \pm 1,0^\circ$ ) versus asiatische Frauen ( $3,2^\circ \pm 1,1^\circ$ ) (p-Wert < 0,0001)
- afrikanische Männer ( $2,4^\circ \pm 1,1^\circ$ ) versus afrikanische Frauen ( $3,0^\circ \pm 1,5^\circ$ ) (p-Wert > 0,05)
- kaukasische Männer ( $3,0^\circ \pm 1,1^\circ$ ) versus kaukasische Frauen ( $3,1^\circ \pm 1,1^\circ$ ) (p-Wert > 0,05)

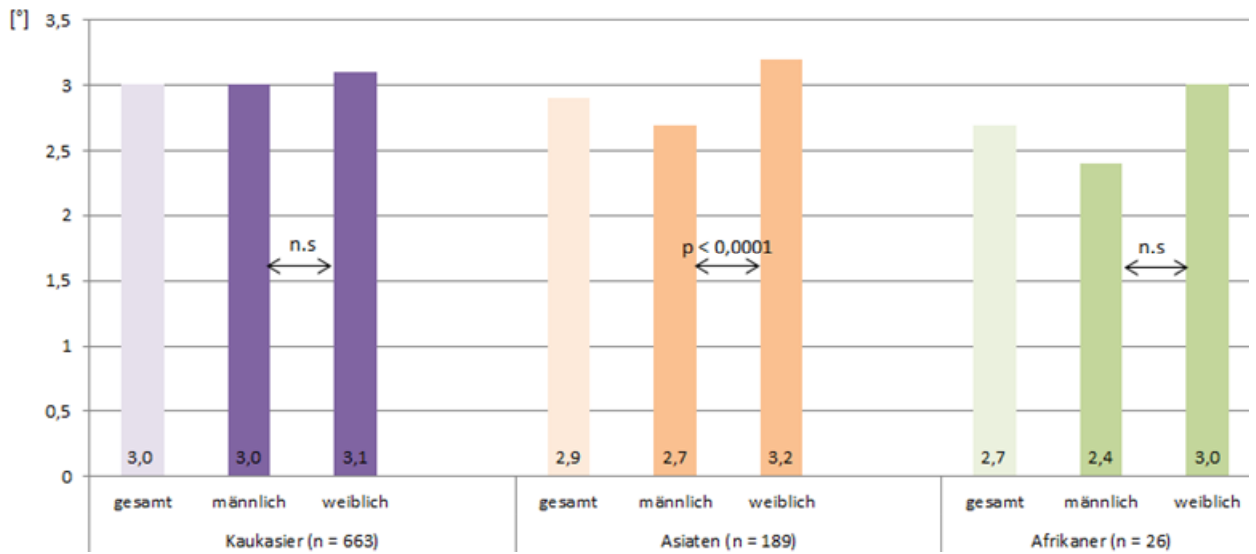


Abbildung 78: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der senkrechten Achse zur AP-Achse und der chirurg. TEA der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie.

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte des Winkels der Femora der Männer in Bezug auf die Ethnie (Abb. 79):

- Asiatische Männer ( $2,7^\circ \pm 1,0^\circ$ ) versus kaukasische Männern ( $3,0^\circ \pm 1,1^\circ$ ) (p-Wert < 0,05)

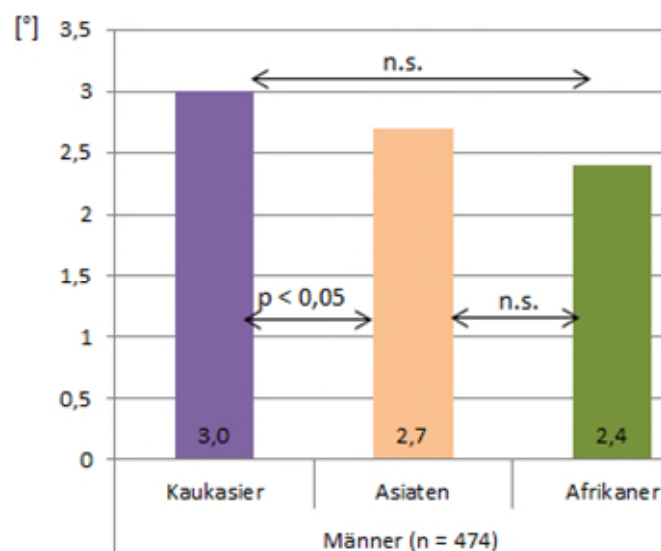


Abbildung 79: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der senkrechten Achse zur AP-Achse und der chirurg. TEA der Femora innerhalb der männlichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie.

#### 4.2.5 Winkel zwischen der senkrechten Achse zur anterioren-posterioren Achse und der anatomischen transepikondylären Achse

Der Mittelwert des Winkels beträgt im gesamten Kollektiv  $2,5^\circ \pm 1,2^\circ$ .

Der Mittelwert des Winkels der Femora des weiblichen Kollektivs – unabhängig von der Ethnie und vom Alter - wird mit  $2,5^\circ \pm 1,2^\circ$  und der des männlichen mit  $2,5^\circ \pm 1,1^\circ$  berechnet. Der Unterschied ist nicht signifikant ( $p$ -Wert  $> 0,05$ ).

Auch zwischen den verschiedenen Ethnien gibt es keine signifikanten Unterschiede, unabhängig vom Alter und Geschlecht (Abb. 80).

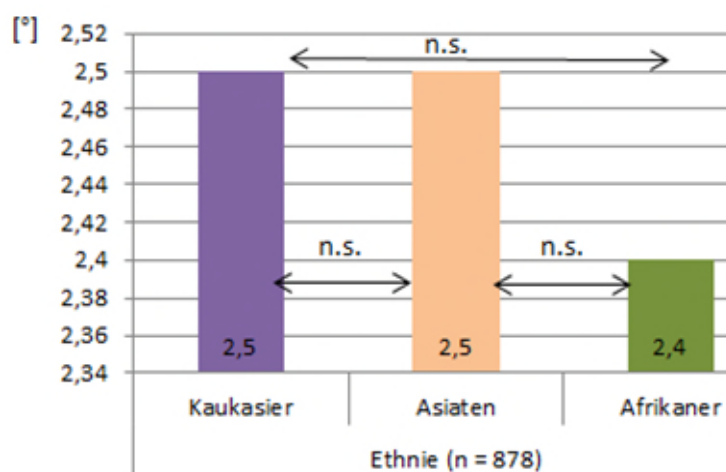


Abbildung 80: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der senkrechten Achse zur AP-Achse und der anat. TEA der Femora in Bezug auf die Ethnie.

#### 4.2.6 Winkel zwischen der anterioren-posterioren Achse und der posterioren Kondylenlinie

Um die Ergebnisse dieser Studie besser mit den Ergebnissen in der Literatur vergleichen zu können, muss dieser Winkel sowohl nach lateral als auch nach medial offen gemessen werden.

Der Mittelwert des nach lateral offen gemessenen Winkels beträgt im gesamten Kollektiv  $84,9^\circ \pm 2,1^\circ$  und der des medialen  $95,1^\circ \pm 2,1^\circ$ .

Der Mittelwert des Winkels der Femora des weiblichen Kollektivs – unabhängig von der Ethnie und vom Alter - wird bei den nach lateral offenen Messungen mit  $85,1^\circ \pm 2,0^\circ$  und bei den Femora des männlichen Kollektivs mit  $84,9^\circ \pm 2,1^\circ$  berechnet. Der Unterschied ist nicht signifikant ( $p > 0,05$ ).



Der Mittelwert des Winkels der Femora des weiblichen Kollektivs – unabhängig von der Ethnie und vom Alter - wird bei den nach medial offenen Messungen mit  $95,0^\circ \pm 2,1^\circ$  und bei den Femora des männlichen Kollektivs mit  $95,1^\circ \pm 2,1^\circ$  berechnet. Der Unterschied ist nicht signifikant ( $p > 0,05$ ).

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte des Winkels der Femora in Bezug auf die Ethnie, unabhängig vom Alter und Geschlecht (Abb. 81 a und b):

- Kaukasier (nach lateral offen gemessener Winkel  $85,2^\circ \pm 2,0^\circ$ ; nach medial offen gemessener Winkel  $94,8^\circ \pm 2,0^\circ$ ) versus Asiaten (nach lateral offen gemessener Winkel  $84,0^\circ \pm 2,0^\circ$ ; nach medial offen gemessener Winkel  $96,0^\circ \pm 2,0^\circ$ ) ( $p$ -Wert  $< 0,0001$ )
- Kaukasier (nach lateral offen gemessener Winkel  $85,2^\circ \pm 2,0^\circ$ ; nach medial offen gemessener Winkel  $94,8^\circ \pm 2,0^\circ$ ) versus Afrikaner (nach lateral offen gemessener Winkel  $86,4^\circ \pm 1,7^\circ$ ; nach medial offen gemessener Winkel  $93,6^\circ \pm 1,7^\circ$ ) ( $p$ -Wert  $< 0,05$ )
- Asiaten (nach lateral offen gemessener Winkel  $84,0^\circ \pm 2,0^\circ$ ; nach medial offen gemessener Winkel  $96,0^\circ \pm 2,0^\circ$ ) versus Afrikaner (nach lateral offen gemessener Winkel  $86,4^\circ \pm 1,7^\circ$ ; nach medial offen gemessener Winkel  $93,6^\circ \pm 1,7^\circ$ ) ( $p$ -Wert  $< 0,0001$ )

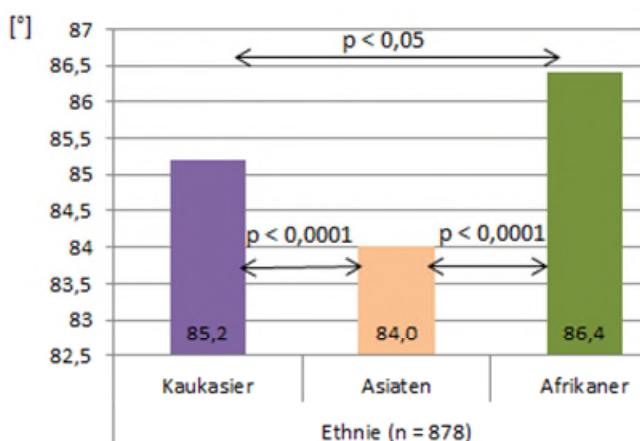


Abbildung 81 a

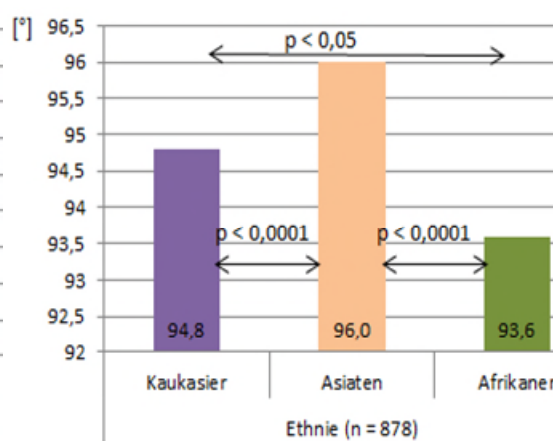


Abbildung 81 b

Abbildung 81: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der AP-Achse und PCL der Femora in Bezug auf die Ethnie.

Abbildung 81 a: Vergleich der Mittelwerte (MW) des nach lateral offen gemessenen Winkels der Femora.

Abbildung 81 b: Vergleich der Mittelwerte (MW) des nach medial offen gemessenen Winkels der Femora.

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte des Winkels der Femora der Männer in Bezug auf die Ethnie (Abb. 82 a und b):

- afrikanische Männer (nach lateral offen gemessener Winkel  $86,7^\circ \pm 1,4^\circ$ ; nach medial offen gemessener Winkel  $93,3^\circ \pm 1,4^\circ$ ) versus kaukasische Männer (nach lateral offen gemessener Winkel  $85,1^\circ \pm 2,0^\circ$ , nach medial offen gemessener Winkel  $95,9^\circ \pm 1,9^\circ$ ) (p-Wert < 0,05)
- asiatische Männer (nach lateral offen gemessener Winkel  $84,1^\circ \pm 1,9^\circ$ ; nach medial offen gemessener Winkel  $95,9^\circ \pm 1,9^\circ$ ) versus kaukasische Männer (nach lateral offen gemessener Winkel  $85,1^\circ \pm 2,0^\circ$ ; nach medial offen gemessener Winkel  $94,9^\circ \pm 2,0^\circ$ ) (p-Wert < 0,0001)
- afrikanische Männer (nach lateral offen gemessener Winkel  $86,7^\circ \pm 1,4^\circ$ ; nach medial offen gemessener Winkel  $93,3^\circ \pm 1,4^\circ$ ) versus asiatische Männer (nach lateral offen gemessener Winkel  $84,1^\circ \pm 1,9^\circ$ ; nach medial offen gemessener Winkel  $95,9^\circ \pm 1,9^\circ$ ) (p-Wert < 0,0001)

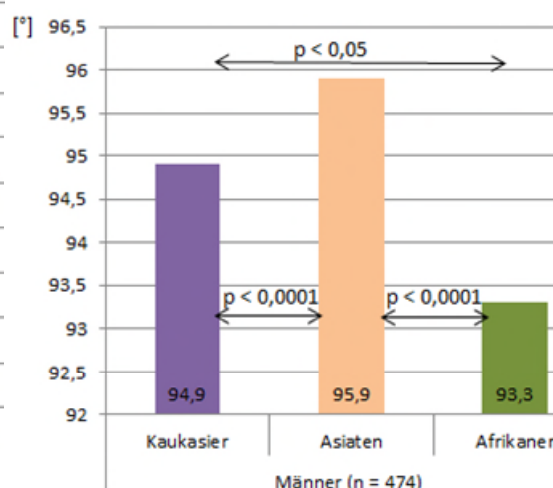
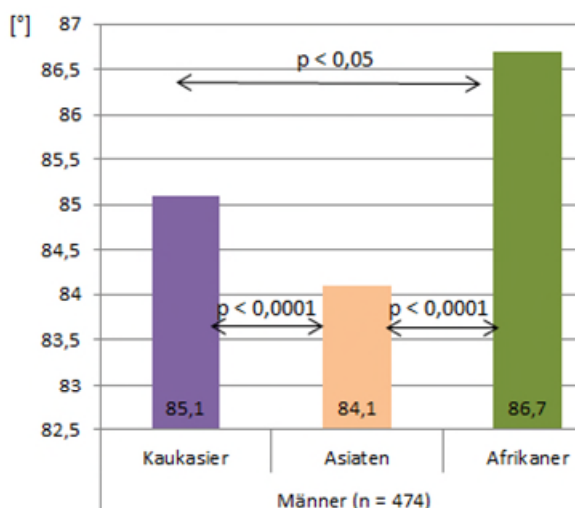


Abbildung 82 a

Abbildung 82 b

Abbildung 82: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der AP-Achse und der PCL der Femora innerhalb der männlichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie.

Abbildung 82 a: Vergleich der Mittelwerte (MW) des nach lateral offen gemessenen Winkels der Femora.

Abbildung 82 b: Vergleich der Mittelwerte (MW) des nach medial offen gemessenen Winkels der Femora.

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte des Winkels der Femora der Frauen in Bezug auf die Ethnie (Abb. 83 a und b):

- afrikanische Frauen (nach lateral offen gemessener Winkel  $85,9^\circ \pm 1,9^\circ$ ; nach medial offen gemessener Winkel  $94,1^\circ \pm 1,9^\circ$ ) versus kaukasische Frauen (nach lateral offen gemessener Winkel  $85,2^\circ \pm 2,1^\circ$ ; nach medial offen gemessener Winkel  $94,8^\circ \pm 2,1^\circ$ ) (p-Wert > 0,05)
- asiatische Frauen (nach lateral offen gemessener Winkel  $83,8^\circ \pm 2,2^\circ$ ; nach medial offen gemessener Winkel  $96,2^\circ \pm 2,2^\circ$ ) versus kaukasische Frauen (nach lateral offen gemessener Winkel  $85,2^\circ \pm 2,1^\circ$ ; nach medial offen gemessener Winkel  $94,8^\circ \pm 2,1^\circ$ ) (p-Wert < 0,0001)
- afrikanischen Frauen (nach lateral offen gemessener Winkel  $85,9^\circ \pm 1,9^\circ$ ; nach medial offen gemessener Winkel  $94,1^\circ \pm 1,9^\circ$ ) versus asiatische Frauen (nach lateral offen gemessener Winkel  $83,8^\circ \pm 2,2^\circ$ ; nach medial offen gemessener Winkel  $96,2^\circ \pm 2,2^\circ$ ) (p-Wert < 0,05)

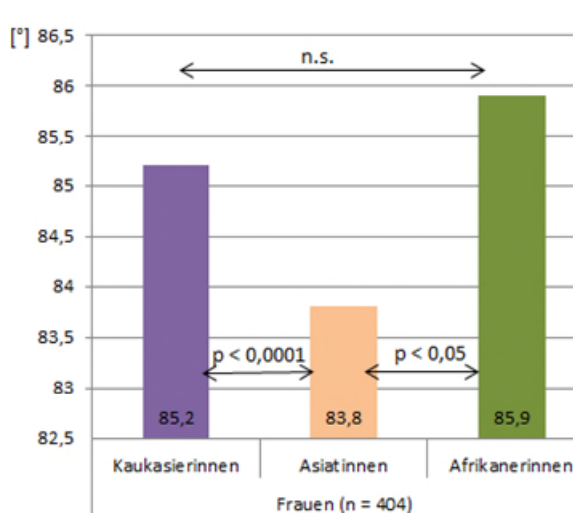


Abbildung 83 a

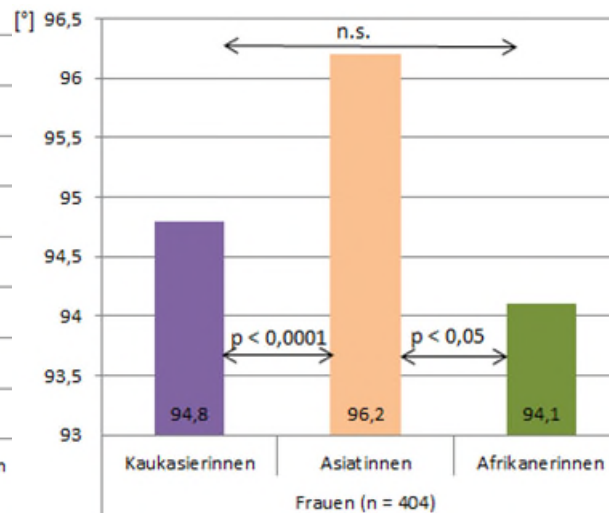


Abbildung 83 b

Abbildung 83: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der AP-Achse und der PCL der Femora innerhalb der weiblichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie.

Abbildung 83 a: Vergleich der Mittelwerte (MW) des nach lateral offen gemessenen Winkels der Femora.

Abbildung 83 b: Vergleich der Mittelwerte (MW) des nach medial offen gemessenen Winkels der Femora.

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte des Winkels der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie:

- asiatische Männer (nach lateral offen gemessener Winkel  $84,1^\circ \pm 1,9^\circ$ ; nach medial offen gemessener Winkel  $95,9^\circ \pm 1,9^\circ$ ) versus kaukasische Frauen (nach lateral offen gemessener Winkel  $85,2^\circ \pm 2,1^\circ$ ; nach medial offen gemessener Winkel  $94,8^\circ \pm 2,1^\circ$ ) (p-Wert < 0,0001)

#### 4.2.7 Winkel zwischen der anterioren-posterioren Achse und der chirurgischen transepikondylären Achse

Auch dieser Winkel wurde, um ihn besser mit den Ergebnissen der Literatur vergleichen zu können, sowohl nach lateral als auch nach medial offen gemessen.

Der Mittelwert des nach lateral offen gemessenen Winkels beträgt im gesamten Kollektiv  $87,5^\circ \pm 1,9^\circ$  und der des medialen  $92,5^\circ \pm 1,9^\circ$ .

Der Mittelwert des Winkels der Femora des weiblichen Kollektivs – unabhängig von der Ethnie und vom Alter - wird bei den nach lateral offenen Messungen mit  $87,6^\circ \pm 1,8^\circ$  und bei denen des männlichen Kollektivs mit  $87,3^\circ \pm 1,8^\circ$  berechnet (p-Wert < 0,05).

Der Mittelwert des Winkels der Femora des weiblichen Kollektivs – unabhängig von der Ethnie und vom Alter - wird bei den nach medial offenen Messungen mit  $92,4^\circ \pm 1,9^\circ$  und bei denen des männlichen Kollektivs mit  $92,7^\circ \pm 1,8^\circ$  berechnet (p-Wert < 0,05).

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte des Winkels der Femora in Bezug auf die Ethnie, unabhängig vom Alter und Geschlecht (Abb. 84 a und b):

- Kaukasier (nach lateral offen gemessener Winkel  $87,6^\circ \pm 1,8^\circ$ ; nach medial offen gemessener Winkel  $92,4^\circ \pm 1,8^\circ$ ) versus Asiaten (nach lateral offen gemessener Winkel  $86,7^\circ \pm 1,9^\circ$ ; nach medial offen gemessener Winkel  $93,3^\circ \pm 1,9^\circ$ ) (p-Wert < 0,0001)
- Kaukasier (nach lateral offen gemessener Winkel  $87,6^\circ \pm 1,8^\circ$ ; nach medial offen gemessener Winkel  $92,4^\circ \pm 1,8^\circ$ ) versus Afrikaner (nach lateral offen gemessener Winkel  $88,6^\circ \pm 1,9^\circ$ ; nach medial offen gemessener Winkel  $91,4^\circ \pm 1,9^\circ$ ) (p-Wert < 0,05)
- Asiaten (nach lateral offen gemessener Winkel  $86,7^\circ \pm 1,9^\circ$ ; nach medial offen gemessener Winkel  $93,3^\circ \pm 1,9^\circ$ ) versus Afrikaner (nach lateral offen gemessener Winkel  $88,6^\circ \pm 1,9^\circ$ ; nach medial offen gemessener Winkel  $91,4^\circ \pm 1,9^\circ$ ) (p-Wert < 0,0001)

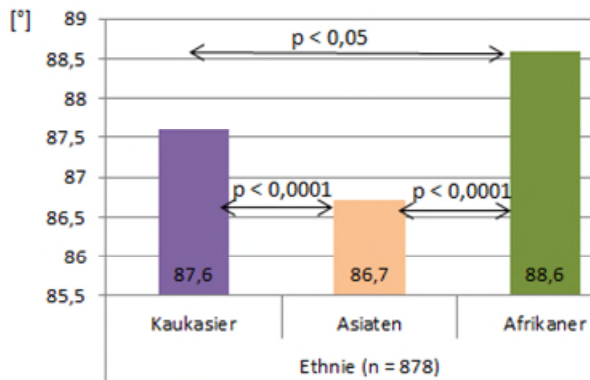


Abbildung 84 a

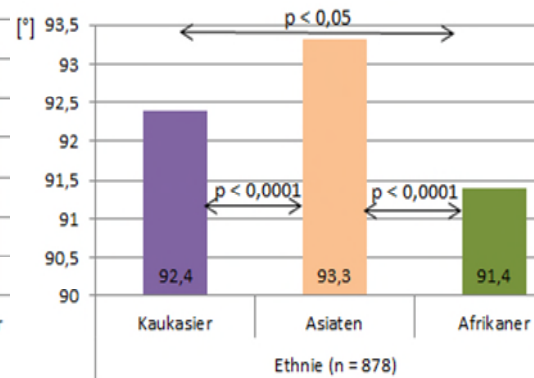


Abbildung 84 b

Abbildung 84: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der AP-Achse und der chirurg. TEA der Femora in Bezug auf die Ethnie.

Abbildung 84 a: Vergleich der Mittelwerte (MW) des nach lateral offen gemessenen Winkels der Femora.

Abbildung 84 b: Vergleich der Mittelwerte (MW) des nach medial offen gemessenen Winkels der Femora.

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte des Winkels der Femora der Männer in Bezug auf die Ethnie (Abb. 85 a und b)

- afrikanische Männer (nach lateral offen gemessener Winkel  $89,1^\circ \pm 2,0^\circ$ ; nach medial offen gemessener Winkel  $90,9^\circ \pm 2,0^\circ$ ) versus kaukasische Männer (nach lateral offen gemessener Winkel  $87,5^\circ \pm 1,8^\circ$ ; nach medial offen gemessener Winkel  $92,5^\circ \pm 1,8^\circ$ ) (p-Wert < 0,05)
- asiatische Männer (nach lateral offen gemessener Winkel  $86,5^\circ \pm 1,8^\circ$ ; nach medial offen gemessener Winkel  $93,5^\circ \pm 1,8^\circ$ ) versus kaukasische Männer (nach lateral offen gemessener Winkel  $87,5^\circ \pm 1,8^\circ$ ; nach medial offen gemessener Winkel  $92,5^\circ \pm 1,8^\circ$ ) (p-Wert < 0,0001)
- afrikanische Männer (nach lateral offen gemessener Winkel  $89,1^\circ \pm 2,0^\circ$ ; nach medial offen gemessener Winkel  $90,9^\circ \pm 2,0^\circ$ ) versus asiatische Männer (nach lateral offen gemessener Winkel  $86,5^\circ \pm 1,8^\circ$ ; nach medial offen gemessener Winkel  $93,5^\circ \pm 1,8^\circ$ ) (p-Wert < 0,0001)

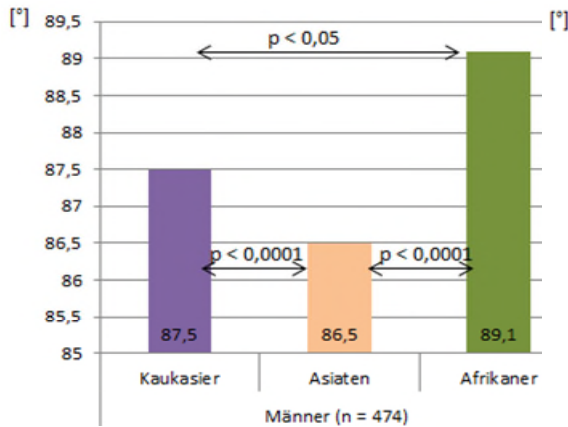


Abbildung 85 a

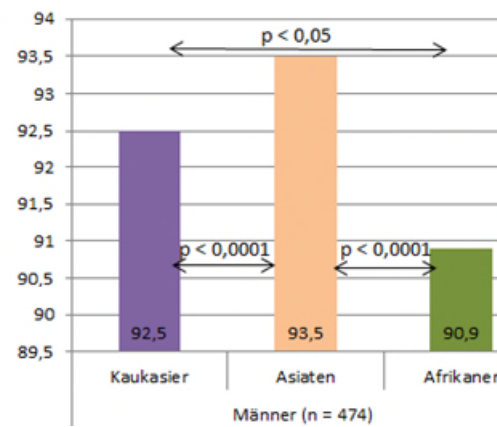


Abbildung 85 b

Abbildung 85: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der AP-Achse und der chirurg. TEA der Femora der männlichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie.

Abbildung 85 a: Vergleich der Mittelwerte (MW) des nach lateral offen gemessenen Winkels der Femora.

Abbildung 85 b: Vergleich der Mittelwerte (MW) des nach medial offen gemessenen Winkels der Femora.

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte des Winkels der Femora der Frauen in Bezug auf die Ethnie (Abb. 86 a und b):

- afrikanische Frauen (nach lateral offen gemessener Winkel  $88,0^\circ \pm 1,6^\circ$ ; nach medial offen gemessener Winkel  $92,0^\circ \pm 1,6^\circ$ ) versus kaukasische Frauen (nach lateral offen gemessener Winkel  $87,7^\circ \pm 1,8^\circ$ ; nach medial offen gemessener Winkel  $92,3^\circ \pm 1,8^\circ$ ) (p-Wert > 0,05)
- asiatische Frauen (nach lateral offen gemessener Winkel  $87,1^\circ \pm 2,0^\circ$ ; nach medial offen gemessener Winkel  $92,9^\circ \pm 2,0^\circ$ ) versus kaukasische Frauen (nach lateral offen gemessener Winkel  $87,7^\circ \pm 1,8^\circ$ ; nach medial offen gemessener Winkel  $92,3^\circ \pm 1,8^\circ$ ) (p-Wert < 0,05)
- afrikanische Frauen (nach lateral offen gemessener Winkel  $88,0^\circ \pm 1,6^\circ$ ; nach medial offen gemessener Winkel  $92,0^\circ \pm 1,6^\circ$ ) versus asiatische Frauen (nach lateral offen gemessener Winkel  $87,1^\circ \pm 2,0^\circ$ ; nach medial offen gemessener Winkel  $92,9^\circ \pm 2,0^\circ$ ) (p-Wert > 0,05)

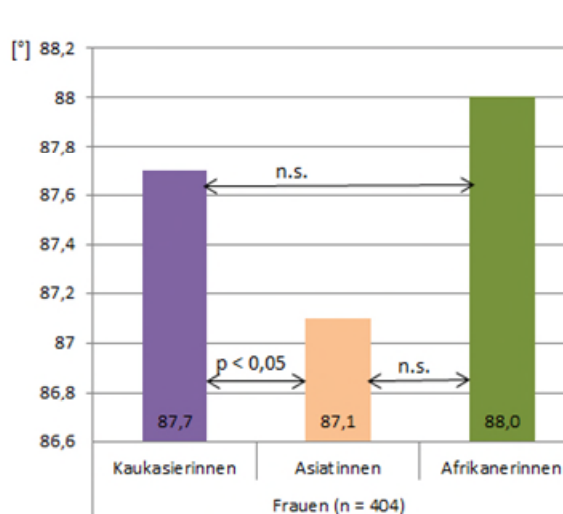


Abbildung 86 a

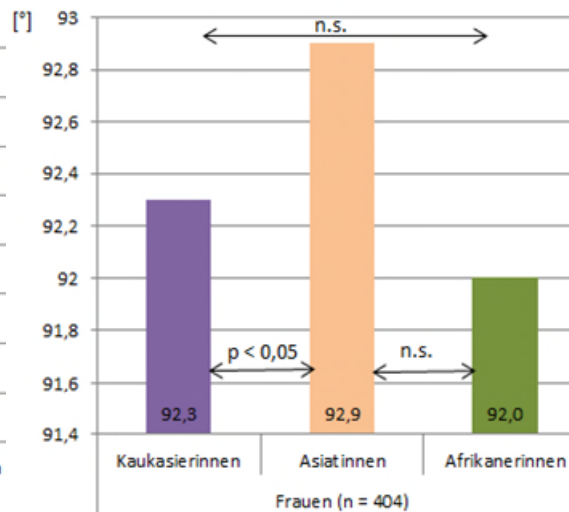


Abbildung 86 b

Abbildung 86: Vergleich der Mittelwerte (MW) zwischen der AP-Achse und der chirurg. TEA der Femora der weiblichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie.

Abbildung 86 a: Vergleich der Mittelwerte (MW) des nach lateral offen gemessenen Winkels der Femora.

Abbildung 86 b: Vergleich der Mittelwerte (MW) des nach medial offen gemessenen Winkels der Femora.

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte des Winkels der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie:

- asiatische Männer (nach lateral offen gemessener Winkel  $86,5^\circ \pm 1,8^\circ$ ; nach medial offen gemessener Winkel  $93,5^\circ \pm 1,8^\circ$ ) versus kaukasische Frauen (nach lateral offen gemessener Winkel  $87,7^\circ \pm 1,8^\circ$ ; nach medial offen gemessener Winkel  $92,3^\circ \pm 1,8^\circ$ ) (p-Wert < 0,0001)

#### 4.2.8 Winkel zwischen der anterioren-posterioren Achse und der anatomischen transepikondylären Achse

Der Mittelwert dieses Winkels beträgt im gesamten Kollektiv  $90,9^\circ \pm 2,0^\circ$ .

Der Mittelwert des Winkels der Femora des weiblichen Kollektivs – unabhängig von der Ethnie und vom Alter - wird mit  $90,9^\circ \pm 2,1^\circ$  und der des männlichen mit  $90,8^\circ \pm 1,9^\circ$  berechnet. Der Unterschied ist nicht signifikant (p-Wert > 0,05).

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte des Winkels der Femora in Bezug auf die Ethnie, unabhängig vom Alter und Geschlecht (Abb. 87):

- Kaukasier ( $91,1^\circ \pm 1,9^\circ$ ) versus Asiaten ( $89,9^\circ \pm 2,0^\circ$ ) (p-Wert < 0,0001)

- Kaukasier ( $91,1^\circ \pm 1,9^\circ$ ) versus Afrikaner ( $92,1^\circ \pm 1,9^\circ$ ) (p-Wert < 0,05)
- Asiaten ( $89,9^\circ \pm 2,0^\circ$ ) versus Afrikaner ( $92,1^\circ \pm 1,9^\circ$ ) (p-Wert < 0,0001)

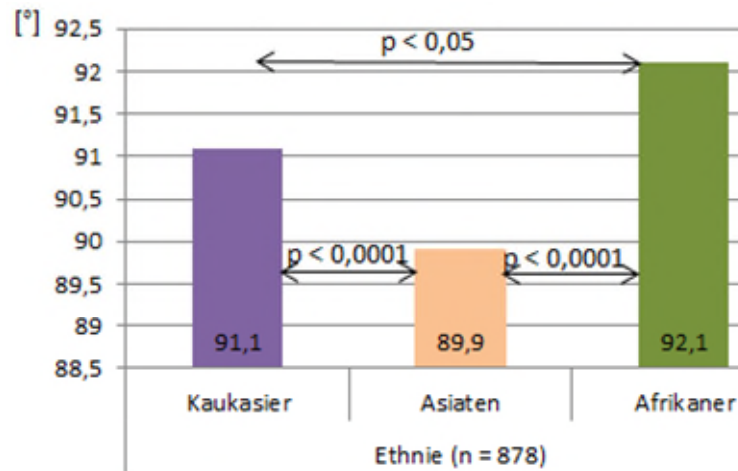


Abbildung 87: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der AP-Achse und der anat. TEA der Femora in Bezug auf die Ethnie.

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte des Winkels der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie (Abb. 89):

- asiatische Männer ( $89,9^\circ \pm 1,8^\circ$ ) versus asiatische Frauen ( $90,0^\circ \pm 2,2^\circ$ ) (p-Wert > 0,05)
- afrikanische Männer ( $92,9^\circ \pm 1,5^\circ$ ) versus afrikanische Frauen ( $91,2^\circ \pm 1,9^\circ$ ) (p-Wert < 0,05)
- kaukasische Männer ( $91,1^\circ \pm 1,9^\circ$ ) versus kaukasische Frauen ( $91,1^\circ \pm 2,0^\circ$ ) (p-Wert > 0,05)

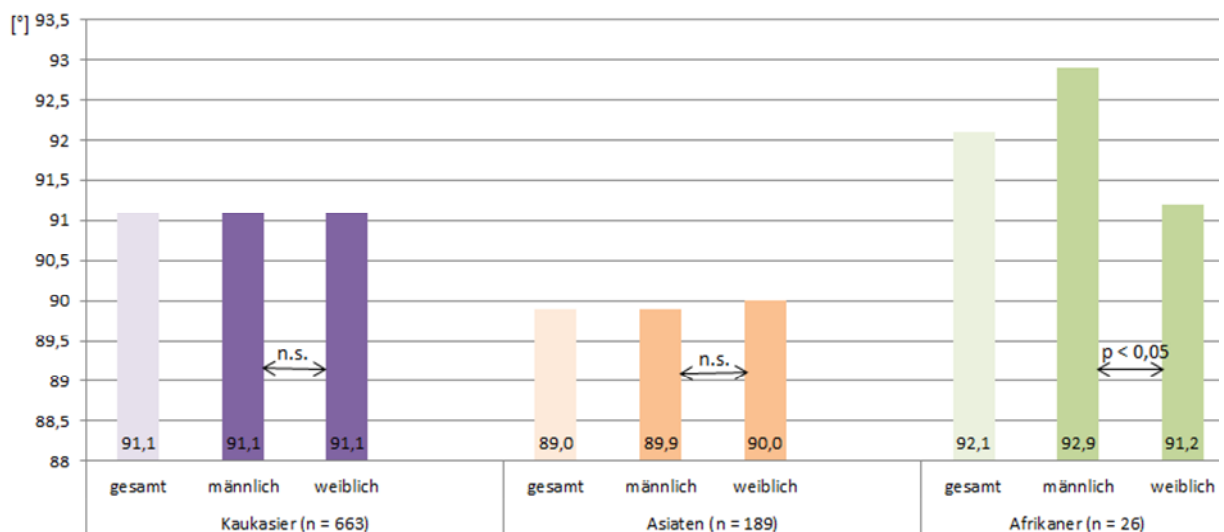


Abbildung 88: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der AP-Achse und der anat. TEA der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie.



Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte des Winkels der Femora der Männer in Bezug auf die Ethnie (Abb. 89):

- afrikanische Männer ( $92,9^\circ \pm 1,5^\circ$ ) versus kaukasische Männer ( $91,1^\circ \pm 1,9^\circ$ ) (p-Wert < 0,05)
- asiatische Männer ( $89,9^\circ \pm 1,8^\circ$ ) versus kaukasische Männer ( $91,1^\circ \pm 1,9^\circ$ ) (p-Wert < 0,0001)
- afrikanische Männer ( $92,9^\circ \pm 1,5^\circ$ ) versus asiatische Männer ( $89,9^\circ \pm 1,8^\circ$ ) (p-Wert < 0,0001)

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte des Winkels der Femora der Frauen in Bezug auf die Ethnie (Abb. 89):

- afrikanische Frauen ( $91,2^\circ \pm 1,9^\circ$ ) versus kaukasische Frauen ( $91,1^\circ \pm 2,0^\circ$ ) (p-Wert > 0,05)
- asiatische Frauen ( $90,0^\circ \pm 2,2^\circ$ ) versus kaukasische Frauen ( $91,1^\circ \pm 2,0^\circ$ ) (p-Wert < 0,0001)
- afrikanische Frauen ( $91,2^\circ \pm 1,9^\circ$ ) versus asiatische Frauen ( $90,0^\circ \pm 2,2^\circ$ ) (p-Wert > 0,05)

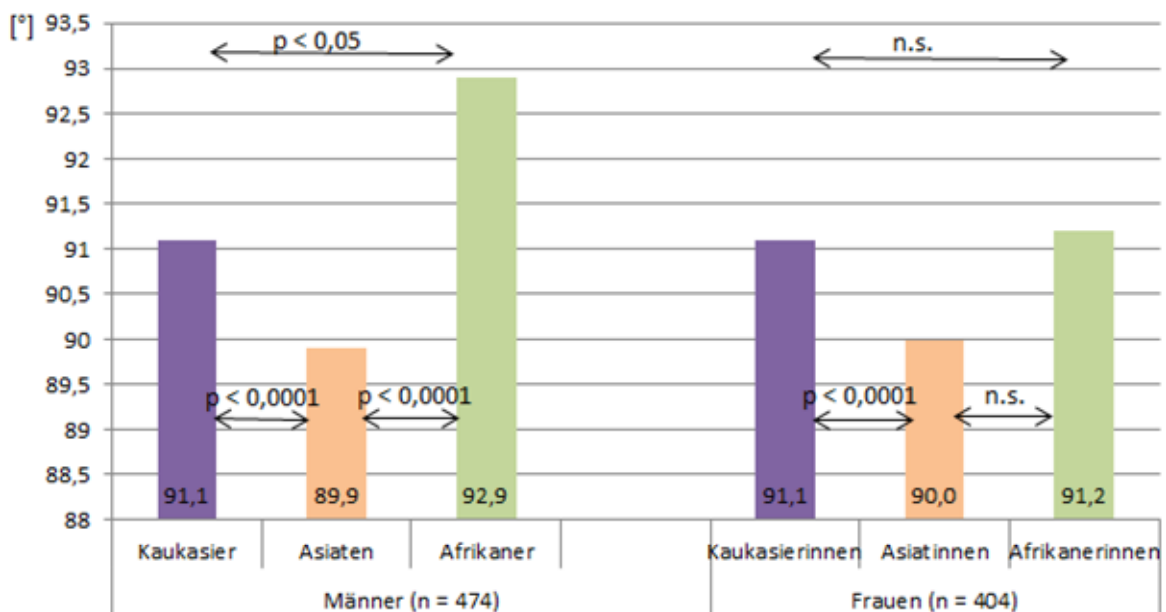


Abbildung 89: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der AP-Achse und der anat. TEA der Femora der männlichen und der weiblichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie.

Es zeigt sich ein signifikanter Unterschied des Mittelwerts des Winkels der Femora bei asiatischen Männern ( $89,9^\circ \pm 1,8^\circ$ ) versus kaukasische Frauen ( $91,1^\circ \pm 2,0^\circ$ ) ( $p$ -Wert  $< 0,0001$ ).

Es besteht ein signifikanter Unterschied beim Vergleich der Mittelwerte des Winkels der Femora in Bezug auf das Alter, unabhängig von Ethnie und Geschlecht (Abb. 90):

- 49-jährig und jünger versus 50-jährig und älter

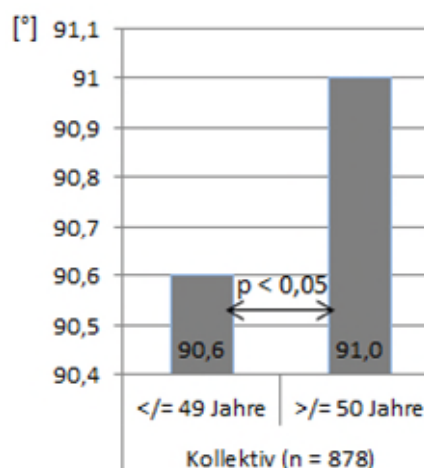


Abbildung 90: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der AP-Achse und der anat. TEA der Femora in Bezug auf das Alter.

#### 4.2.9 Sulkuswinkel

Der Mittelwert dieses Winkels beträgt im gesamten Kollektiv  $131,4^\circ \pm 6,3^\circ$ .

Der Mittelwert des Sulkuswinkels der Femora des weiblichen Kollektivs – unabhängig von der Ethnie und vom Alter - wird mit  $131,1^\circ \pm 6,2^\circ$  und der des männlichen mit  $131,6^\circ \pm 6,3^\circ$  berechnet. Der Unterschied ist nicht signifikant ( $p$ -Wert  $> 0,05$ ).

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte des Sulkuswinkels der Femora in Bezug auf die Ethnie, unabhängig vom Alter und Geschlecht (Abb. 91):

- Kaukasier ( $131,1^\circ \pm 6,3^\circ$ ) versus Asiaten ( $133,7^\circ \pm 6,5^\circ$ ) ( $p$ -Wert  $< 0,0001$ )
- Kaukasier ( $131,1^\circ \pm 6,3^\circ$ ) versus Afrikaner ( $131,7^\circ \pm 4,1^\circ$ ) ( $p$ -Wert  $> 0,05$ )
- Asiaten ( $133,7^\circ \pm 6,5^\circ$ ) versus Afrikaner ( $131,7^\circ \pm 4,1^\circ$ ) ( $p$ -Wert  $< 0,05$ )

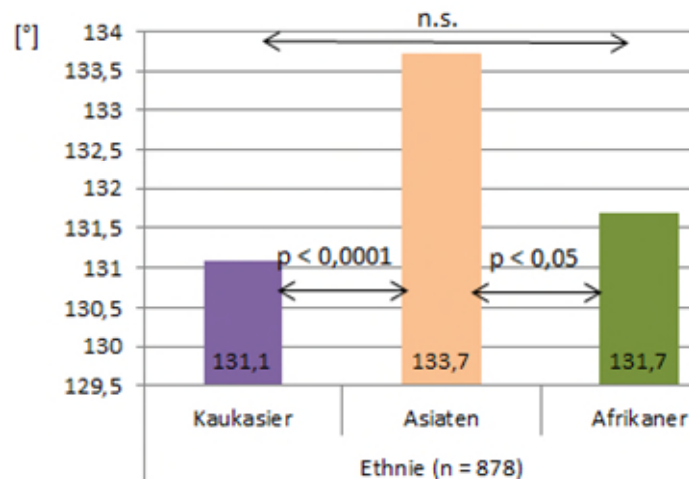


Abbildung 91: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Sulkuswinkels der Femora in Bezug auf die Ethnie.

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte des Sulkuswinkels der Femora der Männer in Bezug auf die Ethnie (Abb. 92):

- afrikanische Männer ( $133,0^\circ \pm 2,8^\circ$ ) versus kaukasische Männer ( $131,0^\circ \pm 6,2^\circ$ ) (p-Wert < 0,05)
- asiatische Männer ( $134,3^\circ \pm 6,4^\circ$ ) versus kaukasische Männer ( $131,0^\circ \pm 6,2^\circ$ ) (p-Wert < 0,0001)
- afrikanische Männer ( $133,0^\circ \pm 2,8^\circ$ ) versus asiatische Männer ( $134,3^\circ \pm 6,4^\circ$ ) (p-Wert > 0,05)

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte des Sulkuswinkels der Femora der Frauen in Bezug auf die Ethnie (Abb. 92):

- afrikanische Frauen ( $130,1^\circ \pm 4,8^\circ$ ) versus kaukasische Frauen ( $131,0^\circ \pm 6,3^\circ$ ) (p-Wert > 0,05)
- asiatische Frauen ( $132,7^\circ \pm 6,5^\circ$ ) versus kaukasische Frauen ( $131,0^\circ \pm 6,3^\circ$ ) (p-Wert < 0,05)
- afrikanische Frauen ( $130,1^\circ \pm 4,8^\circ$ ) versus asiatische Frauen ( $132,7^\circ \pm 6,5^\circ$ ) (p-Wert > 0,05)

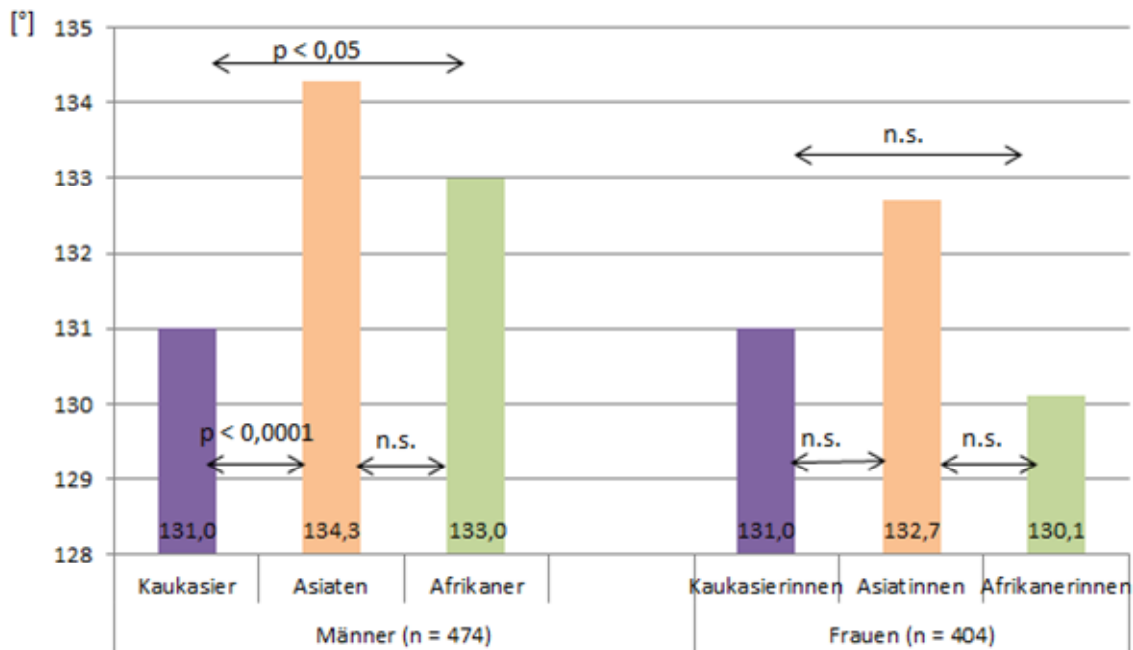


Abbildung 92: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Sulkuswinkels der Femora der männlichen und der weiblichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie.

Es besteht folgender Unterschied beim Vergleich der Mittelwerte des Sulkuswinkels der Femora der männlichen und weiblichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie:

- asiatische Männer ( $134,3^\circ \pm 6,4^\circ$ ) versus kaukasische Frauen ( $131,0^\circ \pm 6,3^\circ$ ) (p-Wert < 0,0001)

#### 4.2.10 Winkel zwischen der anatomischen Femurachse und der distalen Kondylenlinie

Der Mittelwert dieses Winkels beträgt im gesamten Kollektiv  $80,6^\circ \pm 1,9^\circ$ .

Der Mittelwert des Winkels der Femora des weiblichen Kollektivs – unabhängig von der Ethnie und vom Alter - wird mit  $80,0^\circ \pm 1,9^\circ$  und der des männlichen mit  $81,0^\circ \pm 1,8^\circ$  berechnet. Der Unterschied ist signifikant (p-Wert < 0,0001).

Es besteht ein signifikanter Unterschied beim Vergleich der Mittelwerte des Winkels der Femora in Bezug auf die Ethnie, unabhängig vom Alter und Geschlecht (Abb. 93):

- Kaukasier ( $80,6^\circ \pm 1,9^\circ$ ) versus Asiaten ( $80,1^\circ \pm 2,0^\circ$ ) (p-Wert < 0,05)
- Kaukasier ( $80,6^\circ \pm 1,9^\circ$ ) versus Afrikaner ( $81,5^\circ \pm 1,9^\circ$ ) (p-Wert < 0,05)
- Asiaten ( $80,1^\circ \pm 2,0^\circ$ ) versus Afrikaner ( $81,5^\circ \pm 1,9^\circ$ ) (p-Wert < 0,05)

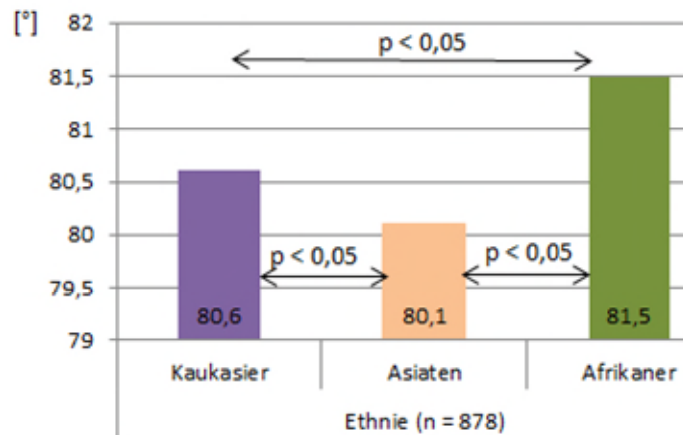


Abbildung 93: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der anatomischen Femurachse und der distalen Kondylenlinie der Femora in Bezug auf die Ethnie.

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte des Winkels der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie (Abb. 94):

- asiatische Männer ( $80,3^\circ \pm 1,7^\circ$ ) versus asiatische Frauen ( $79,8^\circ \pm 2,3^\circ$ ) (p-Wert  $> 0,05$ )
- afrikanische Männer ( $82,5^\circ \pm 1,9^\circ$ ) versus afrikanische Frauen ( $80,4^\circ \pm 0,9^\circ$ ) (p-Wert  $< 0,05$ )
- kaukasische Männer ( $81,2^\circ \pm 1,8^\circ$ ) versus kaukasische Frauen ( $80,1^\circ \pm 1,9^\circ$ ) (p-Wert  $< 0,0001$ )

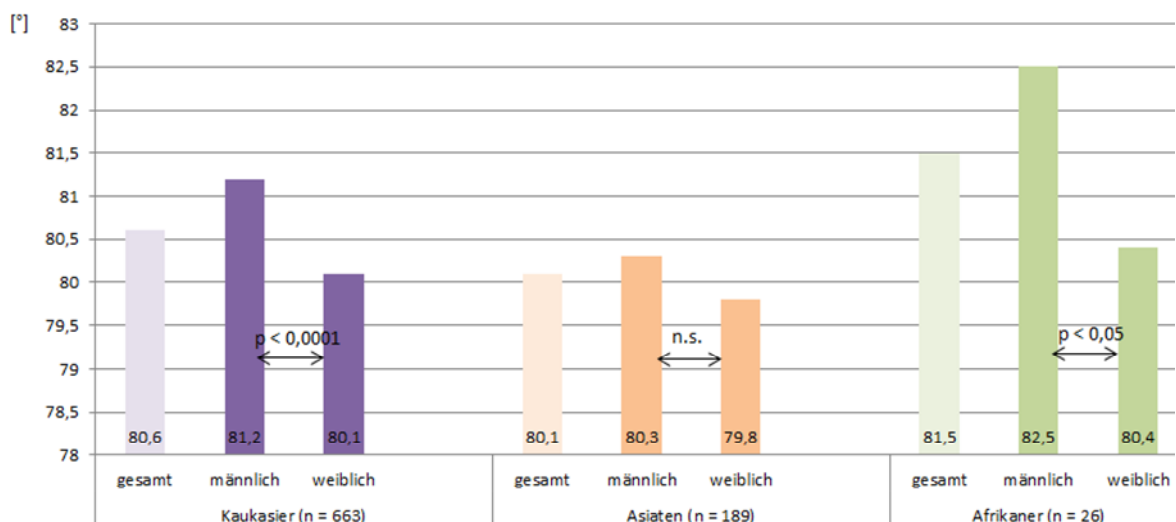


Abbildung 94: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der anatomischen Femurachse und der distalen Kondylenlinie der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie.

Es besteht ein signifikanter Unterschied beim Vergleich der Mittelwerte des Winkels der Femora der Männer in Bezug auf die Ethnie (Abb. 95):

- afrikanische Männer ( $82,5^\circ \pm 1,9^\circ$ ) versus kaukasische Männer ( $81,2^\circ \pm 1,8^\circ$ ) (p-Wert < 0,05)
- asiatische Männer ( $80,3^\circ \pm 1,7^\circ$ ) versus kaukasische Männer ( $81,2^\circ \pm 1,8^\circ$ ) (p-Wert < 0,0001)
- afrikanische Männer ( $82,5^\circ \pm 1,9^\circ$ ) versus asiatische Männer ( $80,3^\circ \pm 1,7^\circ$ ) (p-Wert < 0,05)

Es besteht kein signifikanter Unterschied beim Vergleich der Mittelwerte des Winkels der Femora der Frauen in Bezug auf die Ethnie (p-Wert > 0,05) (Abb. 95).

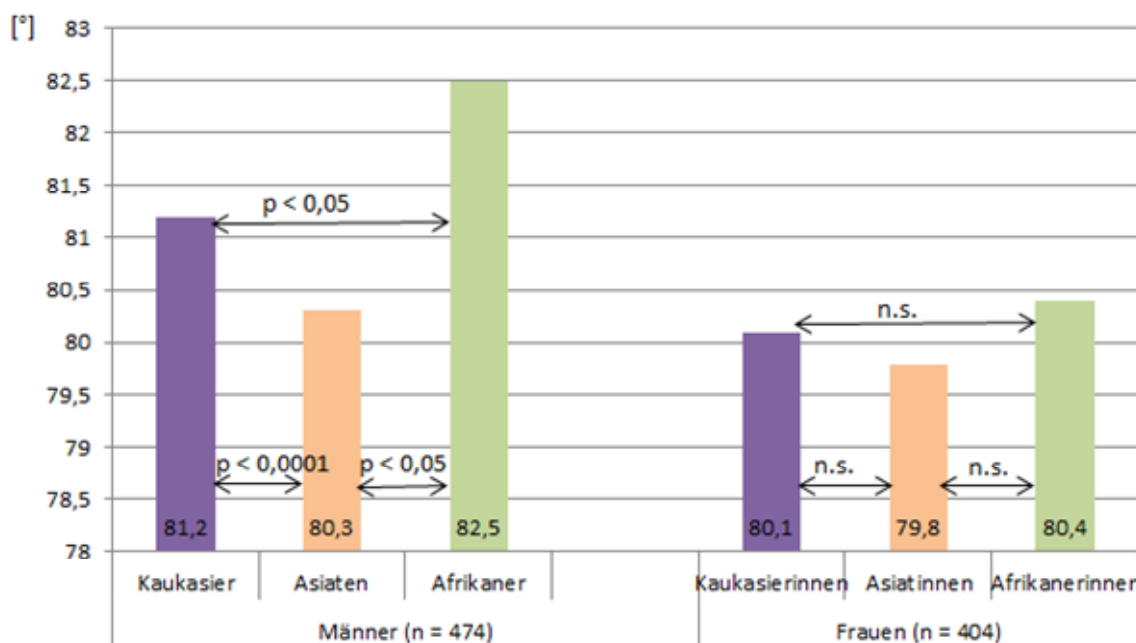


Abbildung 95: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der anatomischen Femurachse und der distalen Kondylenlinie der Femora der männlichen und der weiblichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie.

#### 4.2.11 Winkel zwischen der anatomischen Femurachse und der anatomischen transepikondylären Achse

Der Mittelwert dieses Winkels beträgt im gesamten Kollektiv  $82,8^\circ \pm 2,3^\circ$ .

Der Mittelwert des Winkels der Femora des weiblichen Kollektivs – unabhängig von der Ethnie und vom Alter - wird mit  $82,4^\circ \pm 2,4^\circ$  und der des männlichen mit  $83,1^\circ \pm 2,2^\circ$  berechnet. Der Unterschied ist signifikant (p-Wert < 0,0001).

Es besteht ein signifikanter Unterschied beim Vergleich der Mittelwerte des Winkels der Femora in Bezug auf die Ethnie, unabhängig vom Alter und Geschlecht (Abb. 96):

- Kaukasier ( $82,9^\circ \pm 2,3^\circ$ ) versus Asiaten ( $82,1^\circ \pm 2,3$  (p-Wert < 0,0001)
- Kaukasier ( $82,9^\circ \pm 2,3^\circ$ ) versus Afrikaner ( $83,9^\circ \pm 2,3^\circ$ ) (p-Wert < 0,05)
- Afrikaner ( $83,9^\circ \pm 2,3^\circ$ ) versus Asiaten ( $82,1^\circ \pm 2,3^\circ$ ) (p-Wert < 0,05)

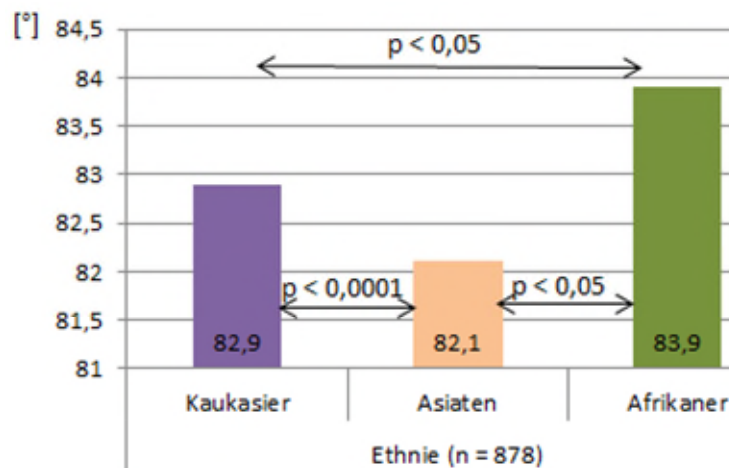


Abbildung 96: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der anatomischen Femurachse und der anat. TEA der Femora in Bezug auf die Ethnie.

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte des Winkels der Femora der männlichen mit weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie (Abb. 97):

- asiatische Männer ( $82,4^\circ \pm 2,3^\circ$ ) versus asiatische Frauen ( $81,8^\circ \pm 2,3^\circ$ ) (p-Wert > 0,05)
- afrikanische Männer ( $84,8^\circ \pm 2,2^\circ$ ) versus afrikanische Frauen ( $82,9^\circ \pm 1,9^\circ$ ) (p-Wert < 0,05)
- kaukasische Männer ( $83,3^\circ \pm 2,2^\circ$ ) versus kaukasische Frauen ( $82,5^\circ \pm 2,3^\circ$ ) (p-Wert < 0,0001)

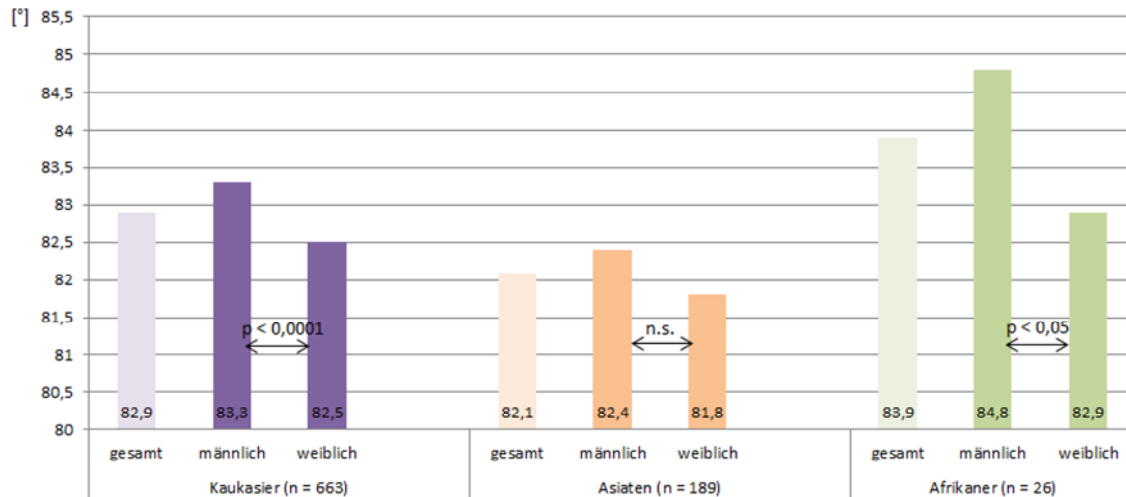


Abbildung 97: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der anatomischen Femurachse und der anat. TEA der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie.

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte des Winkels der Femora der Männer in Bezug auf die Ethnie (Abb. 98):

- afrikanische Männer ( $84,8^\circ \pm 2,2^\circ$ ) versus kaukasische Männer ( $83,3^\circ \pm 2,2^\circ$ ) (p-Wert < 0,05)
- asiatische Männer ( $82,4^\circ \pm 2,3^\circ$ ) versus kaukasische Männer ( $83,3^\circ \pm 2,2^\circ$ ) (p-Wert < 0,0001)
- afrikanische Männer ( $84,8^\circ \pm 2,2^\circ$ ) versus asiatische Männer ( $82,4^\circ \pm 2,3^\circ$ ) (p-Wert < 0,05)

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte des Winkels der Femora der Frauen in Bezug auf die Ethnie (Abb. 98):

- afrikanische Frauen ( $82,9^\circ \pm 1,9^\circ$ ) versus kaukasische Frauen ( $82,5^\circ \pm 2,3^\circ$ ) (p-Wert > 0,05)
- asiatische Frauen ( $81,8^\circ \pm 2,3^\circ$ ) versus kaukasische Frauen ( $82,5^\circ \pm 2,3^\circ$ ) (p-Wert < 0,05)
- afrikanische Frauen ( $82,9^\circ \pm 1,9^\circ$ ) versus asiatische Frauen ( $81,8^\circ \pm 2,3^\circ$ ) (p-Wert > 0,05)



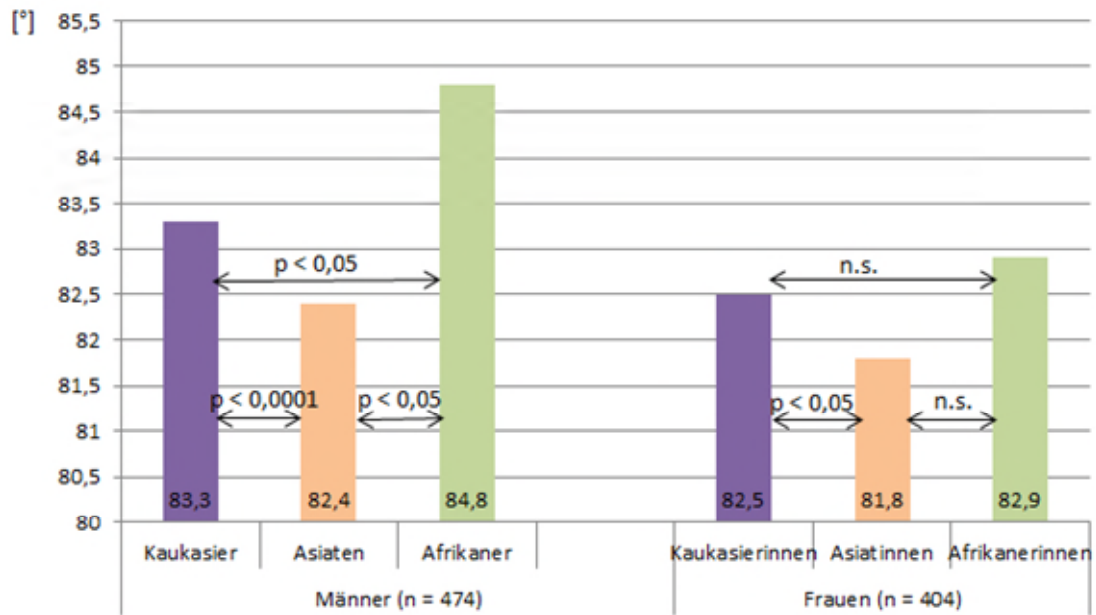


Abbildung 98: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der anatomischen Femurachse und der anat. TEA der Femora der männlichen und der weiblichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie.

#### 4.2.12 Winkel zwischen der mechanischen Femurachse und der distalen Kondylenlinie

Der Mittelwert des Winkels zwischen der mechanischen Femurachse und der distalen Kondylenlinie des gesamten Kollektivs beträgt  $86,6^\circ \pm 2,0^\circ$ .

Der Mittelwert des Winkels der Femora des weiblichen Geschlechts – unabhängig von der Ethnie und vom Alter - wird mit  $85,9^\circ \pm 2,1^\circ$  und der des männlichen mit  $87,0^\circ \pm 1,8^\circ$  bestimmt. Der Unterschied ist signifikant (p-Wert < 0,0001).

Es besteht ein signifikanter Unterschied beim Vergleich der Mittelwerte des Winkels der Femora in Bezug auf die Ethnie, unabhängig vom Alter und Geschlecht (Abb. 99):

- Kaukasier ( $86,7^\circ \pm 2,0^\circ$ ) versus Asiaten ( $85,9^\circ \pm 2,2^\circ$ ) (p-Wert < 0,0001)
- Kaukasier ( $86,7^\circ \pm 2,0^\circ$ ) versus Afrikaner ( $87,7^\circ \pm 1,9^\circ$ ) (p-Wert < 0,05)
- Afrikaner ( $87,7^\circ \pm 1,9^\circ$ ) versus Asiaten ( $85,9^\circ \pm 2,2^\circ$ ) (p-Wert < 0,0001)

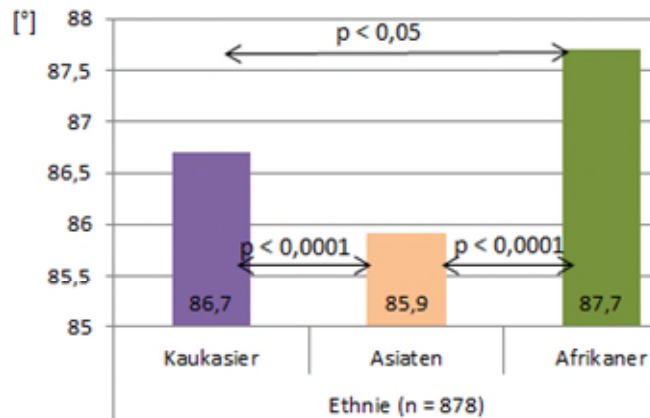


Abbildung 99: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der mechanischen Femurachse und der distalen Kondylenlinie der Femora in Bezug auf die Ethnie.

Es besteht ein signifikanter Unterschied beim Vergleich der Mittelwerte des Winkels der Femora der männlichen mit weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie (Abb. 100):

- asiatische Männer ( $86,2^\circ \pm 1,8^\circ$ ) versus asiatische Frauen ( $85,4^\circ \pm 2,6^\circ$ ) (p-Wert < 0,05)
- afrikanische Männer ( $88,5^\circ \pm 1,7^\circ$ ) versus afrikanische Frauen ( $86,7^\circ \pm 1,7^\circ$ ) (p-Wert < 0,05)
- kaukasische Männer ( $87,3^\circ \pm 1,8^\circ$ ) versus kaukasische Frauen ( $86,0^\circ \pm 2,0^\circ$ ) (p-Wert < 0,0001)

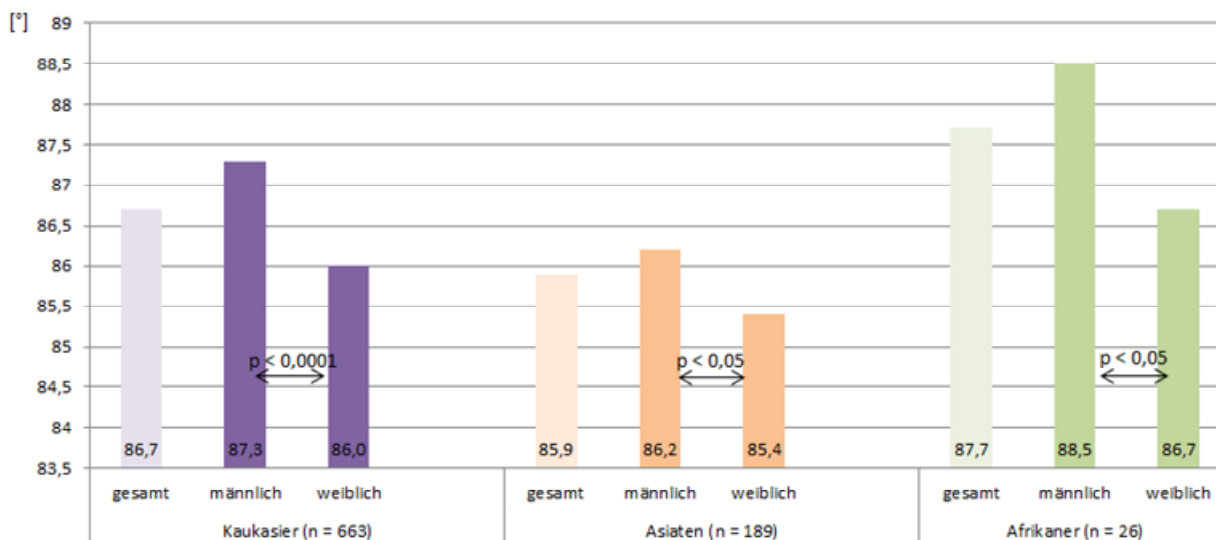


Abbildung 100: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der mechanischen Femurachse und der distalen Kondylenlinie der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie.

Es besteht ein signifikanter Unterschied beim Vergleich der Mittelwerte des Winkels der Femora der Männer in Bezug auf die Ethnie (Abb. 101):

- afrikanische Männer ( $88,5^\circ \pm 1,7^\circ$ ) versus kaukasische Männer ( $87,3^\circ \pm 1,8^\circ$ ) (p-Wert < 0,05)
- asiatische Männer ( $86,2^\circ \pm 1,8^\circ$ ) versus kaukasische Männer ( $87,3^\circ \pm 1,8^\circ$ ) (p-Wert < 0,0001)
- afrikanische Männer ( $88,5^\circ \pm 1,7^\circ$ ) versus asiatische Männer ( $86,2^\circ \pm 1,8^\circ$ ) (p-Wert < 0,0001)

Es besteht kein signifikanter Unterschied beim Vergleich der Mittelwerte des Winkels der Femora der Frauen in Bezug auf die Ethnie (Abb. 101):

- afrikanische Frauen ( $86,7^\circ \pm 1,7^\circ$ ) versus kaukasische Frauen ( $86,0^\circ \pm 2,0^\circ$ ) (p-Wert > 0,05)
- asiatische Frauen ( $85,4^\circ \pm 2,6^\circ$ ) versus kaukasische Frauen ( $86,0^\circ \pm 2,0^\circ$ ) (p-Wert > 0,05)
- afrikanische Frauen ( $86,7^\circ \pm 1,7^\circ$ ) versus asiatische Frauen ( $85,4^\circ \pm 2,6^\circ$ ) (p-Wert > 0,05)

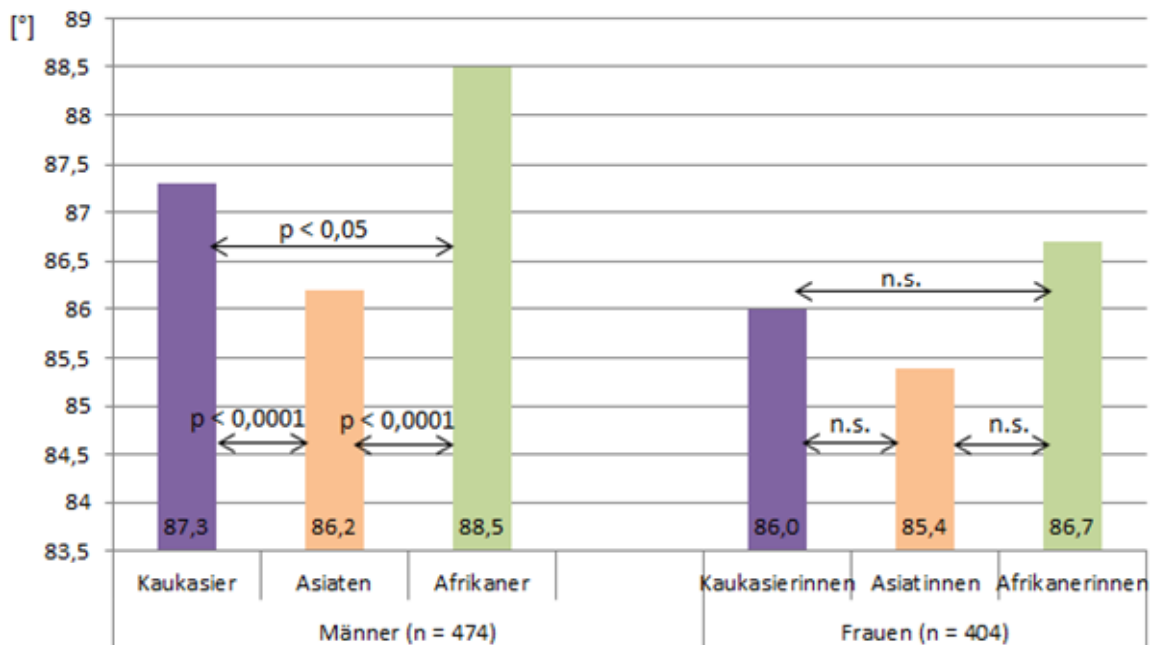


Abbildung 101: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der mechanischen Femurachse und der distalen Kondylenlinie der Femora der männlichen und der weiblichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie.

Es besteht ein signifikanter Unterschied beim Vergleich der Mittelwerte des Winkels der Femora in Bezug auf das Alter, unabhängig von Ethnie und Geschlecht (Abb. 102):

- 49-jährig und jünger ( $86,0^\circ \pm 2,1^\circ$ ) versus 50-jährig und älter ( $86,7^\circ \pm 2,0^\circ$ ) (p-Wert < 0,0001)

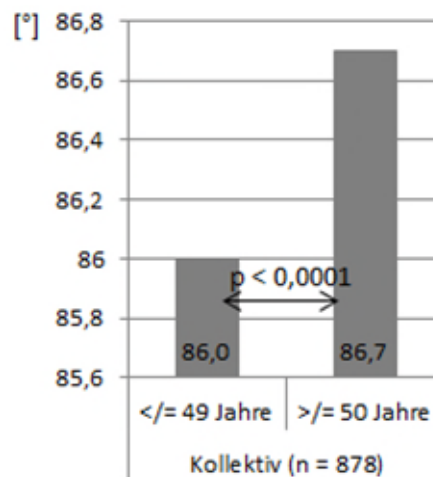


Abbildung 102: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der mechanischen Femurachse und der distalen Kondylenlinie der Femora in Bezug auf das Alter.

#### 4.2.13 Winkel zwischen der mechanischen Femurachse und der chirurgischen transepikondylären Achse

Der Mittelwert dieses Winkels des gesamten Kollektivs beträgt  $90,8^\circ \pm 1,9^\circ$ .

Der Mittelwert des Winkels der Femora des weiblichen Geschlechts – unabhängig von der Ethnie und vom Alter - wird mit  $91,2^\circ \pm 2,0^\circ$  und der des männlichen mit  $90,4^\circ \pm 1,8^\circ$  bestimmt. Der Unterschied ist signifikant (p-Wert < 0,0001).

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte des Winkels der Femora in Bezug auf die Ethnie, unabhängig vom Alter und Geschlecht (Abb. 103):

- Kaukasier ( $90,6^\circ \pm 1,9^\circ$ ) versus Asiaten ( $91,5^\circ \pm 1,9^\circ$ ) (p-Wert < 0,0001)
- Kaukasier ( $90,6^\circ \pm 1,9^\circ$ ) versus Afrikaner ( $89,8^\circ \pm 2,2^\circ$ ) (p-Wert > 0,05)
- Asiaten ( $91,5^\circ \pm 1,9^\circ$ ) versus Afrikaner ( $89,8^\circ \pm 2,2^\circ$ ) (p-Wert < 0,05)

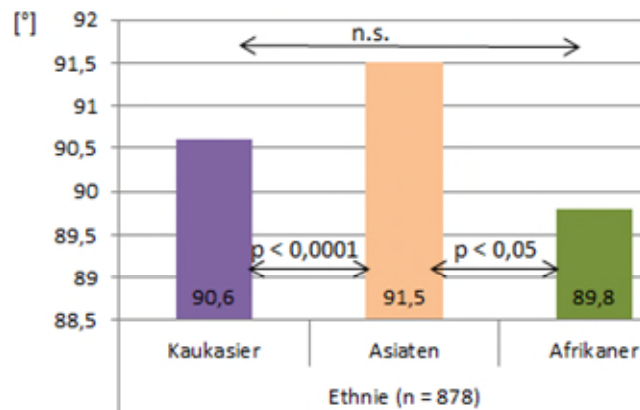


Abbildung 103: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der mechanischen Femurachse und der chirurg. TEA der Femora in Bezug auf die Ethnie.

Es besteht ein signifikanter Unterschied beim Vergleich der Mittelwerte des Winkels der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie (Abb. 104):

- asiatische Männer ( $91,2^\circ \pm 1,8^\circ$ ) versus asiatische Frauen ( $91,9^\circ \pm 2,0^\circ$ ) (p-Wert < 0,05)
- afrikanische Männer ( $89,0^\circ \pm 2,0^\circ$ ) versus afrikanische Frauen ( $90,7^\circ \pm 2,0^\circ$ ) (p-Wert < 0,05)
- kaukasische Männer ( $90,3^\circ \pm 1,7^\circ$ ) versus kaukasische Frauen ( $91,1^\circ \pm 2,0^\circ$ ) (p-Wert < 0,0001)

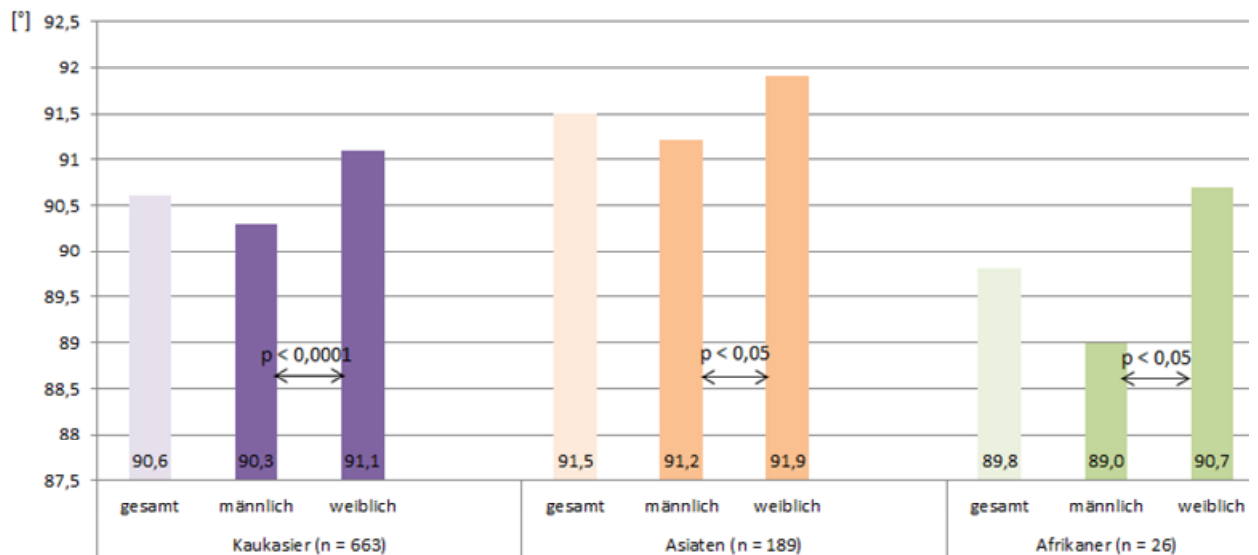


Abbildung 104: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der mechanischen Femurachse und der chirurg. TEA der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie.

Es besteht ein signifikanter Unterschied beim Vergleich der Mittelwerte des Winkels der Femora der Männer in Bezug auf die Ethnie (Abb. 105):

- afrikanische Männer ( $89,0^\circ \pm 2,0^\circ$ ) versus kaukasische Männer ( $90,3^\circ \pm 1,7^\circ$ ) (p-Wert  $< 0,05$ )
- asiatische Männer ( $91,2^\circ \pm 1,8^\circ$ ) versus kaukasische Männer ( $90,3^\circ \pm 1,7^\circ$ ) (p-Wert  $< 0,0001$ )
- afrikanische Männer ( $89,0^\circ \pm 2,0^\circ$ ) versus asiatische Männer ( $91,2^\circ \pm 1,8^\circ$ ) (p-Wert  $< 0,05$ )

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte des Winkels der Femora der Frauen in Bezug auf die Ethnie (Abb. 105):

- afrikanischen Frauen ( $90,7^\circ \pm 2,0^\circ$ ) versus kaukasischen Frauen ( $91,1^\circ \pm 2,0^\circ$ ) (p-Wert  $> 0,05$ )
- asiatische Frauen ( $91,9^\circ \pm 2,0^\circ$ ) versus kaukasische Frauen ( $91,1^\circ \pm 2,0^\circ$ ) (p-Wert  $< 0,05$ )
- afrikanischen Frauen ( $90,7^\circ \pm 2,0^\circ$ ) versus asiatischen Frauen ( $91,9^\circ \pm 2,0^\circ$ ) (p-Wert  $> 0,05$ )

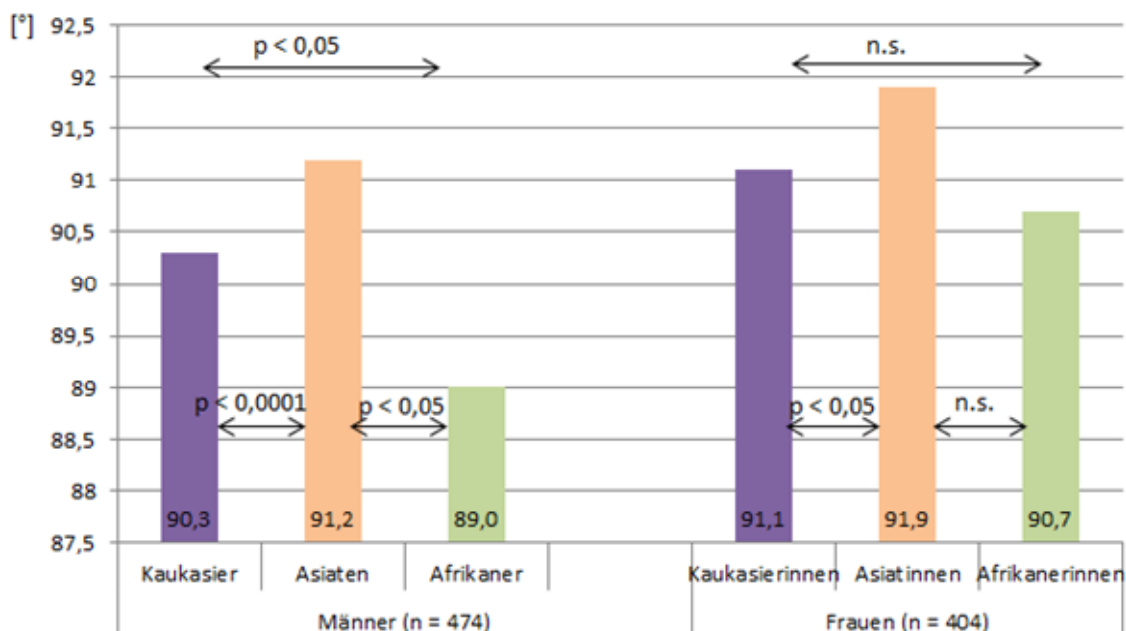


Abbildung 105: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der mechanischen Femurachse und der chirurg. TEA der Femora der männlichen und der weiblichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie.

Es besteht ein signifikanter Unterschied beim Vergleich der Mittelwerte des Winkels der Femora in Bezug auf das Alter, unabhängig von Ethnie und Geschlecht (Abb. 106):

- 49-jährig und jünger ( $91,3^\circ \pm 1,8^\circ$ ) versus 50-jährig und älter ( $90,6^\circ \pm 2,0^\circ$ ) (p-Wert < 0,0001)

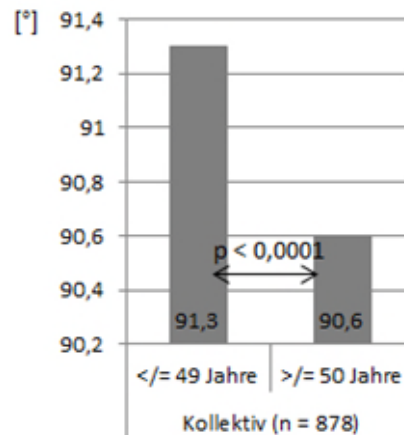


Abbildung 106: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der mechanischen Femurachse und der chirurg. TEA der Femora in Bezug auf das Alter.

#### 4.2.14 Winkel zwischen der mechanischen Femurachse und der anatomischen transepikondylären Achse

Der Mittelwert dieses Winkels des gesamten Kollektivs beträgt  $88,9^\circ \pm 2,4^\circ$ .

Der Mittelwert des Winkels der Femora des weiblichen Geschlechts – unabhängig von der Ethnie und vom Alter - wird mit  $88,4^\circ \pm 2,4^\circ$  und der des männlichen mit  $89,3^\circ \pm 2,2^\circ$  bestimmt. Der Unterschied ist signifikant (p-Wert < 0,0001).

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte des Winkels der Femora in Bezug auf die Ethnie, unabhängig vom Alter und Geschlecht (Abb. 107):

- Kaukasier ( $89,1^\circ \pm 2,3^\circ$ ) versus Asiaten ( $88,0^\circ \pm 2,3^\circ$ ) (p-Wert < 0,0001)
- Kaukasier ( $89,1^\circ \pm 2,3^\circ$ ) versus Afrikaner ( $90,1^\circ \pm 2,5^\circ$ ) (p-Wert > 0,05)
- Asiaten ( $88,0^\circ \pm 2,3^\circ$ ) versus Afrikaner ( $90,1^\circ \pm 2,5^\circ$ ) (p-Wert < 0,0001)

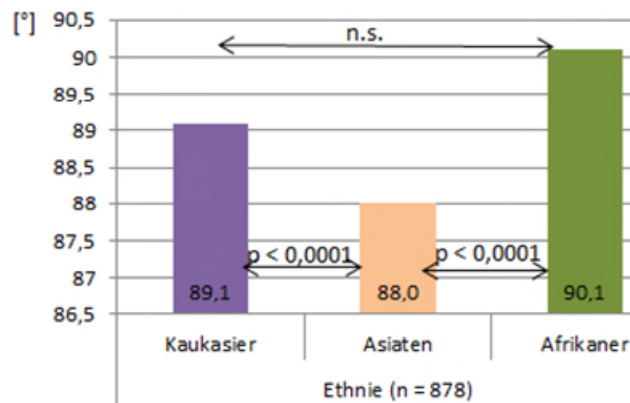


Abbildung 107: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der mechanischen Femurachse und der anat. TEA der Femora in Bezug auf die Ethnie.

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte des Winkels der Femora der männlichen mit weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie (Abb. 108):

- asiatische Männer ( $88,4^\circ \pm 2,2^\circ$ ) versus asiatische Frauen ( $87,6^\circ \pm 2,3^\circ$ ) (p-Wert < 0,05)
- afrikanische Männer ( $90,8^\circ \pm 2,2^\circ$ ) versus afrikanische Frauen ( $89,2^\circ \pm 2,5^\circ$ ) (p-Wert > 0,05)
- kaukasische Männer ( $89,5^\circ \pm 2,1^\circ$ ) versus kaukasische Frauen ( $88,6^\circ \pm 2,4^\circ$ ) (p-Wert < 0,0001)

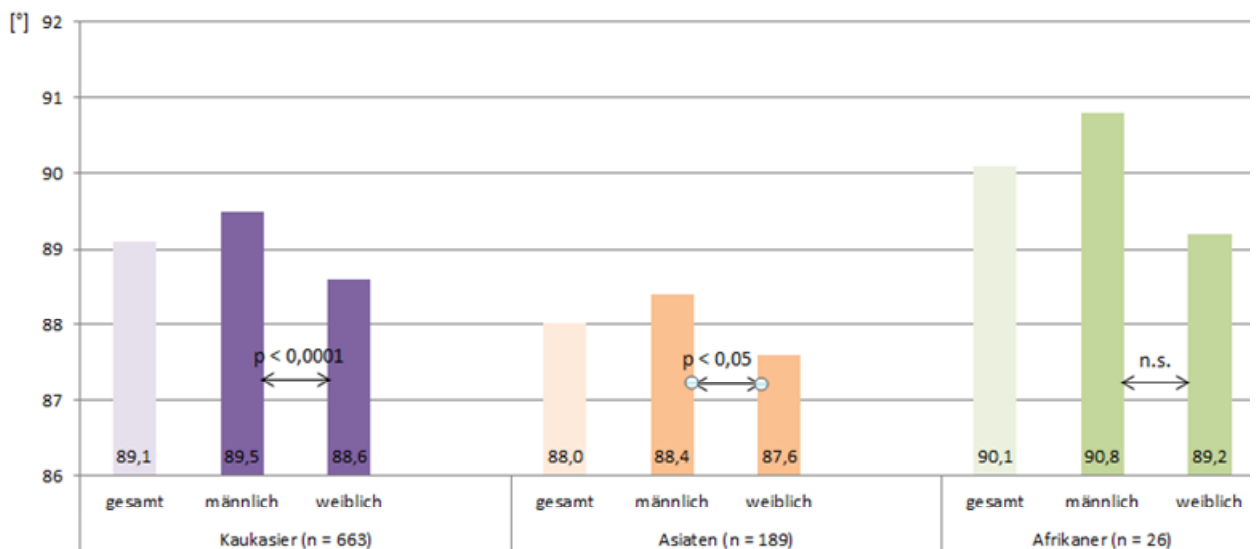


Abbildung 108: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der mechanischen Femurachse und der anat. TEA der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie.

Es besteht ein signifikanter Unterschied beim Vergleich der Mittelwerte des Winkels der Femora der Männer in Bezug auf die Ethnie (Abb. 109):



- afrikanische Männer ( $90,8^\circ \pm 2,2^\circ$ ) versus kaukasische Männer ( $89,5^\circ \pm 2,1^\circ$ ) (p-Wert  $> 0,05$ )
- asiatische Männer ( $88,4^\circ \pm 2,2^\circ$ ) versus kaukasische Männer ( $89,5^\circ \pm 2,1^\circ$ ) (p-Wert  $< 0,0001$ )
- afrikanische Männer ( $90,8^\circ \pm 2,2^\circ$ ) versus asiatische Männer ( $88,4^\circ \pm 2,2^\circ$ ) (p-Wert  $< 0,05$ )

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte des Winkels der Femora der Frauen in Bezug auf die Ethnie (Abb. 109):

- afrikanische Frauen ( $89,2^\circ \pm 2,5^\circ$ ) versus kaukasische Frauen ( $88,6^\circ \pm 2,4^\circ$ ) (p-Wert  $> 0,05$ )
- asiatische Frauen ( $87,6^\circ \pm 2,3^\circ$ ) versus kaukasische Frauen ( $88,6^\circ \pm 2,4^\circ$ ) (p-Wert  $< 0,05$ )
- afrikanische Frauen ( $89,2^\circ \pm 2,5^\circ$ ) versus asiatische Frauen ( $87,6^\circ \pm 2,3^\circ$ ) (p-Wert  $> 0,05$ )

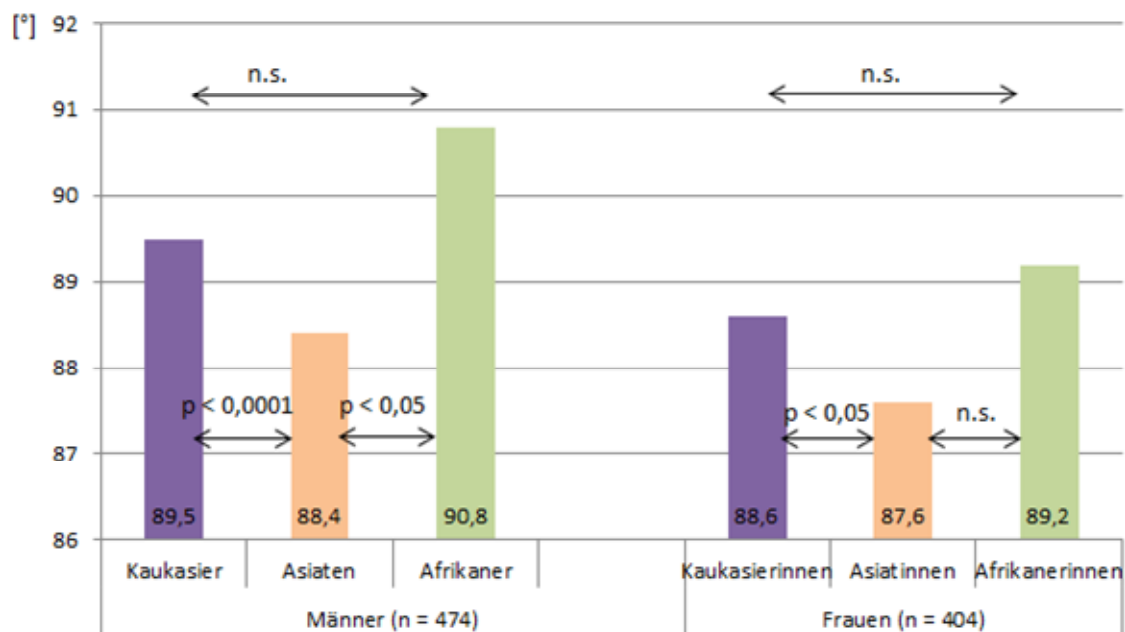


Abbildung 109: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der mechanischen Femurachse und der anat. TEA der Femora der männlichen und der weiblichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie.

Es besteht ein signifikanter Unterschied beim Vergleich der Mittelwerte des Winkels der Femora in Bezug auf das Alter, unabhängig von Ethnie und Geschlecht (Abb. 110):

- 49-jährig und jünger ( $88,4^\circ \pm 2,3^\circ$ ) versus 50-jährig und älter ( $89,1^\circ \pm 2,1^\circ$ ) (p-Wert  $< 0,05$ )

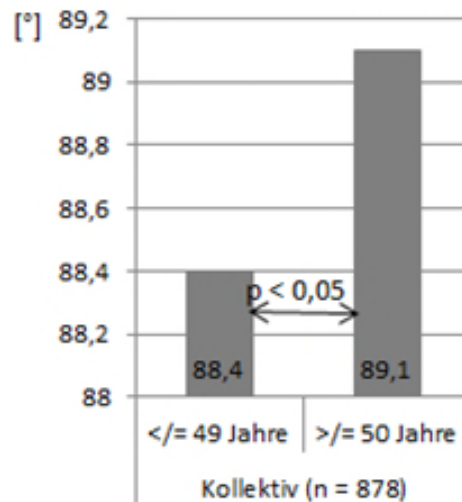


Abbildung 110: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der mechanischen Femurachse und der anat. TEA der Femora in Bezug auf das Alter.

#### 4.2.15 Winkel zwischen der trochlearen Achse und der anatomischen transepikondylären Achse

Der Mittelwert dieses Winkels des gesamten Kollektivs liegt bei  $13,5^\circ \pm 3,5^\circ$ .

Der Mittelwert des Winkels der Femora des weiblichen Geschlechts – unabhängig von der Ethnie und vom Alter - wird mit  $13,8^\circ \pm 3,6^\circ$  und der des männlichen mit  $13,1^\circ \pm 3,3^\circ$  berechnet. Der Unterschied ist signifikant (p-Wert  $< 0,05$ ).

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte des Winkels der Femora in Bezug auf die Ethnie, unabhängig vom Alter und Geschlecht (Abb. 111):

- Kaukasier ( $13,4^\circ \pm 3,5^\circ$ ) versus Asiaten ( $14,0^\circ \pm 3,6^\circ$ ) (p-Wert  $< 0,05$ )
- Kaukasier ( $13,4^\circ \pm 3,5^\circ$ ) versus Afrikaner ( $13,6^\circ \pm 3,7^\circ$ ) (p-Wert  $> 0,05$ )
- Asiaten ( $14,0^\circ \pm 3,6^\circ$ ) versus Afrikaner ( $13,6^\circ \pm 3,7^\circ$ ) (p-Wert  $> 0,05$ )

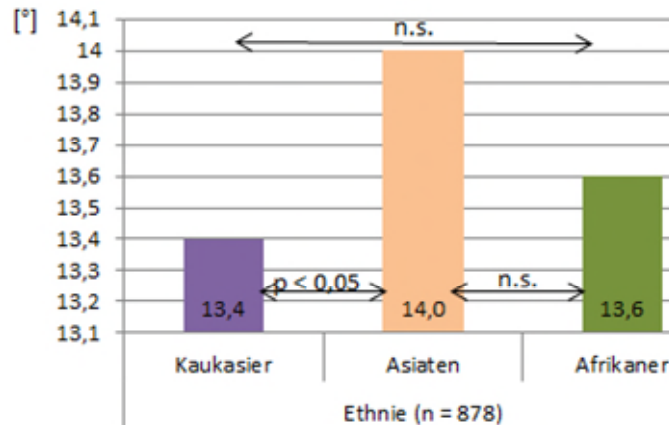


Abbildung 111: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der trochlearen Achse und der anat. TEA der Femora in Bezug auf die Ethnie.

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte des Winkels der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie (Abb. 112):

- asiatische Männer ( $13,9^\circ \pm 3,3^\circ$ ) versus asiatische Frauen ( $14,1^\circ \pm 4,1^\circ$ ) (p-Wert  $> 0,05$ )
- afrikanische Männer ( $13,6^\circ \pm 4,1^\circ$ ) versus afrikanische Frauen ( $13,6^\circ \pm 3,2^\circ$ ) (p-Wert  $> 0,05$ )
- kaukasische Männer ( $12,9^\circ \pm 3,3^\circ$ ) versus kaukasische Frauen ( $13,8^\circ \pm 3,6^\circ$ ) (p-Wert  $< 0,05$ )

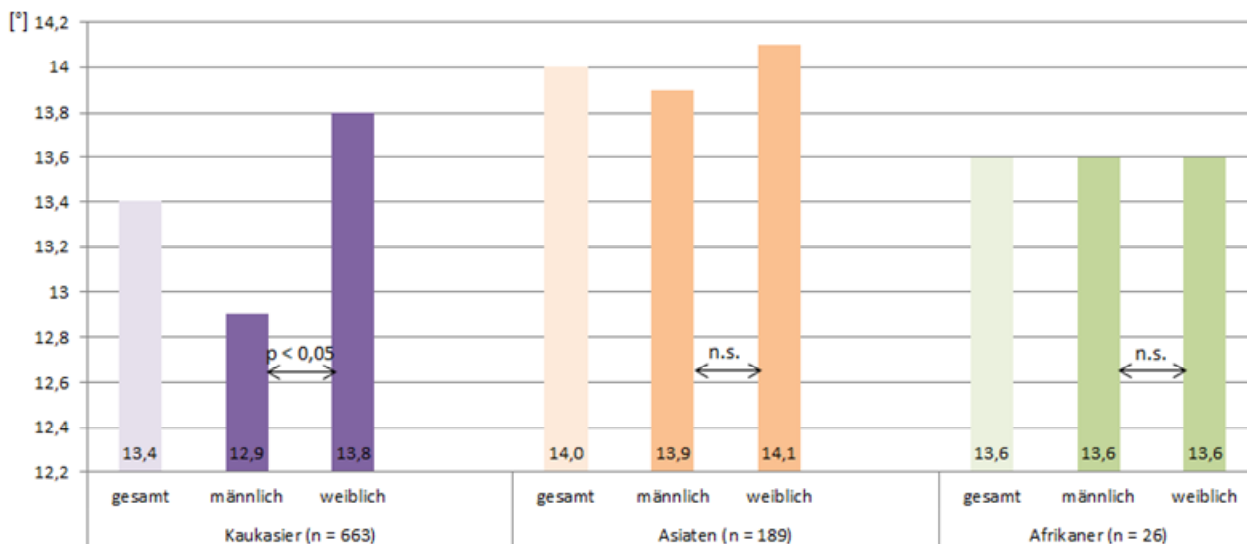


Abbildung 112: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der trochlearen Achse und der anat. TEA der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie.

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte des Winkels der Femora der Männer in Bezug auf die Ethnie (Abb. 113):

- afrikanische Männer ( $13,6^\circ \pm 4,1^\circ$ ) versus kaukasische Männer ( $12,9^\circ \pm 3,3^\circ$ ) (p-Wert > 0,05)
- asiatische Männer ( $13,9^\circ \pm 3,3^\circ$ ) versus kaukasische Männer ( $12,9^\circ \pm 3,3^\circ$ ) (p-Wert < 0,0001)
- afrikanische Männer ( $13,6^\circ \pm 4,1^\circ$ ) versus asiatische Männer ( $13,9^\circ \pm 3,3^\circ$ ) (p-Wert < 0,05)

Es besteht kein signifikanter Unterschied beim Vergleich der Mittelwerte des Winkels der Femora der Frauen in Bezug auf die Ethnie (Abb. 113):

- afrikanische Frauen ( $13,6^\circ \pm 3,2^\circ$ ) versus kaukasische Frauen ( $13,8^\circ \pm 3,6^\circ$ ) (p-Wert > 0,05)
- asiatische Frauen ( $14,1^\circ \pm 4,1^\circ$ ) versus kaukasische Frauen ( $13,8^\circ \pm 3,6^\circ$ ) (p-Wert > 0,05)
- afrikanische Frauen ( $13,6^\circ \pm 3,2^\circ$ ) versus asiatische Frauen ( $14,1^\circ \pm 4,1^\circ$ ) (p-Wert > 0,05)

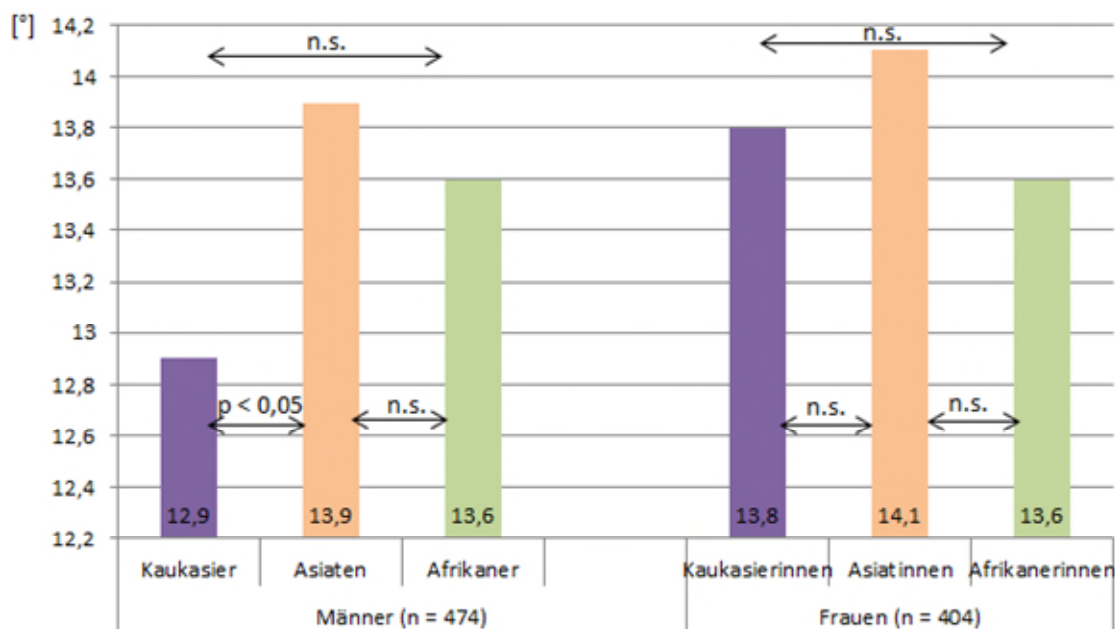


Abbildung 113: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der trochlearen Achse und der anat. TEA der Femora der männlichen und der weiblichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie.

#### 4.2.16 Winkel zwischen der trochlearen Achse und der chirurgischen transepikondylären Achse

Der Mittelwert dieses Winkels des gesamten Kollektivs liegt bei  $10,6^\circ \pm 3,6^\circ$ .

Der Mittelwert des Winkels der Femora des weiblichen Geschlechts – unabhängig von der Ethnie und vom Alter - wird mit  $11,0^\circ \pm 3,6^\circ$  und der des männlichen mit  $10,1^\circ \pm 3,6^\circ$  berechnet. Der Unterschied ist signifikant (p-Wert < 0,05).

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte des Winkels der Femora in Bezug auf die Ethnie, unabhängig vom Alter und Geschlecht (Abb. 114):

- Kaukasier ( $10,4^\circ \pm 3,6^\circ$ ) versus Asiaten ( $11,2^\circ \pm 3,7^\circ$ ) (p-Wert < 0,05)
- Kaukasier ( $10,4^\circ \pm 3,6^\circ$ ) versus Afrikaner ( $10,7^\circ \pm 3,9^\circ$ ) (p-Wert > 0,05)
- Asiaten ( $11,2^\circ \pm 3,7^\circ$ ) versus Afrikaner ( $10,7^\circ \pm 3,9^\circ$ ) (p-Wert > 0,05)

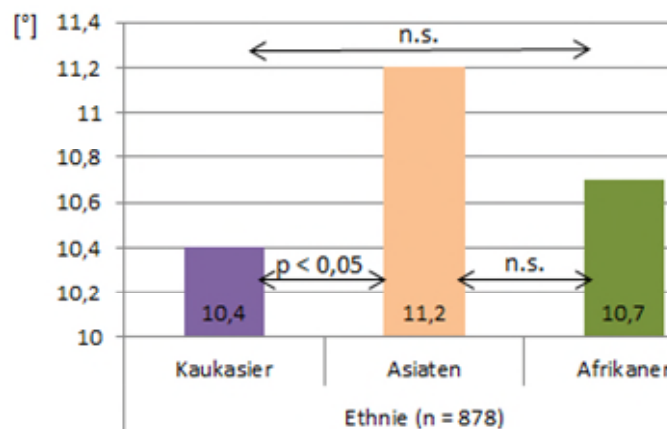


Abbildung 114: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der trochlearen Achse und der chirurg. TEA der Femora in Bezug auf die Ethnie.

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte der Femora des Winkels der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie (Abb. 115):

- asiatische Männer ( $11,0^\circ \pm 3,7^\circ$ ) versus asiatische Frauen ( $11,6^\circ \pm 3,7^\circ$ ) (p-Wert > 0,05)
- afrikanische Männer ( $10,6^\circ \pm 4,4^\circ$ ) versus afrikanische Frauen ( $10,7^\circ \pm 3,2^\circ$ ) (p-Wert > 0,05)
- kaukasische Männer ( $9,9^\circ \pm 3,5^\circ$ ) versus kaukasische Frauen ( $11,0^\circ \pm 3,6^\circ$ ) (p-Wert < 0,0001)

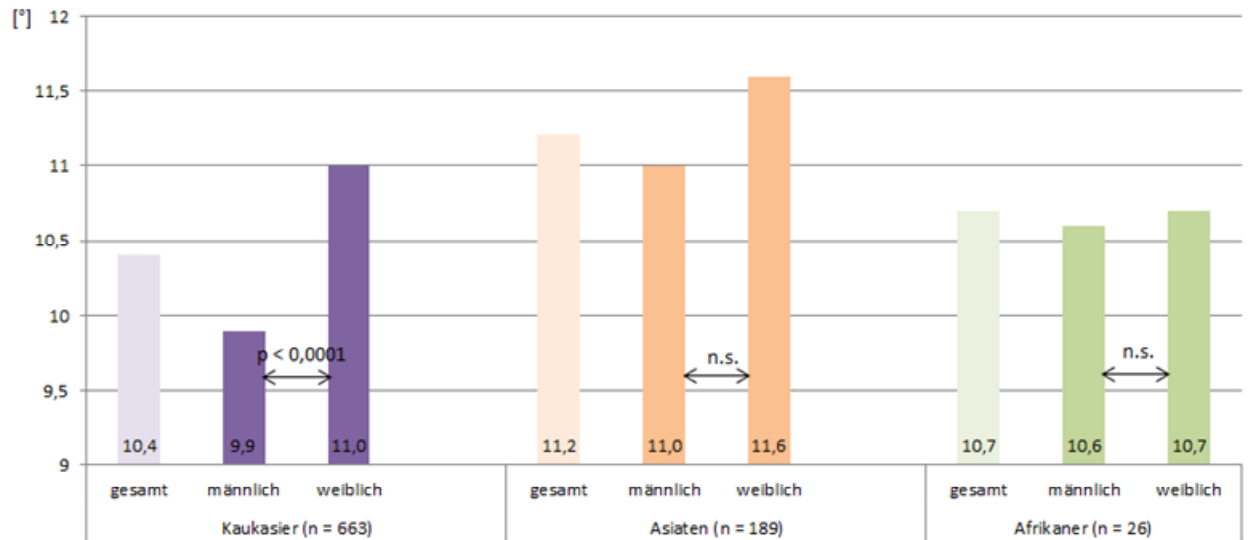


Abbildung 115: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der trochlearen Achse und der chirurg. TEA der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie.

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte des Winkels der Femora der Männer in Bezug auf die Ethnie (Abb. 116):

- afrikanische Männer ( $10,6^\circ \pm 4,4^\circ$ ) versus kaukasische Männer ( $9,9^\circ \pm 3,5^\circ$ ) (p-Wert  $> 0,05$ )
- asiatische Männer ( $11,0^\circ \pm 3,7^\circ$ ) versus kaukasische Männer ( $9,9^\circ \pm 3,5^\circ$ ) (p-Wert  $< 0,05$ )
- afrikanische Männer ( $10,6^\circ \pm 4,4^\circ$ ) versus asiatische Männer ( $11,0^\circ \pm 3,7^\circ$ ) (p-Wert  $> 0,05$ )

Es besteht kein signifikanter Unterschied beim Vergleich der Mittelwerte des Winkels der Femora der Frauen in Bezug auf die Ethnie (Abb. 116):

- afrikanische Frauen ( $10,7^\circ \pm 3,2^\circ$ ) versus kaukasische Frauen ( $11,6^\circ \pm 3,7^\circ$ ) (p-Wert  $> 0,5$ )
- asiatische Frauen ( $11,6^\circ \pm 3,7^\circ$ ) versus kaukasische Frauen ( $11,6^\circ \pm 3,7^\circ$ ) (p-Wert  $> 0,5$ )
- afrikanische Frauen ( $10,7^\circ \pm 3,2^\circ$ ) versus asiatische Frauen ( $11,6^\circ \pm 3,7^\circ$ ) (p-Wert  $> 0,5$ )

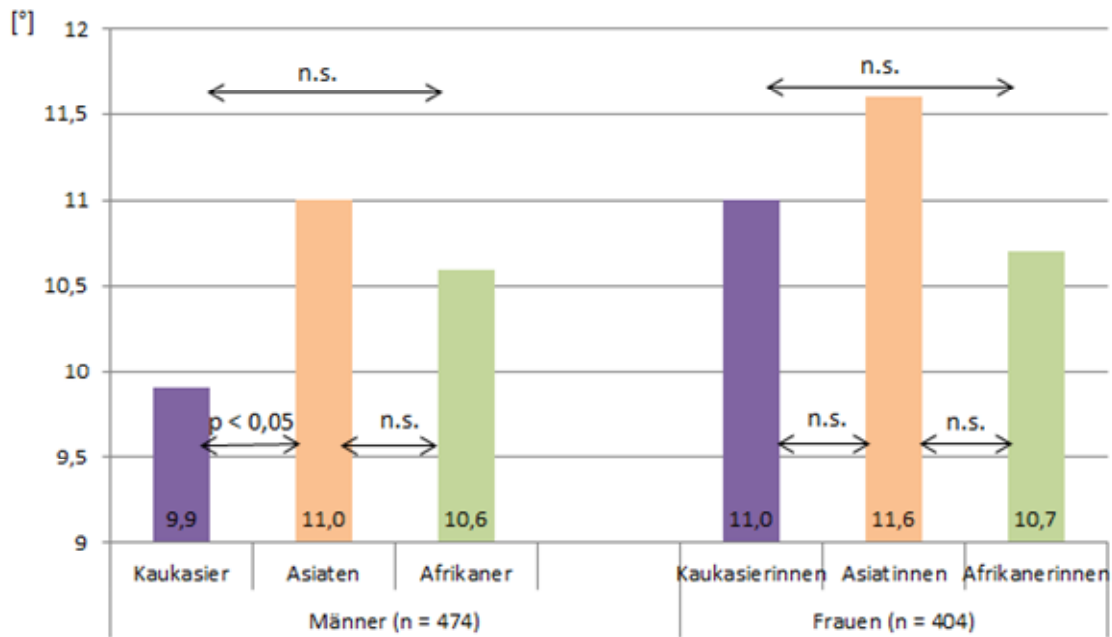


Abbildung 116: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der trochlearen Achse und der chirurg. TEA der Femora der männlichen und der weiblichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie.

#### 4.2.17 Winkel zwischen der femoralen Querachse und der anatomischen transepikondylären Achse

Der Mittelwert dieses Winkels des gesamten Kollektivs liegt bei  $6,0^\circ \pm 1,8^\circ$ .

Der Mittelwert des Winkels der Femora des weiblichen Geschlechts - unabhängig von der Ethnie und vom Alter - wird mit  $5,9^\circ \pm 1,9^\circ$  und der des männlichen mit  $6,1^\circ \pm 1,7^\circ$  berechnet. Der Unterschied ist nicht signifikant (p-Wert > 0,05).

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte des Winkels der Femora in Bezug auf die Ethnie, unabhängig vom Alter und Geschlecht (Abb. 117):

- Kaukasier ( $6,0^\circ \pm 1,7^\circ$ ) versus Asiaten ( $6,2^\circ \pm 2,0^\circ$ ) (p-Wert > 0,05)
- Kaukasier ( $6,0^\circ \pm 1,7^\circ$ ) versus Afrikaner ( $5,3^\circ \pm 1,8^\circ$ ) (p-Wert > 0,05)
- Asiaten ( $6,2^\circ \pm 2,0^\circ$ ) versus Afrikaner ( $5,3^\circ \pm 1,8^\circ$ ) (p-Wert < 0,05)

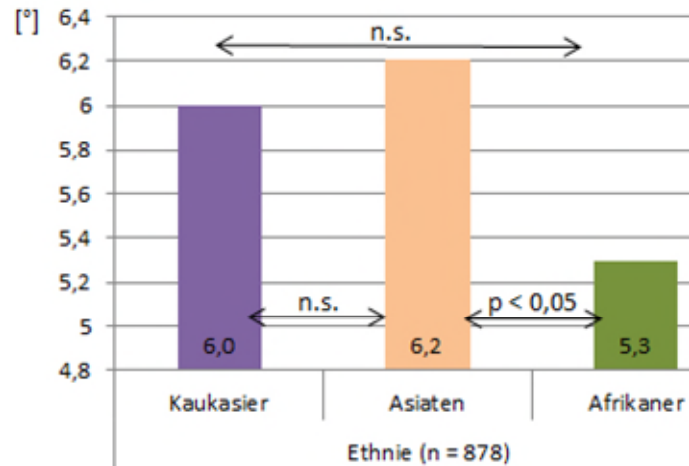


Abbildung 117: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der femoralen Querachse und der anat. TEA der Femora in Bezug auf die Ethnie.

Es bestehen keine signifikanten Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte des Winkels der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie (Abb. 118).

- asiatische Männer ( $6,2^\circ \pm 1,9^\circ$ ) versus asiatische Frauen ( $6,1^\circ \pm 2,2^\circ$ ) (p-Wert > 0,05)
- afrikanische Männer ( $5,7^\circ \pm 1,7^\circ$ ) versus afrikanische Frauen ( $4,7^\circ \pm 1,8^\circ$ ) (p-Wert > 0,05)
- kaukasische Männer ( $6,1^\circ \pm 1,6^\circ$ ) versus kaukasische Frauen ( $5,9^\circ \pm 1,8^\circ$ ) (p-Wert > 0,05)

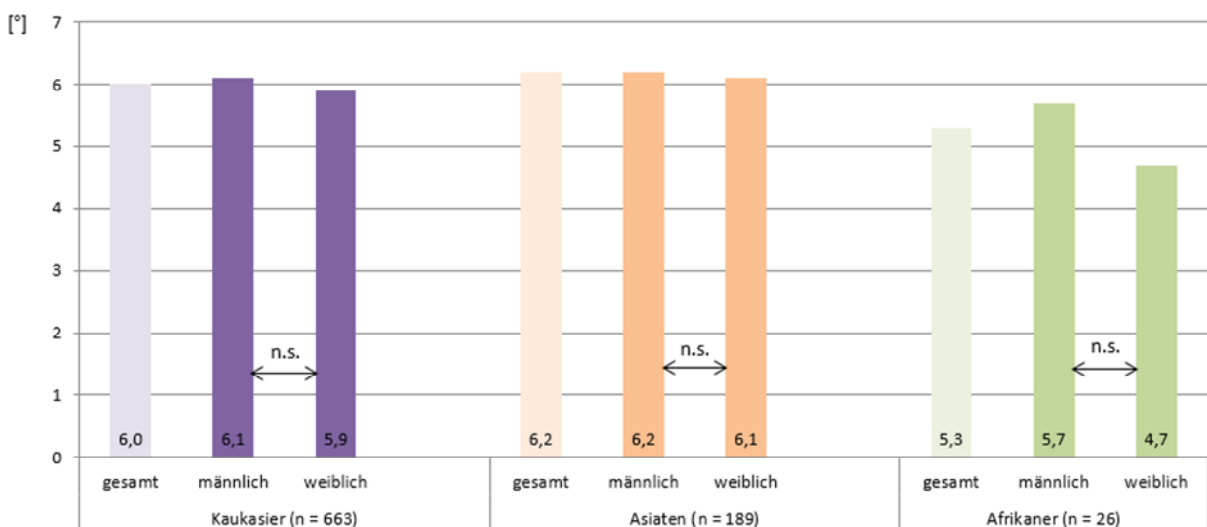


Abbildung 118: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der femoralen Querachse und der anat. TEA der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie.



Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte des Winkels der Femora der Männer Bezug auf die Ethnie (Abb. 119):

- afrikanische Männer ( $5,7^\circ \pm 1,7^\circ$ ) versus kaukasische Männer ( $6,1^\circ \pm 1,6^\circ$ ) (p-Wert > 0,05)
- asiatische Männer ( $6,2^\circ \pm 1,9^\circ$ ) versus kaukasische Männer ( $6,1^\circ \pm 1,6^\circ$ ) (p-Wert > 0,05)
- afrikanische Männer ( $5,7^\circ \pm 1,7^\circ$ ) versus asiatische Männer ( $6,2^\circ \pm 1,9^\circ$ ) (p-Wert > 0,05)

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte des Winkels der Femora der Frauen in Bezug auf die Ethnie (Abb. 119):

- afrikanische Frauen ( $4,7^\circ \pm 1,8^\circ$ ) versus kaukasische Frauen ( $5,9^\circ \pm 1,8^\circ$ ) (p-Wert > 0,05)
- asiatische Frauen ( $6,1^\circ \pm 2,2^\circ$ ) versus kaukasische Frauen ( $5,9^\circ \pm 1,8^\circ$ ) (p-Wert > 0,05)
- afrikanische Frauen ( $4,7^\circ \pm 1,8^\circ$ ) versus asiatische Frauen ( $6,1^\circ \pm 2,2^\circ$ ) (p-Wert < 0,05)

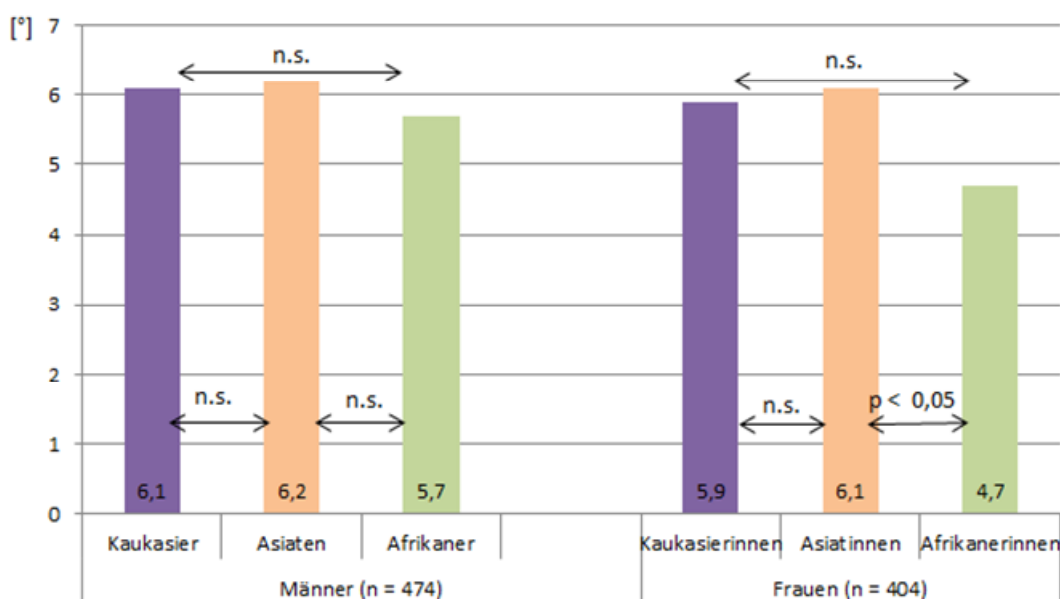


Abbildung 119: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der femoralen Querachse und der anat. TEA der Femora der männlichen und der weiblichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie.

#### 4.2.18 Winkel zwischen der femoralen Querachse und der chirurgischen transepikondylären Achse

Der Mittelwert dieses Winkels des gesamten Kollektivs liegt bei  $3,2^\circ \pm 1,5^\circ$ .

Der Mittelwert der Femora des weiblichen Geschlechts – unabhängig von der Ethnie und vom Alter - wird mit  $3,3^\circ \pm 1,4^\circ$  und der des männlichen mit  $3,1^\circ \pm 1,4^\circ$  berechnet. Der Unterschied ist signifikant (p-Wert < 0,05).

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte des Winkels der Femora in Bezug auf die Ethnie, unabhängig vom Alter und Geschlecht (Abb. 120):

- Kaukasier ( $3,2^\circ \pm 1,4^\circ$ ) versus Asiaten ( $3,4^\circ \pm 1,7^\circ$ ) (p-Wert > 0,05)
- Kaukasier ( $3,2^\circ \pm 1,4^\circ$ ) versus Afrikaner ( $2,9^\circ \pm 1,4^\circ$ ) (p-Wert > 0,05)
- Asiaten ( $3,4^\circ \pm 1,7^\circ$ ) versus Afrikaner ( $2,9^\circ \pm 1,4^\circ$ ) (p-Wert > 0,05)

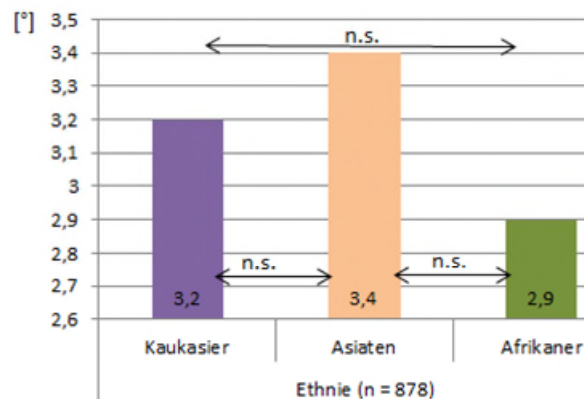


Abbildung 120: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der femoralen Querachse und der chirurg. TEA der Femora in Bezug auf die Ethnie.

Es bestehen keine signifikanten Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte des Winkels der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie (Abb. 121):

- asiatische Männer ( $3,3^\circ \pm 1,7^\circ$ ) versus asiatische Frauen ( $3,7^\circ \pm 1,6^\circ$ ) (p-Wert > 0,05)
- afrikanische Männer ( $3,1^\circ \pm 1,6^\circ$ ) afrikanische Frauen ( $2,7^\circ \pm 1,0^\circ$ ) (p-Wert > 0,05)
- kaukasische Männer ( $3,1^\circ \pm 1,4^\circ$ ) versus kaukasische Frauen ( $3,2^\circ \pm 1,4^\circ$ ) (p-Wert > 0,05)

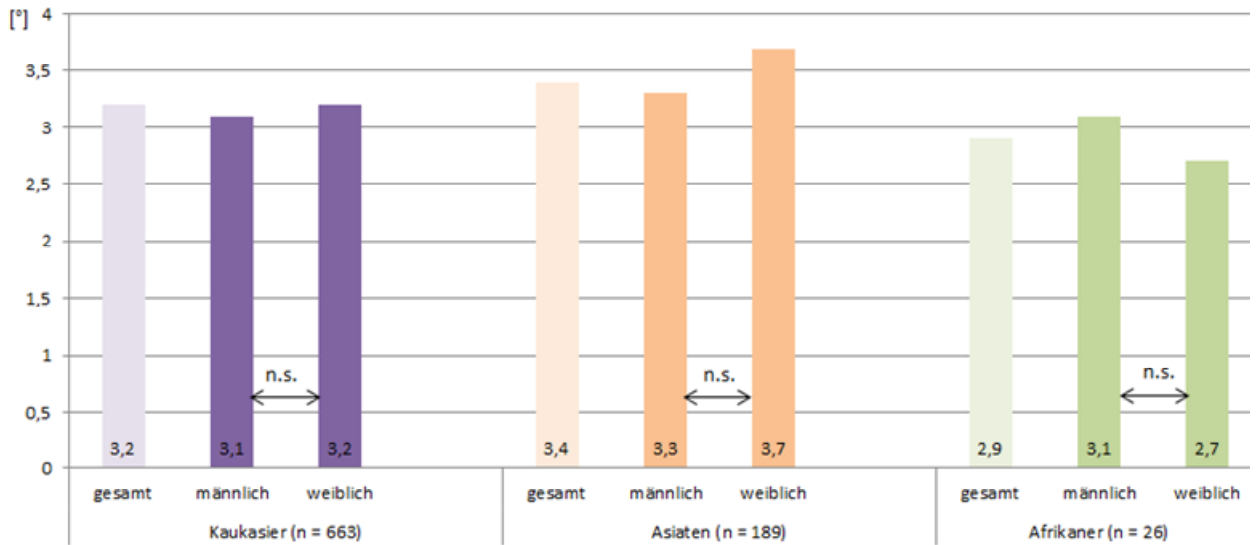


Abbildung 121: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der femoralen Querachse und der chirurg. TEA der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie.

Es bestehen keine signifikanten Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte des Winkels der Femora der Männer in Bezug auf die Ethnie (Abb. 122):

- afrikanische Männer ( $3,1^\circ \pm 1,6^\circ$ ) versus kaukasische Männer ( $3,1^\circ \pm 1,4^\circ$ ) (p-Wert > 0,05)
- asiatische Männer ( $3,3^\circ \pm 1,7^\circ$ ) versus kaukasische Männern ( $3,1^\circ \pm 1,4^\circ$ ) (p-Wert > 0,05)
- afrikanische Männer ( $3,1^\circ \pm 1,6^\circ$ ) versus asiatische Männer ( $3,3^\circ \pm 1,7^\circ$ ) (p-Wert > 0,05)

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte des Winkels der Femora der Frauen in Bezug auf die Ethnie (Abb. 122):

- afrikanische Frauen ( $2,7^\circ \pm 1,0^\circ$ ) versus kaukasische Frauen ( $3,2^\circ \pm 1,4^\circ$ ) (p-Wert > 0,05)
- asiatische Frauen ( $3,7^\circ \pm 1,6^\circ$ ) versus kaukasische Frauen ( $3,2^\circ \pm 1,4^\circ$ ) (p-Wert < 0,05)
- afrikanische Frauen ( $2,7^\circ \pm 1,0^\circ$ ) versus asiatische Frauen ( $3,7^\circ \pm 1,6^\circ$ ) (p-Wert < 0,05)

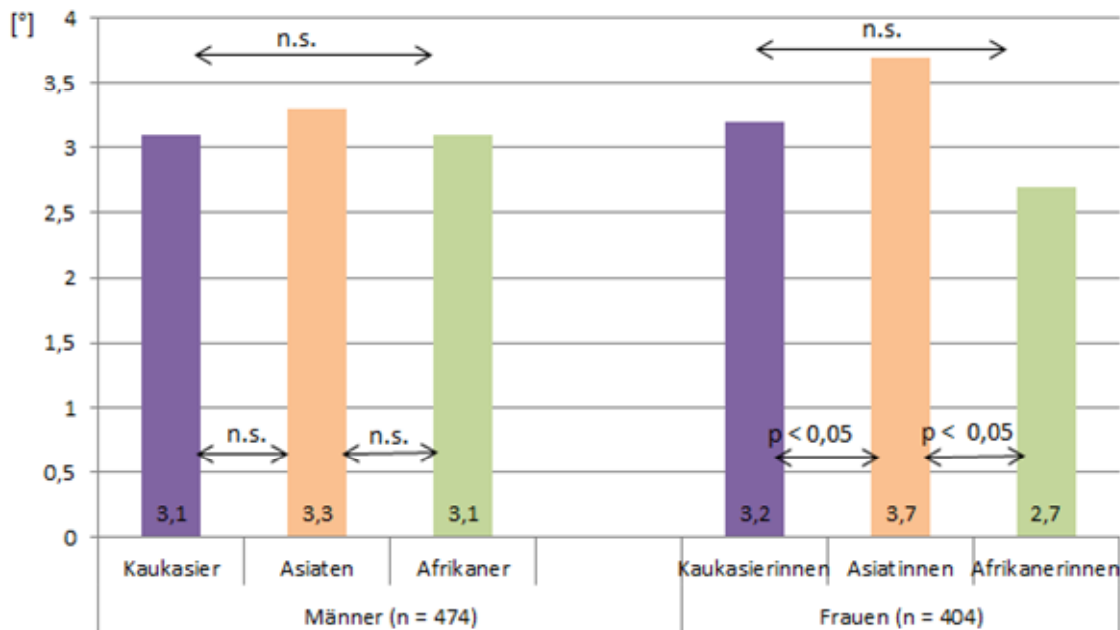


Abbildung 122: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der femoralen Querachse und der chirurg. TEA der Femora der männlichen und der weiblichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie.

#### 4.2.19 Winkel zwischen der femoralen Querachse und der posterioren Kondylenlinie

Der Mittelwert dieses Winkels des gesamten Kollektivs liegt bei  $1,1^\circ \pm 0,8^\circ$ .

Der Mittelwert des Winkels der Femora des weiblichen Geschlechts – unabhängig von der Ethnie und vom Alter - wird mit  $1,2^\circ \pm 0,8^\circ$  und die des männlichen mit  $0,9^\circ \pm 0,7^\circ$  berechnet. Der Unterschied ist signifikant (p-Wert < 0,0001).

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte des Winkels der Femora in Bezug auf die Ethnie, unabhängig vom Alter und Geschlecht (Abb. 123):

- Kaukasier ( $1,1^\circ \pm 0,8^\circ$ ) versus Asiaten ( $1,0^\circ \pm 0,9^\circ$ ) (p-Wert > 0,05)
- Kaukasier ( $1,1^\circ \pm 0,8^\circ$ ) versus Afrikaner ( $1,6^\circ \pm 1,1^\circ$ ) (p-Wert < 0,05)
- Asiaten ( $1,0^\circ \pm 0,9^\circ$ ) versus Afrikaner ( $1,6^\circ \pm 1,1^\circ$ ) (p-Wert < 0,05)

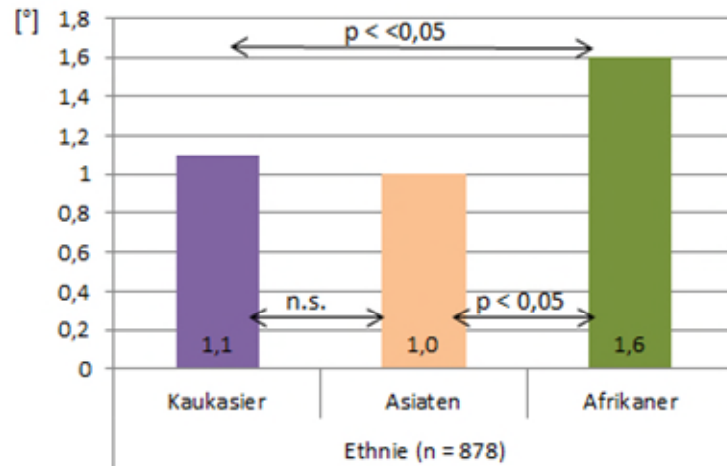


Abbildung 123: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der femoralen Querachse und der PCL der Femora in Bezug auf die Ethnie.

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte des Winkels der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie (Abb. 124):

- asiatische Männer ( $0,8^\circ \pm 0,7^\circ$ ) versus asiatische Frauen ( $1,2^\circ \pm 1,0^\circ$ ) (p-Wert < 0,05)
- afrikanische Männer ( $1,5^\circ \pm 0,8^\circ$ ) versus afrikanische Frauen ( $1,7^\circ \pm 1,5^\circ$ ) (p-Wert > 0,05)
- kaukasische Männer ( $1,0^\circ \pm 0,8^\circ$ ) versus kaukasische Frauen ( $1,2^\circ \pm 0,8^\circ$ ) (p-Wert < 0,05)

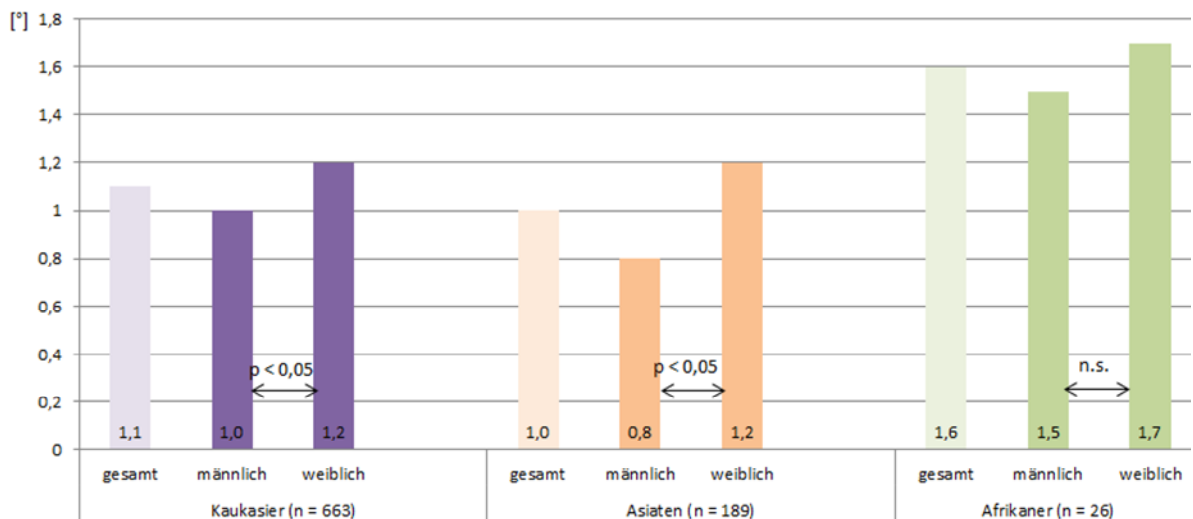


Abbildung 124: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der femoralen Querachse und der PCL der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie.

Es bestehen folgende Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte des Winkels der Femora der Männer in Bezug auf die Ethnie (Abb. 125):

- afrikanische Männer ( $1,5^\circ \pm 0,8^\circ$ ) versus kaukasische Männer ( $1,0^\circ \pm 0,8^\circ$ ) (p-Wert  $< 0,05$ )
- asiatische Männer ( $0,8^\circ \pm 0,7^\circ$ ) versus kaukasische Männer ( $1,0^\circ \pm 0,8^\circ$ ) (p-Wert  $> 0,05$ )
- afrikanische Männer ( $1,5^\circ \pm 0,8^\circ$ ) versus asiatische Männer ( $0,8^\circ \pm 0,7^\circ$ ) (p-Wert  $< 0,05$ )

Es bestehen keine signifikanten Unterschiede beim Vergleich der Mittelwerte des Winkels der Femora der Frauen in Bezug auf die Ethnie (Abb. 125):

- afrikanische Frauen ( $1,7^\circ \pm 1,5^\circ$ ) versus kaukasische Frauen ( $1,2^\circ \pm 0,8^\circ$ ) (p-Wert  $> 0,05$ )
- asiatische Frauen ( $1,2^\circ \pm 1,0^\circ$ ) versus kaukasische Frauen ( $1,2^\circ \pm 0,8^\circ$ ) (p-Wert  $> 0,05$ )
- afrikanische Frauen ( $1,7^\circ \pm 1,5^\circ$ ) versus asiatische Frauen ( $1,2^\circ \pm 1,0^\circ$ ) (p-Wert  $> 0,05$ )

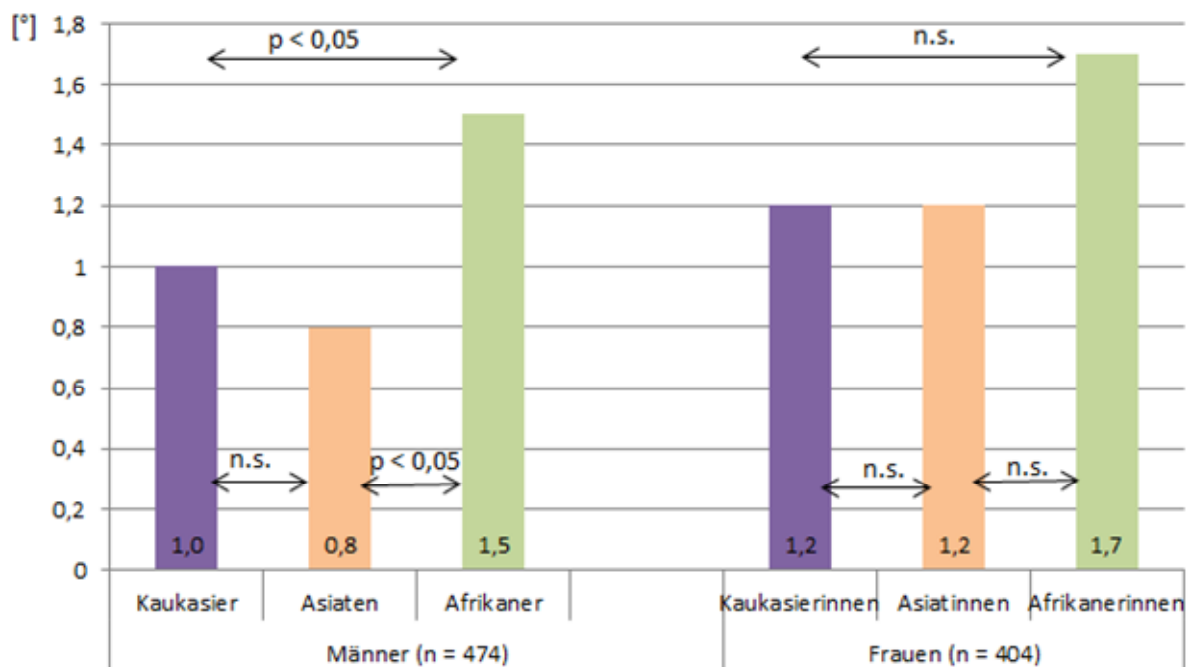


Abbildung 125: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der femoralen Querachse und der PCL der Femora der männlichen und der weiblichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie.

Es besteht ein signifikanter Unterschied beim Vergleich der Mittelwerte des Winkels der Femora in Bezug auf das Alter, unabhängig von Ethnie und Geschlecht (Abb. 126):

- 49-jährig und jünger ( $0,9^\circ \pm 0,7^\circ$ ) versus 50-jährig und älter ( $1,1^\circ \pm 0,9^\circ$ ) (p-Wert  $< 0,0001$ )

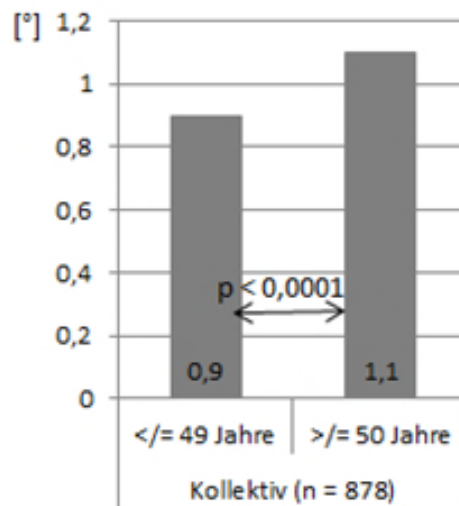


Abbildung 126: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der femoralen Querachse und der PCL der Femora in Bezug auf das Alter.

### 4.3 Zusammenfassung der Messergebnisse (4.1 – 4.2)

In der Tabelle 2 sind die Messergebnisse sowohl der berechneten Längen als auch der Winkel als Mittelwert (MW) mit Standardabweichung (SD) aufgelistet.

Parameter	Kaukasier		Asiaten		Weiblich		Afrikaner	
	Männlich		Männlich		Weiblich		Männlich	
	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD
Ant. kondyläre "Peak-Diff." (mm)	37.9	2.7	36.1	2.6	32.1	2.8	38.1	2.8
fAP lateral (mm)	69.9	3.5	66.5	3.3	60.4	2.7	68.0	2.3
fAP medial (mm)	68.8	3.7	64.6	3.6	58.6	2.7	66.6	2.9
fML (mm)	89.2	4.4	84.7	4.3	74.8	3.0	86.3	3.2
Interkondyläre Länge (mm)	14.0	1.1	13.9	1.1	11.7	1.1	13.3	0.9
Kondyläre Länge (mm)	79.8	4.0	74.3	4.0	65.4	3.0	77.4	3.2
Länge des lateralen Kondylus (mm)	32.2	2.0	30.0	1.7	26.2	1.5	30.7	1.4
Länge des medialen Kondylus (mm)	29.2	1.9	26.8	1.8	24.2	1.7	29.0	1.7
Sulkuslänge mediale Epikondyle (mm)	11.0	0.6	10.2	0.6	9.3	0.5	10.6	0.4
Radius laterale Kondyle (mm)	21.9	1.4	20.7	1.4	18.0	1.0	20.2	1.4
Radius mediale Kondyle (mm)	22.9	1.3	21.8	1.3	19.5	1.1	21.7	1.6
Anat. TEA-PCL(°)	6.6	1.6	6.4	1.6	7.0	2.2	6.7	2.1
Chirurg. TEA-PCL (°)	2.9	1.7	2.9	1.5	4.0	1.8	3.6	1.7
Senkr. Achse zur AP Achse-PCL(°)	5.1	1.8	4.8	1.8	6.2	1.9	4.9	2.3
Senkr. Achse zur AP Achse-Chirurg. TEA (°)	3.0	1.1	2.7	1.0	3.2	1.1	2.4	1.1
Senkr. Achse zur AP Achse-Anat. TEA (°)	2.5	1.2	2.6	1.3	2.4	1.2	2.6	1.0
AP Achse-PCL, (lat. gemessen) (°)	85.1	2.0	84.1	1.9	83.8	2.2	86.7	1.4
AP Achse-PCL, ( med.gemessen) (°)	94.9	2.0	95.9	1.9	96.2	2.2	93.3	1.4
AP Achse-Chirurg. TEA, (lat. gemessen) (°)	87.5	1.8	86.5	1.8	87.1	2.0	89.1	2.0
AP Achse-Chirurg. TEA, (med. gemessen) (°)	92.5	1.8	93.5	1.8	92.9	2.0	90.9	2.0
AP Achse-Anat. TEA (°)	91.1	1.9	89.9	1.8	90.0	2.2	92.9	1.5
Sulkuswinkel (°)	131.0	6.2	134.3	6.4	132.7	6.5	133.0	2.8
Anat. Femurachse-Dist. Kondylenachse (°)	81.2	1.8	80.3	1.7	79.8	2.3	82.5	1.9
Anat. Femurachse-Anat. TEA (°)	83.3	2.2	82.4	2.3	81.8	2.3	84.8	2.2
Mech. Femurachse-Dist. Kondylenachse (°)	87.3	1.8	86.2	1.8	85.4	2.6	88.5	1.7
Mech. Femurachse-Chirurg. TEA (°)	90.3	1.7	91.2	1.8	91.9	2.0	89.0	2.0
Mech. Femurachse-Anat. TEA (°)	89.5	2.1	88.4	2.2	87.6	2.3	90.8	2.2
Trochlearachse-Anat. TEA (°)	12.9	3.3	13.9	3.3	14.1	4.1	13.6	4.1
Trochlearachse-Chirurg. TEA (°)	9.9	3.5	11.0	3.7	11.6	3.7	10.6	4.4
Fem. Querachse (FTAx)-Anat. TEA (°)	6.1	1.6	6.2	1.9	6.1	2.2	5.7	1.7
Fem. Querachse (FTAx)-Chirurg. TEA (°)	3.1	1.4	3.3	1.7	3.7	1.6	3.1	1.6
Fem. Querachse (FTAx)-PCL (°)	1.0	0.8	0.8	0.7	1.2	1.0	1.5	0.8

Tabelle 2: Tabellarische Darstellung der Messergebnisse.



Die biometrischen Auswertungen unserer 988 Computertomographien lassen folgende Aussagen zu. Diese werden zunächst unter Punkt 1 bis 12 zusammengefasst und anschließend im Diskussionsteil vor dem Hintergrund der Literatur bewertet:

1. Kondylärer Drehwinkel (sowohl ethnien- als auch geschlechtsbezogen):
  - Es besteht kein signifikanter Unterschied zwischen kaukasischen, asiatischen und afrikanischen Männern (p-Wert > 0,05).
  - Es besteht kein signifikanter Unterschied zwischen kaukasischen und afrikanischen Frauen (p-Wert > 0,05).
  - Asiatische Frauen haben einen signifikant größeren CTA als kaukasische (p-Wert < 0,001) und afrikanische Frauen (p-Wert < 0,05). Zwischen kaukasischen und afrikanischen Frauen besteht kein signifikanter Unterschied (p-Wert > 0,05).
  - Asiatische Frauen haben einen signifikant größeren CTA als asiatische Männer (p-Wert < 0,05).
  - Es besteht kein signifikanter Unterschied zwischen afrikanischen Männern und Frauen (p-Wert > 0,05).
  - Es besteht kein signifikanter Unterschied zwischen kaukasischen Männern und Frauen (p-Wert > 0,05).
2. Posteriorer Kondylenwinkel (geschlechts- und altersspezifisch):
  - Frauen, unabhängig von ihrer ethnischen Zugehörigkeit, zeigen einen signifikant größeren PCA als Männer (p-Wert < 0,0001).
3. Winkel zwischen der senkrechten Achse zur anterioren-posterioren Achse und der posterioren Kondylenlinie:
  - Es besteht kein signifikanter Unterschied zwischen dem Mittelwert des jüngeren Kollektiv und dem des älteren Kollektiv (p-Wert > 0,05).
  - Asiatische Frauen haben einen signifikant größeren Winkel als asiatische Männer (p-Wert < 0,05).
4. Winkel zwischen der senkrechten Achse zur anterioren-posterioren Achse und der chirurgischen transepikondylären Achse:
  - Asiatische Frauen haben einen signifikant größeren Winkel als asiatische Männer (p-Wert < 0,001).

5. Winkel zwischen der anterioren-posterioren Achse und der posterioren Kondylenlinie (lateral, als auch medially gemessen):
  - Es besteht kein signifikanter Unterschied zwischen Männern und Frauen, unabhängig welcher Ethnie sie angehören (p-Wert > 0,05).
6. Winkel zwischen der anterioren-posterioren Achse und der chirurgischen transepikondylären Achse (lateral, als auch medially gemessen):
  - Frauen haben, unabhängig welcher Ethnie sie angehören, einen signifikant größeren Winkel als Männer (p-Wert < 0,05).
7. Winkel zwischen der anterioren-posterioren Achse und der anatomischen transepikondylären Achse:
  - Es besteht kein signifikanter Unterschied zwischen Männern und Frauen, unabhängig welcher Ethnie sie angehören (p-Wert > 0,05).
8. Winkel zwischen der anatomischen Femurachse und der distalen Kondylenlinie:
  - Männer, unabhängig welcher Ethnie sie angehören, haben einen signifikant größeren Winkel als Frauen (p-Wert < 0,0001).
9. Winkel zwischen der anatomischen Femurachse und der anatomischen transepikondylären Achse:
  - Männer, unabhängig welcher Ethnie sie angehören, haben einen signifikant größeren Winkel als Frauen (p-Wert < 0,0001).
10. Anteriore-posteriore Länge der lateralen Femurkondyle (geschlechts- und rassenspezifisch):
  - Männer, unabhängig welcher Ethnie sie angehören, haben eine signifikant größere fAP lateral als Frauen (p-Wert < 0,0001).
  - Kaukasische Männer haben eine signifikant größere fAP lateral als kaukasische Frauen (p-Wert < 0,0001).
  - Asiatische Männer haben eine signifikant größere fAP lateral als asiatische Frauen (p-Wert < 0,0001).
  - Afrikanische Männer haben eine signifikant größere fAP lateral als afrikanische Frauen (p-Wert < 0,0001).
  - Kaukasische Männer haben eine signifikant größere fAP lateral als afrikanische und asiatische Männer (p-Wert < 0,05).

- Kaukasische Frauen haben eine signifikant größere fAP lateral als afrikanische und asiatische Frauen (p-Wert < 0,05).
- Es besteht kein signifikanter Unterschied zwischen afrikanischen und asiatischen Männern (p-Wert > 0,05).

11. Anteriore-posteriore Länge der medialen Femurkondyle (geschlechts- und rassenspezifisch):

- Männer, unabhängig welcher Ethnie sie angehören, haben eine signifikant größeren fAP medial als Frauen (p-Wert < 0,0001).
- Kaukasische Männer haben eine signifikant größere fAP medial als kaukasische Frauen (p-Wert < 0,0001).
- Asiatische Männer haben eine signifikant größere fAP medial als asiatische Frauen (p-Wert < 0,0001).
- Afrikanische Männer haben eine signifikant größere fAP medial als afrikanische Frauen (p-Wert < 0,0001).
- Kaukasische Männer haben eine signifikant größere fAP medial als afrikanische und asiatische Männer (p-Wert < 0,05).
- Kaukasische Frauen haben eine signifikant größere fAP medial als afrikanische und asiatische Frauen (p-Wert < 0,05).
- Es besteht kein signifikanter Unterschied zwischen afrikanischen und asiatischen Frauen (p-Wert > 0,05).

12. Medio-laterale Länge der Femurkondyle (geschlechts- und rassenspezifisch):

- Männer, unabhängig welcher Ethnie sie angehören, haben eine signifikant größeren fML als Frauen (p-Wert < 0,0001).
- Kaukasische Männer haben eine signifikant größere fML als kaukasische Frauen (p-Wert < 0,0001).
- Asiatische Männer haben eine signifikant größere fML als asiatische Frauen (p-Wert < 0,0001).
- Afrikanische Männer haben eine signifikant größere fML als afrikanische Frauen (p-Wert < 0,0001).
- Kaukasische Männer haben eine signifikant größere fML als afrikanische und asiatische Männer (p-Wert < 0,05).

- Es besteht kein signifikanter Unterschied zwischen afrikanischen und asiatischen Männern (p-Wert > 0,05).
- Kaukasische Frauen haben eine signifikant größere fML als afrikanische und asiatische Frauen (p-Wert < 0,05).
- Es besteht kein signifikanter Unterschied zwischen afrikanischen und asiatischen Frauen (p-Wert > 0,05).

## 5. Diskussion

Die chirurgische transepikondyläre Achse, die anatomische transepikondyläre Achse, die anteriore-posteriore Achse, die senkrechte Achse zur anterioren-posterioren Achse, die posteriore Kondylenlinie, der posteriore Kondylenwinkel und der kondyläre Drehwinkel sowie die femorale anteriore-posteriore Länge der lateralen Femurkondyle, die femorale anteriore-posteriore Länge der medialen Femurkondyle und die medio-laterale Länge der Femurkondyle haben sich als wichtige biometrische Parameter für die Beschreibung des distalen Femurs erwiesen.

Viele Studien bedienen sich dieser Parameter, um ethnisch-, geschlechts- und altersspezifische Charakteristika herauszuarbeiten, da dieses anhand einer deskriptiven anatomischen Beschreibung und Abbildung nicht möglich ist.

Auch die vorliegende Studie soll einen Beitrag zu dieser Thematik liefern. Die vorgenommenen biometrischen Untersuchungen sollen klären, ob Unterschiede in den Abmessungen sowie in Form und Beschaffenheit des distalen Femurs zwischen den verschiedenen Ethnien (Kaukasier, Asiaten, Afrikaner), den Geschlechtern (männlich, weiblich) und den Altersgruppen (<= 49 Jahre, >= 50 Jahre) bestehen.

Bei der Bewertung unserer Ergebnisse muss berücksichtigt werden, dass die miteinander verglichenen Gruppen unterschiedlich groß sind.

Das gesamte Kollektiv setzt sich zusammen aus 663 Femora von Kaukasiern, 189 von Asiaten und 26 von Afrikanern bzw. 546 Femora von Männern und 442 von Frauen bzw. 199 Femora <= 49 Jahre und 672 >= 50 Jahre.

Das kaukasische Kollektiv setzt sich zusammen aus 347 Femora von Männern und 316 von Frauen, das asiatische aus 113 Femora von Männern und 76 von Frauen und das afrikanische aus 14 Femora von Männern und 12 von Frauen.

## 5.1 Ethnikspezifische Merkmale

### **Femorale anteriore-posteriore Länge der lateralen Kondyle:**

Sowohl aus der Studie von Mahfouz et al. als auch aus unserer geht hervor, dass kaukasische und afrikanische Männer eine signifikant größere fAP lateral besitzen als asiatische Männer und kaukasische und afrikanische Frauen ebenfalls eine signifikant größere fAP lateral als asiatische Frauen.

In unserer Studie beträgt der Mittelwert der fAP lateral bei den kaukasischen Männern  $69,9 \text{ mm} \pm 3,5 \text{ mm}$ , bei den afrikanischen  $68,0 \text{ mm} \pm 2,3 \text{ mm}$  und bei den asiatischen  $66,5 \text{ mm} \pm 3,3 \text{ mm}$ .

Die Unterschiede zwischen allen drei Ethnien sind signifikant verschieden.

Die Mittelwerte bei den kaukasischen Frauen betragen  $63,7 \text{ mm} \pm 3,3 \text{ mm}$ , bei den afrikanischen  $61,2 \text{ mm} \pm 2,2 \text{ mm}$  und bei den asiatischen  $60,4 \text{ mm} \pm 2,7 \text{ mm}$ . Der Unterschied zwischen den kaukasischen Frauen und den afrikanischen und asiatischen Frauen ist signifikant verschieden, nicht jedoch zwischen den afrikanischen und asiatischen Frauen.

Anders verhält es sich bei der Studie von Mahfouz et al.: Hier haben nicht die kaukasischen Männer ( $67,8 \text{ mm} \pm 4,1 \text{ mm}$ ) und Frauen ( $61,4 \text{ mm} \pm 3,2 \text{ mm}$ ) die größte fAP lateral, so wie in der vorliegenden Studie, sondern die afrikanischen Männer ( $71,1 \text{ mm} \pm 3,5 \text{ mm}$ ) und Frauen ( $64,1 \text{ mm} \pm 4,9 \text{ mm}$ ). Die asiatischen Männer ( $64,8 \text{ mm} \pm 4,4 \text{ mm}$ ) und Frauen ( $57,8 \text{ mm} \pm 3,2 \text{ mm}$ ) haben jedoch auch in der Studie von Mahfouz et al. die kleinste fAP lateral. Die Unterschiede zwischen den Ethnien sind signifikant (Mahfouz et al., 2012).

Auch in der Studie von Yue et al. haben die kaukasischen Männer eine signifikant größere fAP lateral als die asiatischen Männer. Die kaukasischen Frauen haben erstaunlicherweise keine größere fAP lateral als die asiatischen Frauen. Ein afrikanisches Kollektiv wurde von Yue et al. nicht untersucht (Yue et al., 2011).

### **Femorale anteriore-posteriore Länge der medialen Kondyle:**

Sowohl die Studie von Mahfouz et al. als auch die unsere verdeutlicht, dass die fAP medial bei kaukasischen und afrikanischen Männern signifikant größer ist als bei asiatischen Männern.

Beim Vergleich der kaukasischen und afrikanischen Männer kommen die beiden Studien zu unterschiedlichen Ergebnissen:

Mahfouz et al. konnten mit einem Mittelwert von  $65,7 \text{ mm} \pm 3,7 \text{ mm}$  versus  $66,9 \text{ mm} \pm 3,5 \text{ mm}$  für die Femora der kaukasischen Männer bzw. afrikanischen Männer keinen signifikanten Unterschied feststellen (Mahfouz et al., 2012). In unserer Studie findet sich ein Mittelwert für die

Femora der kaukasischen Männer von  $68,6 \text{ mm} \pm 3,7 \text{ mm}$  und für die der afrikanischen Männer von  $66,6 \text{ mm} \pm 2,9 \text{ mm}$ . Der Unterschied ist signifikant ( $p < 0,005$ ). Entsprechend unserer Studienergebnisse weisen kaukasische Männer die größten distalen Femora auf, gefolgt von denen der Afrikaner und Asiaten.

Betrachtet man die Mittelwerte der fAP medial bei den Frauen, so zeigte die Studie von Mahfouz et al. folgende Situation: Die Afrikanerinnen wiesen die größte fAP medial mit einem Mittelwert von  $63,9 \text{ mm} \pm 6,5 \text{ mm}$  auf, gefolgt von den kaukasischen Frauen mit  $59,4 \text{ mm} \pm 3,3 \text{ mm}$  und den asiatischen Frauen mit  $56,4 \text{ mm} \pm 3,0 \text{ mm}$ . Die Unterschiede waren signifikant (Mahfouz et al., 2012).

In unserer Studie haben die kaukasischen Frauen mit einem Mittelwert von  $62,1 \text{ mm} \pm 3,3 \text{ mm}$  die größte fAP medial, gefolgt von den afrikanischen Frauen mit  $59,4 \text{ mm} \pm 2,4 \text{ mm}$  und den asiatischen Frauen mit  $58,6 \text{ mm} \pm 2,7 \text{ mm}$ . Der Unterschied zwischen den kaukasischen Frauen einerseits und den asiatischen und den afrikanischen Frauen andererseits ist signifikant, nicht jedoch der Unterschied zwischen den asiatischen und den afrikanischen Frauen.

#### **Femorale medio-laterale Länge der Kondyle:**

Ähnlich wie bei der fAP lateral und fAP medial weisen in unserer Studie die Femora der kaukasischen Männer die größte Abmessung hinsichtlich der fML auf, gefolgt von denen der afrikanischen und asiatischen Männer. Diese Beobachtungen gelten auch für die Femora der entsprechenden weiblichen Kollektive. Die Unterschiede zwischen den kaukasischen Männern und den afrikanischen und asiatischen Männern sind statistisch signifikant, ebenso zwischen den kaukasischen Frauen und den afrikanischen und asiatischen Frauen. Kein signifikanter Unterschied besteht zwischen den afrikanischen und asiatischen Männern sowie zwischen den afrikanischen und asiatischen Frauen.

Auch in der CT-/MRT-gestützten Studie von Yue et al. haben die Femora der kaukasischen Männer mit einem Mittelwert von  $86,0 \text{ mm} \pm 5,6 \text{ mm}$  eine signifikant größere fML als die der asiatischen Männer mit einem Mittelwert von  $82,6 \text{ mm} \pm 3,6 \text{ mm}$ . Dieses traf auch für die Femora der kaukasischen Frauen mit einem Mittelwert von  $76,4 \text{ mm} \pm 4,0 \text{ mm}$  und die der asiatischen Frauen mit einem Mittelwert von  $72,8 \text{ mm} \pm 2,6 \text{ mm}$  zu (Yue et al., 2011). Auch diese Unterschiede sind statistisch signifikant. Zusammengefasst zeigen die o. g. Ergebnisse, dass kaukasische distale Femora im Mittel größer sind als afrikanische und asiatische.

Anders verhält es sich in der Studie von Mahfouz et al.: Hier besitzen ebenfalls die kaukasischen Männer die größte fML mit einem Mittelwert von  $85,9 \text{ mm} \pm 4,7 \text{ mm}$ , wohingegen die afrikanischen Männer mit einem Mittelwert von  $84,9 \text{ mm} \pm 4,7 \text{ mm}$  die kleinste fML

aufweisen. Die asiatischen Männer liegen mit der fML zwischen diesen beiden Gruppen. Die Unterschiede zwischen den Kollektiven sind jedoch nicht signifikant.

Mahfouz et al. untersuchten in ihrer Studie auch die fML der Frauen. Es stellte sich heraus, dass die afrikanischen Frauen, anders als die afrikanischen Männer, die größte fML besitzen.

In der Mitte liegt die fML bei den kaukasischen Frauen mit einem Mittelwert von 75,8 mm  $\pm$  3,3 mm. Der Unterschied zu den anderen Gruppen ist nicht signifikant (Mahfouz et al., 2012).

Unsere Studienergebnisse hinsichtlich der fML, der fAP medial und fAP lateral, bezogen auf die drei ethnischen Gruppen, belegen für beide Geschlechter, dass die größten Dimensionen bei den Kaukasiern, die zweitgrößten bei den Afrikanern und die kleinsten bei den Asiaten vorliegen.

#### **Winkel zwischen der anatomischen transepikondylären Achse und der posterioren Kondylenlinie gleich kondylärer Drehwinkel:**

Mahfouz et al. nahmen umfassende 3D-Analysen zur Bestimmung des CTA bei den verschiedenen Kollektiven vor. Sie vergleichen insgesamt 1000 distale Femora, welche sich aus 80 afrikanischen, 80 asiatischen und 840 kaukasischen distalen Femora zusammengesetzt haben.

Es stellt sich heraus, dass der Mittelwert des o. g. Winkels bei den Femora der kaukasischen Männer mit  $5,29^\circ \pm 3,1^\circ$  nicht signifikant verschieden ist verglichen mit dem der afrikanischen Männer mit  $5,09^\circ \pm 2,37^\circ$  ( $p > 0,05$ ) (Mahfouz et al., 2012).

Dieses wird auch durch die vorliegende Studie bestätigt. Der Mittelwert dieses Winkels beträgt bei den Femora der kaukasischen Männer  $6,6^\circ \pm 1,5^\circ$  und bei denen der afrikanischen Männer  $6,7^\circ \pm 2,1^\circ$ . Der Unterschied ist mit einem p Wert  $> 0,05$  nicht signifikant.

In der gleichen Studie von Mahfouz et al. fand sich ebenfalls kein signifikanter Unterschied zwischen dem Mittelwert dieses Winkels bei den Femora von kaukasischen versus asiatischen Männern ( $p > 0,05$ ), bei den Femora von afrikanischen versus asiatischen Männern ( $p > 0,05$ ) sowie bei den Femora von kaukasischen versus afrikanischen Frauen ( $p > 0,05$ ) (Mahfouz et al., 2012). Entsprechend zeigt auch unsere Studie keine signifikanten Unterschiede beim Vergleich der o. g. Kollektive.

Zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen sowohl die Studie von Mahfouz et al. als auch unsere Studie beim Vergleich der Mittelwerte der Winkel der Femora von kaukasischen und asiatischen Frauen. Mahfouz et al. ermittelten in ihrer Studie einen Mittelwert für die Femora

von kaukasischen Frauen von  $5,99^\circ \pm 3,12^\circ$  und für die Femora von asiatischen Frauen von  $6,19^\circ \pm 2,02^\circ$ . Dieser Unterschied ist nicht signifikant ( $p$ -Wert  $> 0,05$ ).

In unserer Studie wird ein Mittelwert für die Femora von kaukasischen Frauen mit  $6,6^\circ \pm 1,8^\circ$  und für die Femora von asiatischen Frauen von  $7,0^\circ \pm 2,2^\circ$  nachgewiesen. Dieser Unterschied ist signifikant ( $p < 0,0001$ ).

Ähnlich verhält es sich mit den Femora der afrikanischen und asiatischen Frauen. Mahfouz et al. berechneten Mittelwerte für die afrikanischen Frauen von  $6,19^\circ \pm 2,02^\circ$  und für die asiatischen Frauen von  $6,22^\circ \pm 1,63^\circ$ . Der Unterschied ist nicht signifikant ( $p > 0,05$ ) (Mahfouz et al., 2012). Unsere Studie hingegen kommt zu einem anderen Ergebnis: Der Mittelwert für die Femora von afrikanischen Frauen beträgt  $5,8^\circ \pm 1,2^\circ$  und der für die von asiatischen Frauen  $7,0^\circ \pm 2,2^\circ$ . Dieser Unterschied ist signifikant ( $p < 0,05$ ) und zeigt, dass asiatische Femora einen größeren CTA haben als afrikanische. Es besteht jedoch kein signifikanter Unterschied zwischen afrikanischen und kaukasischen Frauen ( $p$ -Wert  $> 0,05$ ).

## 5.2 Geschlechtsspezifische Merkmale

### Femorale anteriore-posteriore Länge der lateralen Kondyle:

Der Mittelwert der fAP lateral des distalen Femurs beträgt in der Studie von Berger et al. bei den Männern  $67,6 \text{ mm} \pm 3,0 \text{ mm}$  und bei den Frauen  $58,4 \text{ mm} \pm 4,3 \text{ mm}$  (Berger et al., 1993). Auch die Studien von Poilvache et al. und Rooney et al. stellten signifikant größere Längen für das männliche Kollektiv fest (Poilvache et al., 1996), (Rooney et al., 2006). Die entsprechenden Werte in unserer Studie sind ähnlich denen in den vorgenannten Arbeiten und betragen  $69,1 \text{ mm} \pm 3,7 \text{ mm}$  bei den Männern und  $63,1 \text{ mm} \pm 3,4 \text{ mm}$  bei den Frauen, unabhängig davon, welcher Ethnie sie zugehörig sind. Berger et al., Poilvache et al. und wir zeigen, dass das männliche Kollektiv eine signifikant größere fAP lateral besitzt als das weibliche Kollektiv.

Bezüglich des Vergleichs der Geschlechter innerhalb einer ethnischen Gruppe verhält es sich mit der fAP lateral ähnlich wie mit der fAP medial: Die distalen Femora der Männer haben sowohl in dem kaukasischen als auch in dem asiatischen als auch in dem afrikanischen Kollektiv eine signifikant größere fAP lateral als die Frauen. Der Unterschied ist in allen Gruppen signifikant ( $p < 0,05$ ).

Mahfouz et al. kamen zu dem gleichen Ergebnis: Männer haben in jeder Ethnie eine signifikant größere fAP lateral als die Frauen (Mahfouz et al., 2012).



### **Femorale anteriore-posteriore Länge der medialen Kondyle:**

Vergleicht man bezüglich dieses Merkmals die Femora des männlichen Kollektivs mit denen des weiblichen unabhängig von der Ethnie, so zeigte sowohl die Studie von Berger et al. als auch die von Poilvache et al., dass Männer eine signifikant größere fAP medial aufweisen als Frauen (Berger et al., 1993), (Poilvache et al., 1996).

Auch unsere Studie belegt, dass Männer mit einem Mittelwert von 67,6 mm  $\pm$  3,9 mm gegenüber weiblichen Femora mit 61,4 mm  $\pm$  3,4 mm eine signifikant größere fAP medial aufweisen.

Rooney et al. verglichen 68 Femora von kaukasischen Männern mit 128 von kaukasischen Frauen miteinander und fanden heraus, dass kaukasische Männer eine signifikant größere fAP medial aufweisen als kaukasische Frauen (Rooney et al., 2006). Zu dem gleichen Ergebnis kamen auch Mahfouz et al. (Mahfouz et al., 2012).

Auch der in unserer Studie vorgenommene Vergleich von Femora von kaukasischen Männern mit denen von kaukasischen Frauen zeigt, dass die Männer eine signifikant größere fAP medial aufweisen als die Frauen.

Asiatische Männer haben ebenfalls eine signifikant größere fAP medial als asiatische Frauen (Mahfouz et al., 2012). Dieses entspricht auch unseren Untersuchungsergebnissen.

Zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen Mahfouz et al. und wir beim Vergleich zwischen den afrikanischen Männern und Frauen. Mahfouz et al. stellen keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Kollektiven fest (Mahfouz et al., 2012), wohingegen in der vorliegenden Studie afrikanische Männer signifikant größere distale Femora in der fAP medial aufweisen als die Frauen.

### **Femorale medio-laterale Länge der Kondyle:**

Vergleicht man die Femora des männlichen Geschlechts mit denen des weiblichen, ungeachtet ihrer ethnischen Herkunft, zeigten sowohl Berger et al. als auch Poilvache et al., dass die distalen Femora des männlichen Kollektivs eine signifikant größere mittlere fML besitzen als die Femora des weiblichen Geschlechts (Berger et al., 1993), (Poilvache et al., 1996).

Entsprechende Unterschiede wurden auch von Rooney et al. sowie Mahfouz et al. beschrieben (Rooney et al., 2006), (Mahfouz et al., 2012).

Auch wir können in unserer Studie eine signifikant größere, mittlere fML zugunsten des männlichen Geschlechts feststellen; dieses sowohl unabhängig von der ethnischen Herkunft als auch innerhalb der verschiedenen ethnischen Gruppen.

### **Winkel zwischen der anatomischen transepikondylären Achse und der posterioren Kondylenlinie gleich kondylärer Drehwinkel:**

Tanavalee et al. untersuchten in einer CT-gestützten Analyse 24 männliche und 31 weibliche Femora auf geschlechtsspezifische Unterschiede. Einen signifikanten Unterschied zwischen diesen Gruppen konnten die Autoren nicht dokumentieren (Tanavalee et al., 2001).

Auch Berger et al. stellten in ihrer apparativ angelegten Studie keinen signifikanten Unterschied bzgl. dieses Merkmals zwischen Femora von Männern bzw. Frauen fest und kamen somit zum gleichen Ergebnis wie Tanavalee et al. und wir (Berger et al., 1993).

Mahfouz et al. verglichen in einer Studie den mittleren CTA bei asiatischen Männern mit dem von asiatischen Frauen und kamen zu ähnlichen Ergebnissen wie wir in unserer Untersuchung. Die Autoren zeigten, dass der Winkel bei asiatischen Männern mit einem Mittelwert von  $5,16^\circ \pm 1,65^\circ$  signifikant kleiner ist als bei asiatischen Frauen mit  $6,22^\circ \pm 1,63^\circ$  ( $p < 0,05$ ) (Mahfouz et al., 2012).

Die Werte in unserer Studie zeigen ein ähnliches Ergebnis: Die Femora asiatischer Männer weisen einen Mittelwert von  $6,4^\circ \pm 1,6^\circ$  auf und die der asiatischen Frauen einen von  $7,0^\circ \pm 2,2^\circ$ . Der Unterschied ist signifikant ( $p < 0,05$ ).

Somit zeigt auch unsere Studie, dass Femora von asiatischen Frauen einen signifikant größeren Winkel zwischen der anat. TEA und der PCL aufweisen als die von asiatischen Männern.

Sowohl in der Studie von Mahfouz et al. als auch in unserer ergibt der entsprechende Vergleich des CTA von afrikanischen Männern mit denen von afrikanischen Frauen keinen signifikanten Unterschied ( $p$ -Wert  $> 0,05$ ).

Interessant ist auch, dass Mahfouz et al. einen signifikant kleineren Winkel zwischen der anat. TEA und der PCL bei den kaukasischen Männern mit einem Wert von  $5,29^\circ \pm 3,1^\circ$  fanden als bei den kaukasischen Frauen mit  $5,99^\circ \pm 3,12^\circ$  (Mahfouz et al., 2012).

In unserer Studie ergibt sich hingegen kein signifikanter Unterschied beim Vergleich des CTA der Femora von kaukasischen Männern mit  $6,6^\circ \pm 1,5^\circ$  und denen von kaukasischer Frauen mit  $6,6^\circ \pm 1,8^\circ$ .

Asiatische Frauen haben jedoch mit einem CTA von  $7,0^\circ \pm 2,2^\circ$  einen signifikant größeren Winkel als asiatische Männer mit  $6,4^\circ \pm 1,6^\circ$ . Leider lässt sich kein Vergleich zu Mahfouz et al. herstellen, da diese das asiatische Kollektiv nicht untersucht haben.

### **Winkel zwischen der chirurgischen transepikondylären Achse und der posterioren Kondylenlinie gleich posteriorer Kondylenwinkel:**

Tanavalee et al. und Aglietti et al. verglichen in Bezug auf dieses Merkmal in einer CT-gestützten Analyse Femora von Männern und Frauen miteinander, unabhängig von deren ethnischer Zugehörigkeit. Beide Autoren stellten keine signifikanten Unterschiede fest (Tanavalee et al., 2001), (Aglietti et al., 2008).

Griffin et al. kamen in ihrer MRT-gestützten Studie ebenfalls zu dem Ergebnis, dass es keinen signifikanten Unterschied bei den distalen Femora zwischen den Geschlechtern gibt (Griffin et al., 2000).

Die Aussagekraft der Studien wird jedoch durch die relativ kleinen Kollektive eingeschränkt. Tanavalee et al. standen 55 Femora und Aglietti et al. sowie Griffin et al. jeweils ca. 100 distale Femora zur Verfügung.

Won et al. verglichen in ihrer CT-gestützten Studie die Femora von 50 Männern und Frauen und fanden beim männlichen Geschlecht einen signifikant größeren PCA als beim weiblichen Kollektiv (Won et al., 2007).

In der vorliegenden Studie wurde ein Kollektiv von insgesamt 988 Männer und Frauen verwendet, welches sich aus 546 Männern und 442 Frauen zusammensetzt. Vergleicht man nun das männliche mit dem weiblichen Kollektiv, stellt man fest, dass Frauen mit einem Mittelwert von  $3,3^\circ \pm 1,8^\circ$  einen signifikant größeren PCA besitzen als Männer mit einem Mittelwert von  $2,9^\circ \pm 1,6^\circ$  (p-Wert  $<0,0001$ ).

Yip et al. untersuchten in ihrer Studie die Femora asiatischer Männer und Frauen und benutzten dafür eine spezielle Haltevorrichtung, in welcher das distal Femur eingespannt und vermessen wurde. Sie stellten fest, dass die Femora von asiatischen Frauen einen signifikant größeren Winkel aufweisen als die von asiatischen Männern (Yip et al., 2004) und kommen somit zu dem gleichen Ergebnis wie unsere Studie. In unserer Studie werden 113 männliche mit 76 weiblichen Asiaten verglichen: Asiatische Frauen haben einen signifikant größeren PCA mit  $4,0^\circ \pm 1,8^\circ$  als asiatische Männer mit  $2,9^\circ \pm 1,5^\circ$ .

### **Winkel zwischen der senkrechten Achse zur anterioren-posterioren Achse und der posterioren Kondylenlinie:**

Yip et al. verglichen bzgl. dieses Merkmals die Femora von asiatischen Männern mit denen von asiatischen Frauen miteinander. Der mittlere Winkel beträgt für die asiatischen Männer  $6,73^\circ \pm 2,5^\circ$  und für die asiatischen Frauen  $8,24^\circ \pm 2,4^\circ$ . Der Unterschied ist signifikant (Yip et al., 2004).

In unserer Studie sind die mittleren Winkel sowohl bei den asiatischen Männern mit  $4,8^\circ \pm 1,8^\circ$  als auch bei den asiatischen Frauen mit  $6,2^\circ \pm 1,9^\circ$  deutlich kleiner. In beiden Studien weisen die Femora der asiatischen Frauen einen signifikant größeren Winkel auf als die der asiatischen Männer.

### **Winkel zwischen der senkrechten Achse zur anterioren-posterioren Achse und der chirurgischen transepikondylären Achse:**

In der Studie von Yip et al. beträgt der Wert für die asiatischen Männer  $1,59^\circ \pm 2,8^\circ$  versus  $2,36^\circ \pm 1,6^\circ$  für die asiatischen Frauen. Dieser Unterschied ist nicht signifikant (Yip et al., 2004).

Unsere Studie dokumentiert, dass der mittlere Wert des o.g. Winkels des Femurs asiatischer Männer ebenfalls mit einem Mittelwert von  $2,7^\circ \pm 1,0^\circ$  kleiner ist als der der asiatischen Frauen mit einem Wert von  $3,2^\circ \pm 1,1^\circ$ . Dieser Unterschied ist signifikant verschieden verglichen mit der Studie von Yip et al..

### **Winkel zwischen der anterioren-posterioren Achse und der chirurgischen transepikondylären Achse:**

Won et al. untersuchten in einer CT- gestützten Studie anhand von 50 Femora von Männern und Frauen den Mittelwert dieses Winkels und stellten einen Vergleich zwischen den Geschlechtern an. Die Autoren fanden einen signifikanten Unterschied zwischen den Femora von Männern und Frauen, der auch durch unsere Studie bestätigt wird. Der von Won et al. angegebene Mittelwert beträgt für die Männer  $87,3^\circ \pm 2,6^\circ$  und für die Frauen mit  $86,0^\circ \pm 1,9^\circ$ . Die Studie von Won et al. berechnete einen signifikant größeren Winkel für Männer als für Frauen (Won et al., 2007).

In unserer Studie werden Werte für die Männer von  $87,3^\circ \pm 1,8^\circ$  und für die Frauen von  $87,6^\circ \pm 1,8^\circ$  ermittelt. Obwohl nur ein Unterschied von  $0,3^\circ$  zwischen den Mittelwerten von dem männlichen und dem weiblichen Kollektiv besteht, findet sich ein signifikanter Unterschied

zwischen Männern und Frauen, und Frauen haben einen signifikant größeren Winkel als Männer.

**Winkel zwischen der anterioren-posterioren Achse und der anatomischen transepikondylären Achse und Winkel zwischen der anterioren-posterioren Achse und der posterioren Kondylenlinie:**

Sowohl der Winkel zwischen der AP–Achse und der anat. TEA als auch der Winkel zwischen der AP–Achse und der PCL zeigten in der CT- gestützten Studie von Tanavalee et al. und auch in unserer keinen signifikanten Unterschied zwischen den Geschlechtern (Tanavalee et al., 2001).

**Winkel zwischen der anatomischen Femurachse und der distalen Kondylenlinie und Winkel zwischen der anatomischen Femurachse und der anatomischen transepikondylären Achse:**

Luo et al. verglichen in ihrer Studie hinsichtlich der o. g. Winkel die Femora beider Geschlechter miteinander und konnten keinen signifikanten Unterschied feststellen (Luo et al., 2001).

In unserer Studie dagegen ergibt der entsprechende Vergleich signifikant höhere Mittelwerte bei den Männern sowohl bei dem Winkel zwischen der anatomischen Femurachse und der distalen Kondylenlinie als auch zwischen der anatomischen Femurachse und der anat. TEA.

Ein Grund dafür kann die unterschiedliche Kollektivstärke sein mit 124 in der Studie von Luo et al. und 988 in der unsrigen.

### **5.3 Altersspezifische Besonderheiten**

**Winkel zwischen der chirurgischen transepikondylären Achse und der posterioren Kondylenlinie gleich posteriorer Kondylenwinkel:**

Griffin et al. untersuchten in einer MRT-gestützten Studie, ob es Unterschiede zwischen Femora von jüngeren und älteren Menschen gibt. Ihnen stand ein Kollektiv von insgesamt 104 distalen Femora zur Verfügung. 52 Femora waren von Menschen mit einem Alter von 41 Jahren und jünger und 52 Femora von solchen mit einem Alter älter als 41 Jahre. Die statistische Auswertung ergab, dass das jüngere Kollektiv einen mittleren PCA von  $2,71^\circ \pm 1,56^\circ$  und das ältere einen von  $3,5^\circ \pm 1,86^\circ$  aufweist und sich diese signifikant voneinander unterscheiden (Griffin et al., 2000).

Auch in unserer Studie werden zwei Alterskollektive miteinander verglichen:  $\leq$  49 Jahre und  $\geq$  50 Jahre. Der Mittelwert des jüngeren Kollektiv beträgt  $3,1^\circ \pm 1,5^\circ$  und der des älteren  $3,2^\circ \pm 1,8^\circ$ . Den Berechnungen in unserer Studie zufolge verändert sich der PCA im Alter nicht signifikant.

#### **Femorale anteriore-posteriore Länge der lateralen Kondyle, femorale anteriore-posteriore Länge der medialen Kondyle, femorale medio-laterale Länge der Kondyle:**

Die Messungen des Mittelwertes der fAP lateral des jüngeren Alterskollektivs beträgt 65,7 mm, die des älteren Alterskollektivs 66,4 mm. Der Mittelwert ist nicht signifikant verschieden.

Die Mittelwerte der fAP medial ( $\leq$  49 Jahre: 64,1 mm;  $\geq$  50 Jahre: 65,0 mm) und die Mittelwerte der fML ( $\leq$  49 Jahre: 82,0 mm;  $\geq$  50 Jahre: 83,9 mm) sind jedoch signifikant verschieden.

#### **Länge des lateralen Kondylus und Länge des medialen Kondylus:**

In unserer Studie werden auch die Alterskollektive  $\leq$  49 Jahre und  $\geq$  50 Jahre in Bezug auf die Länge des lateralen und des medialen Kondylus berechnet. Der Mittelwert der Länge des lateralen Kondylus des jüngeren Kollektivs beträgt 29,2 mm, der des älteren Kollektivs 30,0 mm. Der Unterschied ist signifikant verschieden.

Auch der Unterschied des Mittelwertes der Länge des medialen Kondylus ist zwischen dem jüngeren und dem älteren Alterskollektiv mit 26,4 mm gegenüber 27,5 mm signifikant verschieden. Leider gibt es in der Literatur keine vergleichbaren Messungen.

#### **Interkondyläre Länge und kondyläre Länge:**

Die Mittelwerte der interkondylären Länge und der kondylären Länge sind zwischen dem jüngeren Alterskollektiv und zwischen dem älteren Alterskollektiv signifikant verschieden.

#### **Sulkuslänge**

Der Vergleich zwischen den Alterskollektiven in Bezug auf die Sulkuslänge erbringt ebenfalls einen signifikanten Unterschied. Der Mittelwert des Alterskollektivs  $\leq$  49 Jahre beträgt 10,2 mm, der Mittelwert des Alterskollektivs  $\geq$  50 Jahre beträgt 10,4 mm. Auch hier gibt es keine vergleichbaren Messungen in der Literatur.

**Winkel zwischen der mechanischen Femurachse und der distalen Kondylenlinie, der Winkel zwischen der mechanischen Femurachse und der chirurgischen transepikondylären Achse, der Winkel zwischen der mechanischen Femurachse und der anatomischen transepikondylären Achse:**

Die Mittelwerte zwischen den o.g. Winkeln sind in Bezug auf das jüngere Alterskollektiv und das ältere Alterskollektiv signifikant verschieden. Vergleichsmöglichkeiten in der Literatur bestehen nicht.

#### **5.4 Endoprothetische Aspekte**

Es ist noch unklar, welche Achse oder welcher Winkel beim Einbau einer Prothese die beste Rotationsreferenz darstellt, auf die sich dann alle anderen Parameter beziehen können.

Mehrere Autoren haben die Definition dieser 'idealen' Rotationsreferenz für sich beansprucht.

Zu den Referenzen hinsichtlich des distalen Femurs gehören die PCL (Hungerford and Kenna, 1983), (Laskin, 1995), die anat. TEA (Poilvache et al., 1996), (Yoshioka et al., 1987), die chirurg. TEA (Berger et al., 1993), (Griffin et al., 1998), (Asano et al., 2005), die AP-Achse (Arima et al., 1995), (Whiteside and Arima, 1995) und die Femur-Transversalachse (Victor et al., 2009).

Zu den Referenzen bezüglich der relativen Position der Tibia gehören die Beugespaltsymmetrie (Dorr and Boiardo, 1986) und die tibiale mechanische Achsausrichtung in Beugung (Hanada et al., 2007).

Insall macht den Begriff der 'Gelenkspalttechnik' populär, indem er einen rechtwinkligen Gelenkspalt in Beugung (Insall, 1986) definiert, der gleich dem in Streckstellung ist (Insall et al., 1986).

Freeman et al. führen die Verwendung eines 'Tensors' (*Spanners*) ein, um das resezierte Tibiaplateau als Basis für die Rotationsausrichtung der Femurkomponente zu verwenden (Freeman et al., 1978).

Die Bedeutung des rechtwinkligen Gelenkspalts wird von Laskin betont. Dieser erklärt, dass Kniegelenke, bei denen ein trapezförmiger Gelenkspalt verbleibt, schlechtere klinische Ergebnisse aufweisen, als solche mit einem rechteckigen Gelenkspalt (Laskin, 1995).

Eine wissenschaftliche Studie, die sich mit der Ausbalancierung von Beuge- und Streckspalt befasst, wird von Griffin et al. vorgelegt. Unter Verwendung der chirurg. TEA ist er in der Lage, einen rechtwinkligen Gelenkspalt in Beugung bei 89 von 104 Knie-TEPs zu erzielen. Jedoch

wird eine Gleichheit des Gelenkspalts in Beugung und Streckung nur bei 57 % der Patienten erzielt (Griffin et al., 2000).

Andere Autoren stellten eine Tendenz fest, dass der Gelenkspalt auf der lateralen Seite etwas weiter ist, was die Tatsache widerspiegelt, dass die physiologische Laxität des Knies auf der lateralen Seite größer ist (Van Damme et al., 2005).

Einer der häufigsten Fehler, der zur Revision einer Knieprothese Anlass gibt, ist die Fehlstellung der Prothesenkomponenten in der Frontalebene (Sharkey et al., 2002). Kleinere Fehler im Einbau der Knieprothese können hinnehmbar sein und dürften die Funktion der Prothese und das physiologische Bewegungsausmaß kaum einschränken (Berger et al., 1998).

In Bezug auf die Fehlstellungen in der Transversalebene, gemeint ist z. B. eine Rotationsfehlstellung der Oberschenkelkomponenten, wird eine fehlerhaft hohe Innenrotation mit Funktionsstörungen bei der Kniebeugung und –streckung sowie mit einer Instabilität der Patella in Verbindung gebracht (Mochizuki and Schurman, 1979), (Akagi et al., 1999), wohingegen eine übermäßige Außenrotation mit einer Instabilität in Flexion (Olcott and Scott, 1999), mit erhöhten Scherkräften bezogen auf die Patella (Miller et al., 2001) und mit einer Varusfehlstellung in Beugung einhergeht (Hanada et al., 2007), (Talbot and Bartlett, 2008), (Siston et al., 2005).

Nahezu alle Prothesendesigns orientieren sich an der Knieanatomie der westlichen Populationen. Es bestehen jedoch Zweifel, ob man diese Prothesenmodelle vorbehaltlos z. B. auch bei der asiatischen Bevölkerung einbauen kann, oder ob es, abgesehen von Unterschieden in den leicht zu berücksichtigenden, mittleren Gelenkabmessungen, noch weitere biometrische Differenzierungsmöglichkeiten gibt (Mahoney and Kinsey, 2010).

Hosaka et al. dokumentierten in ihrer Studie Folgendes: Die für die größeren Kniegelenke der Kaukasier designten Prothesenkomponenten führen bei den zierlicheren asiatischen Patienten intraoperativ oft zu einem Überhang: Die Resektionsflächen sind also in Bezug auf das endoprothetische Oberschenkelseitenverhältnis medio-lateral versus anterior-posterior zu klein (Hosaka et al., 2011).

Bellemans et al. führten in ihrer Studie aus, dass drei von fünf TEP-Systemen, die in China benutzt werden, mit einem medio-lateralen Überhang der distalen Femurkomponente verbunden sind. Des Weiteren zeigten sie, dass kleinere distale Femora eher ein größeres Oberschenkelseitenverhältnis („femoral aspect ratio“) haben als proportional größere (Bellemans et al., 2010).

Ähnliche Beobachtungen wurden auch durch andere Studien dokumentiert (Inoue et al., 2001), (Iorio et al., 2007).



Vergleichende Untersuchungen zu Form und Struktur des distalen Femurs in Korrelation zum klinischen Outcome bei den verschiedenen Ethnien existieren kaum.

Eine der wenigen Studien wurden von Iorio et al. vorgelegt. Die Autoren konnten zeigen, dass japanische Patienten einen signifikant kleineren postoperativen Bewegungsumfang haben als Kaukasier. Des Weiteren benötigen 4,1 % der japanischen Patienten eine TEP-Revision innerhalb einer durchschnittlichen Follow-up Zeit von 6,6 Jahren, wohingegen nur bei 2,6 % der amerikanischen Patienten eine TEP-Revision innerhalb einer Follow-up Zeit von neun Jahren erforderlich war. Die Autoren diskutierten als Ursache, dass bei den Asiaten die suboptimale Anpassung der Implantate an die Form des Kniegelenkes ein wesentlicher Faktor sein könnte (Iorio et al., 2007).

Abschließend bleibt festzuhalten, dass es zwischen kaukasischen und asiatischen Kniegelenken nicht nur Unterschiede hinsichtlich der Mittelwerte der Größendimensionen gibt, sondern besonders auch hinsichtlich Form und Relief. Dieses wird deutlich an einer unterschiedlichen medio-lateralen Länge zugunsten des kaukasischen Kniegelenkes. Des Weiteren besteht ein gravierender Unterschied zwischen diesen beiden ethnischen Gruppen im Hinblick auf das Oberschenkellängenverhältnis („femoral aspect ratio“). In asiatischen, also kleineren Kniegelenken ist das Oberschenkellängenverhältnis größer als bei den größeren, kaukasischen Kniegelenken (Hosseinzadeh et al., 2013).

Als Konsequenz daraus wird postuliert, die Kniegeometrien noch exakter als bisher zu analysieren, um damit den verschiedenen ethnischen, Geschlechts- und Altersgruppen ein jeweils optimal abgestimmtes Prothesendesign anbieten zu können und so den klinischen Outcome weiter zu verbessern.

## **5.5 Limitationen der Arbeit**

Schwachstellen dieser Arbeit sind vor allem die geringe Anzahl der Patienten in dem afrikanischen Kollektiv. Das Kollektiv umfasst nur 26 Teilnehmer, 14 männliche und 12 weibliche. Möglicherweise würden sich signifikante Unterschiede ergeben im Verhältnis zu dem kaukasischen und dem asiatischen Kollektiv, wenn eine größere Studienpopulation bestehen würde. Aufgrund dessen ist das Outcome dieser Gruppe sehr differenziert zu betrachten im Vergleich zu den beiden deutlich umfangreicheren Kollektiven der Kaukasier und der Asiaten.

## **5.6 Ausblick**

Durch die computergestützte Auswertung von 988 Computertomographien des distalen Femurs können wir auf der Basis der international gebräuchlichen und akzeptierten Achsen und Winkel

eine umfassende und wissenschaftlich fundierte Beschreibung der biometrischen Gegebenheiten bei den Kaukasiern, Asiaten und Afrikanern präsentieren. Die erhobenen Messdaten ermöglichen einen exakten biometrischen Vergleich der oben genannten ethnischen Gruppen.

Die herausgearbeiteten Unterschiede können dazu beitragen, das Prothesendesign bezogen auf die jeweiligen ethnischen Besonderheiten im Hinblick auf die Passgenauigkeit und die anguläre Ausrichtung der Prothesenkomponenten zu optimieren.

Weitere, insbesondere physikalisch-ergometrische Studien sind erforderlich, um zu zeigen, ob die biometrischen Unterschiede bei den verschiedenen Ethnien auch mit einer unterschiedlichen Stabilität von Knochen und Gelenken verbunden sind, das wiederum eine Anpassung von Osteosynthesematerialien und Endoprothesen zur Folge haben könnte.

## **6. Zusammenfassung**

Die allseits bekannten anatomischen Darstellungen des Skeletts, und hier besonders des distalen Femurs, beschreiben die anatomischen Gegebenheiten unter Bezeichnung von prominenten Strukturen, Landmarken und Punkten.

Dazu wurde zunächst eine umfangreiche Literaturrecherche durchgeführt, mit Hilfe derer die anatomisch, biometrisch und klinisch relevanten Achsen und Winkel definiert werden.

Anschließend erfolgte anhand von 988 Computertomographien unter Verwendung eines 3D-Analyseprogramms (Stryker® „Anatomie Analysis“, Tool V4.0), welches von der Arbeitsgruppe „Virtuelle Orthopädie“ der TU München entwickelt worden ist, eine entsprechende biometrische Auswertung.

Ziel war es, möglichst exakte, individuelle Messergebnisse im Bereich des distalen Femurs zu erhalten.

Die Literaturrecherche ergab, dass die anatomische transepikondyläre Achse, die anteriore-posteriore Achse, die senkrechte Achse zur anterioren-posterioren Achse, die posteriore Kondylenlinie, der posteriore Kondylenwinkel und der kondyläre Drehwinkel, sowie die femorale anteriore-posteriore Länge der lateralen Kondyle und die femorale anteriore-posteriore Länge der medialen Kondyle als besonders wichtige biometrische Parameter für die Beschreibung des distalen Femurs anzusehen sind.

Diesen biometrischen Parametern zugrunde gelegt dokumentieren die von uns erhobenen Messergebnisse, dass sowohl zwischen den ethnischen Gruppen (Kaukasier, Asiaten,

Afrikaner) als auch zwischen den Geschlechtern als auch zwischen den unterschiedlichen Altersgruppen ( $\leq 49$  Jahre und  $\geq 50$  Jahre) signifikante Unterschiede bestehen.

Weiterhin belegen die Auswertung des Schrifttums und auch unsere Messungen, dass das distale Femur der Männer bzw. Kaukasier unabhängig von Alter und Geschlecht im Mittel größere Abmessungen aufweist als das der Frauen bzw. das der asiatischen Bevölkerung. Dieses betrifft die Sagittal-, Frontal- und Transversalebene.

Die oben formulierten Messergebnisse geben Anlass, für den asiatischen Markt biometrisch angepasste, kleinere Prothesenkomponenten zu produzieren.

Weitere klinische Studien sind notwendig, um zu entscheiden, inwieweit sich aus den obigen Erkenntnissen Konsequenzen für das Inlay und die Biomechanik von Kniegelenksprothesen oder osteosynthetischen Implantaten ergeben.

## 7. Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1: Axiale Ansicht des rechten distalen Femurs. Abgebildet sind die laterale und mediale Prominenz an den Femurepikondylen und die sich daraus ergebende anat. TEA, welche der femoralen medio-lateralen Länge entspricht (Berger et al., 1993). 7
- Abbildung 2 a: AP-Röntgenaufnahme eines rechten Varusknies im Stehen und eine axiale MRT-Aufnahme des distalen Femurs eines rechten Varusknies. Die anat. TEA ist im Verhältnis zu der PCL um ca. 6 Grad nach außen rotiert (Matsuda et al. 2004). 8
- Abbildung 2 b: AP-Röntgenaufnahme eines rechten Valgusknies im Stehen und eine axiale MRT-Aufnahme des distalen Femurs eines rechten Valgusknies. Die laterale Femurkondyle ist verkürzt im Vergleich zur medialen Kondyle, und die anat. TEA ist im Verhältnis zu der PCL um 11 Grad nach außen rotiert (Matsuda et al., 2004). 8
- Abbildung 3: Axiale Ansicht des rechten distalen Femurs. Abgebildet sind die Prominenz an der lateralen Epikondyle und der Sulkus an der medialen Epikondyle und die sich daraus ergebende chirurg. TEA (Berger et al., 1993). 8
- Abbildung 4: Zeichnung des medialen Epikondylus mit Kamm und Sulkus, mit tiefem und oberflächlichem medialem Kollateralband (MCL) (Griffin et al., 2000). 9
- Abbildung 5 a: CT-Aufnahme. Linkes distales Femur einer 71-jährigen Patientin mit viertgradiger Arthrose. Der mediale Sulkus ist nicht darstellbar (Yoshino et al., 2001). 9
- Abbildung 5 b: CT-Aufnahme. Rechtes distales Femur eines 68-jährigen Patienten mit zweitgradiger Arthrose. Der mediale Sulkus ist gut darstellbar (Yoshino et al., 2001). 9
- Abbildung 6: Axiale Ansicht des rechten distalen Femurs. Abgebildet sind die laterale und mediale Prominenz an den Femurepikondylen und die sich daraus ergebende anat. TEA sowie die sich senkrecht daraus ergebende AP-Achse (Berger et al., 1993). 11
- Abbildung 7 a: Darstellung der Achsen in einem rechten distalen Femur mit einer normalen Kondylenkontur. Die Resektion senkrecht zur AP-Achse oder parallel zur anat. TEA resultiert in einer Resektionslinie X, welche in Bezug auf die PCL nur in geringem Maße nach außen rotiert ist. Dieses führt zu einer korrekten Positionierung der Femurkomponente (Arima et al., 1995). 12
- Abbildung 7 b: Axiale Ansicht eines rechten distalen Femurs mit einer schweren Valgusdeformität und einer daraus resultierenden verkleinerten lateralen Femurkondyle. Eine Resektion senkrecht zur AP-Achse oder parallel zu der anat. TEA resultiert in einer Resektionslinie X, die stark nach außen rotiert ist in Relation auf die PCL. Dieses führt zu einer weniger großen Resektion des lateralen Femurkondylus und zu einer korrekten Drehausrichtung der femoralen Komponente in Bezug auf die übrigen Strukturen einschließlich der Patellarinne (Arima et al., 1995). 12
- Abbildung 8: Axiale Ansicht eines rechten distalen Femurs. Abgebildet ist die PCL (Berger et al., 1993). 12

Abbildung 9: Koronare Ansicht des rechten Femurs. Eingezeichnet sind die distale Kondylenlinie und die mechanische Femurachse (Lustig et al., 2008).	14
Abbildung 11: Axiale Ansicht des rechten distalen Femurs. Es ist die fAP lateral sowie die fAP medial dargestellt (Berger et al., 1993).	15
Abbildung 12 a, b: Axiale Ansicht des rechten distalen Femurs.	15
Abbildung 12 a: Dargestellt ist die Länge des medialen Kondylus.	15
Abbildung 12 b: Dargestellt ist die Länge des lateralen Kondylus (Berger et al., 1993).	15
Abbildung 13: Axiale Ansicht des rechten distalen Femurs, der die interkondyläre Länge zeigt (Berger et al., 1993).	16
Abbildung 14: Axiale Ansicht des rechten distalen Femurs. Auf der medialen Seite ist der Sulkus mit der anterioren und posterioren Begrenzung dargestellt. Verbindet man diese beiden Punkte, erhält man die SmE (Griffin et al., 2000).	16
Abbildung 15: Laterale Ansicht auf die Kondylen des distalen Femurs. Die Verbindungsachse der beiden Mittelpunkte der Kreise um die laterale und mediale Femurkondyle kennzeichnet die funktionale Flexions-Extensions-Achse und dient zugleich als Ausgangspunkt für die Bestimmung des Radius des medialen bzw. lateralen Femurkondylus (Asano et al., 2005).	17
Abbildung 16: Axialer CT-Schnitt durch das linke distale Femur. Der PCA wird gebildet durch die chirurg. TEA und die PCL (Aglietti et al., 2008).	18
Abbildung 17: Axialer CT-Schnitt durch das linke distale Femur. Der CTA wird gebildet durch die anat. TEA und die PCL (Aglietti et al., 2008).	19
Abbildung 18: Koronare Ansicht des rechten Femurs. Eingezeichnet sind die distale Kondylenlinie, die chirurg. TEA und die mechanische Femurachse (Lustig et al., 2008).	20
Abbildung 19: Der Femurgelenkwinkel kennzeichnet den Winkel zwischen der anatomischen Femurachse und der distalen Kondylenlinie (Matsuda et al., 2004).	20
Abbildung 20 a, b: Axiale Ansicht eines rechten distalen Femurs.	22
Abbildung 20 a: Der größere PCA mit der entsprechenden postero-lateralen Kondylenform bei einem Knie mit valgischer Ganzbeinachse.	22
Abbildung 20 b: Ein kleinerer PCA bei normaler oder varischer Ganzbeinachse (Griffin et al., 1998).	22
Abbildung 21 a und b: Koronare Ansichten von in 90 Grad flektierten rechten Kniegelenken. Eine Innenrotation der Femurkomponente führt zu einem fehlerhaften Sitz der Patella und zu Instabilitäten in der Beugung des Kniegelenkes (Sheppard and Rubash, 1998).	22
Abbildung 22: Grafische Darstellung der Konsequenzen einer Resektion der Femurkondylen parallel zu der PCL in einem linken Knie mit schwerer Valgusdeformität (Arima et al., 1995).	24
Abbildung 23: Startseite des Programmes Stryker® „Anatomie Analysis Tool V4.0“.	27
Abbildung 24: Präsentation der Messresultate, Features und Screenshots.	29

Abbildung 25: Statistische Auswertung der Messergebnisse in Diagrammform.	29
Abbildung 26: Tabellarische Auflistung der Ergebnisse.	30
Abbildung 27: Vergleich der Mittelwerte (MW) der AML der Femora in Bezug auf die Ethnie.	31
Abbildung 28: Vergleich der Mittelwerte (MW) der AML der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie.	32
Abbildung 29: Vergleich der Mittelwerte (MW) der AML der Femora der männlichen und der weiblichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie.	33
Abbildung 30: Vergleich der Mittelwerte (MW) der AML der Femora in Bezug auf das Alter.	34
Abbildung 31: Vergleich der Mittelwerte (MW) der fAP lateral der Femora in Bezug auf die Ethnie.	34
Abbildung 32: Vergleich der Mittelwerte (MW) der fAP lateral der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie.	35
Abbildung 33: Vergleich der Mittelwerte (MW) der fAP lateral der Femora der männlichen und der weiblichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie.	36
Abbildung 34: Vergleich der Mittelwerte (MW) der fAP lateral der Femora in Bezug auf das Alter.	37
Abbildung 35: Vergleich der Mittelwerte (MW) der fAP medial der Femora in Bezug auf die Ethnie.	38
Abbildung 36: Vergleich der Mittelwerte (MW) der fAP medial der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie.	38
Abbildung 37: Vergleich der Mittelwerte (MW) der fAP medial der Femora der männlichen und der weiblichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie.	39
Abbildung 38: Vergleich der Mittelwerte (MW) der fAP medial der Femora in Bezug auf das Alter.	40
Abbildung 39: Vergleich der Mittelwerte (MW) der fML der Femora in Bezug auf die Ethnie	41
Abbildung 40: Vergleich der Mittelwerte (MW) der fML der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie.	41
Abbildung 41: Vergleich der Mittelwerte (MW) der fML der Femora der männlichen und der weiblichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie.	42
Abbildung 42: Vergleich der Mittelwerte (MW) der fML der Femora in Bezug auf das Alter.	43
Abbildung 43: Vergleich der Mittelwerte (MW) der interkondylären Länge der Femora in Bezug auf die Ethnie.	44
Abbildung 44: Vergleich der Mittelwerte (MW) der interkondylären Länge der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie.	44
Abbildung 45: Vergleich der Mittelwerte (MW) der interkondylären Länge der Femora der männlichen und der weiblichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie.	45

Abbildung 46: Vergleich der Mittelwerte (MW) der interkondylären Länge der Femora in Bezug auf das Alter.	46
Abbildung 47: Vergleich der Mittelwerte (MW) der kondylären Länge der Femora in Bezug auf die Ethnie.	47
Abbildung 48: Vergleich der Mittelwerte (MW) der kondylären Länge der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie.	47
Abbildung 49: Vergleich der Mittelwerte (MW) der kondylären Länge der Femora der männlichen und der weiblichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie.	48
Abbildung 50: Vergleich der Mittelwerte (MW) der kondylären Länge der Femora in Bezug auf das Alter.	49
Abbildung 51: Vergleich der Mittelwerte (MW) der Länge des lateralen Kondylus der Femora in Bezug auf die Ethnie.	50
Abbildung 52: Vergleich der Mittelwerte (MW) der Länge des lateralen Kondylus der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie.	50
Abbildung 53: Vergleich der Mittelwerte (MW) der Länge des lateralen Kondylus der Femora der männlichen und der weiblichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie.	51
Abbildung 54: Vergleich der Mittelwerte (MW) der Länge des lateralen Kondylus der Femora in Bezug auf das Alter.	52
Abbildung 55: Vergleich der Mittelwerte (MW) der Länge des medialen Kondylus der Femora in Bezug auf die Ethnie.	53
Abbildung 56: Vergleich der Mittelwerte (MW) der Länge des medialen Kondylus der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie.	53
Abbildung 57: Vergleich der Mittelwerte (MW) der Länge des medialen Kondylus der Femora der männlichen und der weiblichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie.	54
Abbildung 58: Vergleich der Mittelwerte (MW) der Länge des medialen Kondylus der Femora in Bezug auf das Alter.	55
Abbildung 59: Vergleich der Mittelwerte (MW) der SmE der Femora in Bezug auf die Ethnie.	56
Abbildung 60: Vergleich der Mittelwerte (MW) der SmE der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie.	56
Abbildung 61: Vergleich der Mittelwerte (MW) der SmE der Femora der männlichen und der weiblichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie.	57
Abbildung 62: Vergleich der Mittelwerte (MW) der SmE der Femora in Bezug auf das Alter.	58
Abbildung 63: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Durchmessers des Radius der lateralen Kondyle der Femora in Bezug auf die Ethnie.	59
Abbildung 64: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Durchmesser des Radius der lateralen Kondyle der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie.	59

Abbildung 65: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Durchmesser des Radius der lateralen Kondyle der Femora der männlichen und der weiblichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie.	60
Abbildung 66: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Durchmessers des Radius der lateralen Kondyle der Femora in Bezug auf das Alter.	61
Abbildung 67: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Durchmessers des Radius der medialen Kondyle der Femora in Bezug auf die Ethnie.	62
Abbildung 68: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Durchmessers des Radius der medialen Kondyle der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie.	62
Abbildung 69: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Durchmessers des Radius der medialen Kondyle der Femora der männlichen und der weiblichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie.	63
Abbildung 70: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Durchmessers des Radius der medialen Kondyle der Femora in Bezug auf das Alter.	64
Abbildung 71: Vergleich der Mittelwerte (MW) des CTA der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie.	65
Abbildung 72: Vergleich der Mittelwerte (MW) des CTA der Femora der weiblichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie.	65
Abbildung 73: Vergleich der Mittelwerte (MW) des PCA der Femora in Bezug auf die Ethnie.	66
Abbildung 74: Vergleich der Mittelwerte (MW) des PCA der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie.	67
Abbildung 75: Vergleich der Mittelwerte (MW) des PCA der Femora der weiblichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie.	67
Abbildung 76: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der senkrechten Achse zur AP-Achse und der PCL der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie.	68
Abbildung 77: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der senkrechten Achse zur AP-Achse und der PCL der Femora innerhalb der weiblichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie.	69
Abbildung 78: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der senkrechten Achse zur AP-Achse und der chirurg. TEA der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie.	70
Abbildung 79: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der senkrechten Achse zur AP-Achse und der chirurg. TEA der Femora innerhalb der männlichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie.	70
Abbildung 80: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der senkrechten Achse zur AP-Achse und der anat. TEA der Femora in Bezug auf die Ethnie.	71
Abbildung 81: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der AP-Achse und PCL der Femora in Bezug auf die Ethnie.	72



Abbildung 81 a: Vergleich der Mittelwerte (MW) des nach lateral offen gemessenen Winkels der Femora.	72
Abbildung 81 b: Vergleich der Mittelwerte (MW) des nach medial offen gemessenen Winkels der Femora.	72
Abbildung 82: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der AP-Achse und der PCL der Femora innerhalb der männlichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie.	73
Abbildung 82 a: Vergleich der Mittelwerte (MW) des nach lateral offen gemessenen Winkels der Femora.	73
Abbildung 82 b: Vergleich der Mittelwerte (MW) des nach medial offen gemessenen Winkels der Femora.	73
Abbildung 83: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der AP-Achse und der PCL der Femora innerhalb der weiblichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie.	74
Abbildung 83 a: Vergleich der Mittelwerte (MW) des nach lateral offen gemessenen Winkels der Femora.	74
Abbildung 83 b: Vergleich der Mittelwerte (MW) des nach medial offen gemessenen Winkels der Femora.	74
Abbildung 84: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der AP-Achse und der chirurg. TEA der Femora in Bezug auf die Ethnie.	76
Abbildung 84 a: Vergleich der Mittelwerte (MW) des nach lateral offen gemessenen Winkels der Femora.	76
Abbildung 84 b: Vergleich der Mittelwerte (MW) des nach medial offen gemessenen Winkels der Femora.	76
Abbildung 85: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der AP-Achse und der chirurg. TEA der Femora der männlichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie.	77
Abbildung 85 a: Vergleich der Mittelwerte (MW) des nach lateral offen gemessenen Winkels der Femora.	77
Abbildung 85 b: Vergleich der Mittelwerte (MW) des nach medial offen gemessenen Winkels der Femora.	77
Abbildung 86: Vergleich der Mittelwerte (MW) zwischen der AP-Achse und der chirurg. TEA der Femora der weiblichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie.	78
Abbildung 86 a: Vergleich der Mittelwerte (MW) des nach lateral offen gemessenen Winkels der Femora.	78
Abbildung 86 b: Vergleich der Mittelwerte (MW) des nach medial offen gemessenen Winkels der Femora.	78
Abbildung 87: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der AP-Achse und der anat. TEA der Femora in Bezug auf die Ethnie.	79

Abbildung 88: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der AP-Achse und der anat. TEA der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie.	79
Abbildung 89: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der AP-Achse und der anat. TEA der Femora der männlichen und der weiblichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie.	80
Abbildung 90: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der AP-Achse und der anat. TEA der Femora in Bezug auf das Alter.	81
Abbildung 91: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Sulkuswinkels der Femora in Bezug auf die Ethnie.	82
Abbildung 92: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Sulkuswinkels der Femora der männlichen und der weiblichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie.	83
Abbildung 93: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der anatomischen Femurachse und der distalen Kondylenlinie der Femora in Bezug auf die Ethnie.	84
Abbildung 94: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der anatomischen Femurachse und der distalen Kondylenlinie der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie.	84
Abbildung 95: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der anatomischen Femurachse und der distalen Kondylenlinie der Femora der männlichen und der weiblichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie.	85
Abbildung 96: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der anatomischen Femurachse und der anat. TEA der Femora in Bezug auf die Ethnie.	86
Abbildung 97: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der anatomischen Femurachse und der anat. TEA der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie.	87
Abbildung 98: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der anatomischen Femurachse und der anat. TEA der Femora der männlichen und der weiblichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie.	88
Abbildung 99: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der mechanischen Femurachse und der distalen Kondylenlinie der Femora in Bezug auf die Ethnie.	89
Abbildung 100: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der mechanischen Femurachse und der distalen Kondylenlinie der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie.	89
Abbildung 101: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der mechanischen Femurachse und der distalen Kondylenlinie der Femora der männlichen und der weiblichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie.	90
Abbildung 102: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der mechanischen Femurachse und der distalen Kondylenlinie der Femora in Bezug auf das Alter.	91

Abbildung 103: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der mechanischen Femurachse und der chirurg. TEA der Femora in Bezug auf die Ethnie.	92
Abbildung 104: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der mechanischen Femurachse und der chirurg. TEA der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie.	92
Abbildung 105: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der mechanischen Femurachse und der chirurg. TEA der Femora der männlichen und der weiblichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie.	93
Abbildung 106: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der mechanischen Femurachse und der chirurg. TEA der Femora in Bezug auf das Alter.	94
Abbildung 107: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der mechanischen Femurachse und der anat. TEA der Femora in Bezug auf die Ethnie.	95
Abbildung 108: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der mechanischen Femurachse und der anat. TEA der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie.	95
Abbildung 109: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der mechanischen Femurachse und der anat. TEA der Femora der männlichen und der weiblichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie.	96
Abbildung 110: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der mechanischen Femurachse und der anat. TEA der Femora in Bezug auf das Alter.	97
Abbildung 111: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der trochlearen Achse und der anat. TEA der Femora in Bezug auf die Ethnie.	98
Abbildung 112: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der trochlearen Achse und der anat. TEA der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie.	98
Abbildung 113: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der trochlearen Achse und der anat. TEA der Femora der männlichen und der weiblichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie.	99
Abbildung 114: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der trochlearen Achse und der chirurg. TEA der Femora in Bezug auf die Ethnie.	100
Abbildung 115: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der trochlearen Achse und der chirurg. TEA der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie.	101
Abbildung 116: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der trochlearen Achse und der chirurg. TEA der Femora der männlichen und der weiblichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie.	102

Abbildung 117: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der femoralen Querachse und der anat. TEA der Femora in Bezug auf die Ethnie.	103
Abbildung 118: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der femoralen Querachse und der anat. TEA der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie.	103
Abbildung 119: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der femoralen Querachse und der anat. TEA der Femora der männlichen und der weiblichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie.	104
Abbildung 120: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der femoralen Querachse und der chirurg. TEA der Femora in Bezug auf die Ethnie.	105
Abbildung 121: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der femoralen Querachse und der chirurg. TEA der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie.	106
Abbildung 122: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der femoralen Querachse und der chirurg. TEA der Femora der männlichen und der weiblichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie.	107
Abbildung 123: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der femoralen Querachse und der PCL der Femora in Bezug auf die Ethnie.	108
Abbildung 124: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der femoralen Querachse und der PCL der Femora der männlichen mit der weiblichen Gruppe innerhalb einer Ethnie.	108
Abbildung 125: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der femoralen Querachse und der PCL der Femora der männlichen und der weiblichen Gruppe in Bezug auf die Ethnie.	109
Abbildung 126: Vergleich der Mittelwerte (MW) des Winkels zwischen der femoralen Querachse und der PCL der Femora in Bezug auf das Alter.	110

## 8. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zusammenfassung der Datensätze der femoralen Knochen.	25
Tabelle 2: Tabellarische Darstellung der Messergebnisse.	111

## 9. Literaturverzeichnis

- AGLIETTI, P., SENSI, L., CUOMO, P. & CIARDULLO, A. 2008. Rotational position of femoral and tibial components in TKA using the femoral transepicondylar axis. *Clin Orthop Relat Res*, 466, 2751-5.
- AKAGI, M., MATSUSUE, Y., MATA, T., ASADA, Y., HORIGUCHI, M., IIDA, H. & NAKAMURA, T. 1999. Effect of rotational alignment on patellar tracking in total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res*, 155-63.
- AKAGI, M., YAMASHITA, E., NAKAGAWA, T., ASANO, T. & NAKAMURA, T. 2001. Relationship between frontal knee alignment and reference axes in the distal femur. *Clin Orthop Relat Res*, 147-56.
- ARIMA, J., WHITESIDE, L. A., MCCARTHY, D. S. & WHITE, S. E. 1995. Femoral rotational alignment, based on the anteroposterior axis, in total knee arthroplasty in a valgus knee. A technical note. *J Bone Joint Surg Am*, 77, 1331-4.
- ASANO, T., AKAGI, M. & NAKAMURA, T. 2005. The functional flexion-extension axis of the knee corresponds to the surgical epicondylar axis: in vivo analysis using a biplanar image-matching technique. *J Arthroplasty*, 20, 1060-7.
- BELLEMANS, J., CARPENTIER, K., VANDENNEUCKER, H., VANLAUWE, J. & VICTOR, J. 2010. The John Insall Award: Both morphotype and gender influence the shape of the knee in patients undergoing TKA. *Clin Orthop Relat Res*, 468, 29-36.
- BERGER, R. A., CROSSETT, L. S., JACOBS, J. J. & RUBASH, H. E. 1998. Malrotation causing patellofemoral complications after total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res*, 144-53.
- BERGER, R. A., RUBASH, H. E., SEEL, M. J., THOMPSON, W. H. & CROSSETT, L. S. 1993. Determining the rotational alignment of the femoral component in total knee arthroplasty using the epicondylar axis. *Clin Orthop Relat Res*, 40-7.
- CHURCHILL, D. L., INCAVO, S. J., JOHNSON, C. C. & BEYNNON, B. D. 1998. The transepicondylar axis approximates the optimal flexion axis of the knee. *Clin Orthop Relat Res*, 111-8.
- DORR, L. D. & BOIARDO, R. A. 1986. Technical considerations in total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res*, 5-11.
- ELIAS, S. G., FREEMAN, M. A. & GOKCAY, E. I. 1990. A correlative study of the geometry and anatomy of the distal femur. *Clin Orthop Relat Res*, 98-103.
- FAVORITO, P. J., MIHALKO, W. M. & KRACKOW, K. A. 2002. Total knee arthroplasty in the valgus knee. *J Am Acad Orthop Surg*, 10, 16-24.
- FREEMAN, M. A., TODD, R. C., BAMERT, P. & DAY, W. H. 1978. ICLH arthroplasty of the knee: 1968--1977. *J Bone Joint Surg Br*, 60-B, 339-44.
- GRIFFIN, F. M., INSALL, J. N. & SCUDERI, G. R. 1998. The posterior condylar angle in osteoarthritic knees. *J Arthroplasty*, 13, 812-5.
- GRIFFIN, F. M., MATH, K., SCUDERI, G. R., INSALL, J. N. & POILVACHE, P. L. 2000. Anatomy of the epicondyles of the distal femur: MRI analysis of normal knees. *J Arthroplasty*, 15, 354-9.
- HANADA, H., WHITESIDE, L. A., STEIGER, J., DYER, P. & NAITO, M. 2007. Bone landmarks are more reliable than tensioned gaps in TKA component alignment. *Clin Orthop Relat Res*, 462, 137-42.

- HASSABALLA, M., BUDNAR, V., GBEJUADE, H. & LEARMONTH, I. 2011. Does improved instrumentation result in better component alignment in total knee arthroplasty? *Orthop Rev (Pavia)*, 3, e3.
- HOLLISTER, A. M., JATANA, S., SINGH, A. K., SULLIVAN, W. W. & LUPICHUK, A. G. 1993. The axes of rotation of the knee. *Clin Orthop Relat Res*, 259-68.
- HOSSEINZADEH, H. R. S., TARABICHI, S., SHAHI, A. S., YEGANEH, M. H., SALEH, U. H., KAZEMIAN, G. R. & MASOUDI, A. 2013. Special Considerations in Asian Knee Arthroplasty.
- HUNGERFORD, D. S. & KENNA, R. V. 1983. Preliminary experience with a total knee prosthesis with porous coating used without cement. *Clin Orthop Relat Res*, 95-107.
- INSALL, J. N. 1986. Revision of total knee replacement. *Instr Course Lect*, 35, 290-6.
- INSALL, J. N., BINAZZI, R., SOUDRY, M. & MESTRINER, L. A. 1985. Total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res*, 13-22.
- INSALL, J. N., SCUDERI, G. R., KOMISTEK, R. D., MATH, K., DENNIS, D. A. & ANDERSON, D. T. 2002. Correlation between condylar lift-off and femoral component alignment. *Clin Orthop Relat Res*, 143-52.
- IORIO, R., KOBAYASHI, S., HEALY, W. L., CRUZ, A. I., JR. & AYERS, M. E. 2007. Primary posterior cruciate-retaining total knee arthroplasty: a comparison of American and Japanese cohorts. *J Surg Orthop Adv*, 16, 164-70.
- KATZ, M. A., BECK, T. D., SILBER, J. S., SELDES, R. M. & LOTKE, P. A. 2001. Determining femoral rotational alignment in total knee arthroplasty: reliability of techniques. *J Arthroplasty*, 16, 301-5.
- LASKIN, R. S. 1995. Flexion space configuration in total knee arthroplasty. *J Arthroplasty*, 10, 657-60.
- LUO, C. F., KOSHINO, T., TAKEUCHI, R. & SAITO, T. 2001. Reliability of the transepicondylar line as a parameter of femoral axial alignment. *J Orthop Sci*, 6, 373-7.
- LUO, C. F., ZENG, B. F. & KOSHINO, T. 2004. Transepicondylar line and condylar line as parameters for axial alignment in knee arthroplasty. *Knee*, 11, 213-7.
- LUSTIG, S., LAVOIE, F., SELMI, T. A., SERVIEN, E. & NEYRET, P. 2008. Relationship between the surgical epicondylar axis and the articular surface of the distal femur: an anatomic study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 16, 674-82.
- MAHFOUZ, M., ABDEL FATAH, E. E., BOWERS, L. S. & SCUDERI, G. 2012. Three-dimensional morphology of the knee reveals ethnic differences. *Clin Orthop Relat Res*, 470, 172-85.
- MAHONEY, O. M. & KINSEY, T. 2010. Overhang of the femoral component in total knee arthroplasty: risk factors and clinical consequences. *The Journal of Bone & Joint Surgery*, 92, 1115-1121.
- MANTAS, J. P., BLOEBAUM, R. D., SKEDROS, J. G. & HOFMANN, A. A. 1992. Implications of reference axes used for rotational alignment of the femoral component in primary and revision knee arthroplasty. *J Arthroplasty*, 7, 531-5.
- MATSUDA, S., MATSUDA, H., MIYAGI, T., SASAKI, K., IWAMOTO, Y. & MIURA, H. 1998. Femoral condyle geometry in the normal and varus knee. *Clin Orthop Relat Res*, 183-8.
- MATSUDA, S., MIURA, H., NAGAMINE, R., MAWATARI, T., TOKUNAGA, M., NABEYAMA, R. & IWAMOTO, Y. 2004. Anatomical analysis of the femoral condyle in normal and osteoarthritic knees. *J Orthop Res*, 22, 104-9.

- MATZIOLIS, G., ADAM, J. & PERKA, C. 2010. Varus malalignment has no influence on clinical outcome in midterm follow-up after total knee replacement. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*, 130, 1487-1491.
- MILLER, M. C., BERGER, R. A., PETRELLA, A. J., KARMAS, A. & RUBASH, H. E. 2001. Optimizing femoral component rotation in total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res*, 38-45.
- MOCHIZUKI, R. M. & SCHURMAN, D. J. 1979. Patellar complications following total knee arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am*, 61, 879-83.
- MURRAY, P. B. & RAND, J. A. 1993. Symptomatic Valgus Knee: The Surgical Options. *J Am Acad Orthop Surg*, 1, 1-9.
- NAGAMINE, R., MIURA, H., BRAVO, C. V., URABE, K., MATSUDA, S., MIYANISHI, K., HIRATA, G. & IWAMOTO, Y. 2000. Anatomic variations should be considered in total knee arthroplasty. *J Orthop Sci*, 5, 232-7.
- NAGAMINE, R., MIURA, H., INOUE, Y., URABE, K., MATSUDA, S., OKAMOTO, Y., NISHIZAWA, M. & IWAMOTO, Y. 1998. Reliability of the anteroposterior axis and the posterior condylar axis for determining rotational alignment of the femoral component in total knee arthroplasty. *J Orthop Sci*, 3, 194-8.
- OLCOTT, C. W. & SCOTT, R. D. 1999. The Ranawat Award. Femoral component rotation during total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res*, 39-42.
- PAPE, D. & KOHN, D. 2007. Soft tissue balancing in valgus gonarthrosis. *Der Orthopäde*, 36, 657-666.
- PHILLIPS, M. I. & KRACKOW, K. A. 1999. Distal femoral varus osteotomy: indications and surgical technique. *Instr Course Lect*, 48, 125-9.
- POILVACHE, P. L., INSALL, J. N., SCUDERI, G. R. & FONT-RODRIGUEZ, D. E. 1996. Rotational landmarks and sizing of the distal femur in total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res*, 35-46.
- ROONEY, N., FITZPATRICK, D. P. & BEVERLAND, D. E. 2006. Intraoperative knee anthropometrics: correlation with cartilage wear. *Proc Inst Mech Eng H*, 220, 671-5.
- SHARKEY, P. F., HOZACK, W. J., ROTHMAN, R. H., SHASTRI, S. & JACOBY, S. M. 2002. Insall Award paper. Why are total knee arthroplasties failing today? *Clin Orthop Relat Res*, 7-13.
- SHEPPARD, S. & RUBASH, H. 1998. The use of the surgical epicondylar axis in total knee arthroplasty. *Operative Techniques in Orthopaedics*, 8, 168-173.
- SISTON, R. A., PATEL, J. J., GOODMAN, S. B., DELP, S. L. & GIORI, N. J. 2005. The variability of femoral rotational alignment in total knee arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am*, 87, 2276-80.
- TALBOT, S. & BARTLETT, J. 2008. The anterior surface of the femur as a new landmark for femoral component rotation in total knee arthroplasty. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 16, 258-62.
- TANAVALEE, A., YUKTANANDANA, P. & NGARMUKOS, C. 2001. Surgical epicondylar axis vs anatomical epicondylar axis for rotational alignment of the femoral component in total knee arthroplasty. *J Med Assoc Thai*, 84 Suppl 1, S401-8.
- VAN DAMME, G., DEFOORT, K., DUCOULOMBIER, Y., VAN GLABBEEK, F., BELLEMANS, J. & VICTOR, J. 2005. What should the surgeon aim for when performing computer-assisted total knee arthroplasty? *J Bone Joint Surg Am*, 87 Suppl 2, 52-8.

- VICTOR, J. 2009. Rotational alignment of the distal femur: a literature review. *Orthop Traumatol Surg Res*, 95, 365-72.
- VICTOR, J., VAN DONINCK, D., LABEY, L., VAN GLABBEEK, F., PARIZEL, P. & BELLEMANS, J. 2009. A common reference frame for describing rotation of the distal femur: a ct-based kinematic study using cadavers. *J Bone Joint Surg Br*, 91, 683-90.
- WATANABE, H., GEJO, R., MATSUDA, Y., TATSUMI, I., HIRAKAWA, K. & KIMURA, T. 2011. Femoral anterior tangent line of the osteoarthritic knee for determining rotational alignment of the femoral component in total knee arthroplasty. *J Arthroplasty*, 26, 268-73.
- WHITESIDE, L. A. & ARIMA, J. 1995. The anteroposterior axis for femoral rotational alignment in valgus total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res*, 168-72.
- WON, Y. Y., CUI, W. Q., BAEK, M. H., YUN, T. B. & HAN, S. H. 2007. An additional reference axis for determining rotational alignment of the femoral component in total knee arthroplasty. *J Arthroplasty*, 22, 1049-53.
- YIP, D. K., ZHU, Y. H., CHIU, K. Y. & NG, T. P. 2004. Distal rotational alignment of the Chinese femur and its relevance in total knee arthroplasty. *J Arthroplasty*, 19, 613-9.
- YOSHINO, N., TAKAI, S., OHTSUKI, Y. & HIRASAWA, Y. 2001. Computed tomography measurement of the surgical and clinical transepicondylar axis of the distal femur in osteoarthritic knees. *J Arthroplasty*, 16, 493-7.
- YOSHIOKA, Y., SIU, D. & COOKE, T. D. 1987. The anatomy and functional axes of the femur. *J Bone Joint Surg Am*, 69, 873-80.
- YUE, B., VARADARAJAN, K. M., AI, S., TANG, T., RUBASH, H. E. & LI, G. 2011. Differences of knee anthropometry between Chinese and white men and women. *J Arthroplasty*, 26, 124-30.



## 10. Danksagung

An erster Stelle möchte ich Herrn Prof. Dr. med. Rainer H. Burgkart danken, dass er mir dieses hochinteressante Thema anvertraut hat und ich die Studie durchführen durfte.

Des Weiteren danke ich ihm für die hervorragende Betreuung, sein Engagement und für die mir gewährten Freiräume bei der Durchführung der Arbeit. Er führte mich in das Themengebiet ein und lehrte mich die Prinzipien des selbstständigen wissenschaftlichen Arbeitens. Ich danke ihm für die vielen fachlichen Diskussionen, Ratschläge und für seine Unterstützung.

Weiterhin bedanken möchte ich mich bei:

Herrn Dr. rer. nat. Heiko Gottschling und Herrn Dr. rer. nat. Manuel Schröder für die wertvollen Ratschläge im Umgang mit dem Computer-Programm Stryker.

Herrn Dipl.-Statistiker Dr. rer. nat. Alexander Hapfelmeier für die hilfreichen Hinweise und die Anregungen bei der statistischen Auswertung.

Dem gesamten Team der Klinik für Orthopädie und Sportorthopädie für die gute und angenehme Zusammenarbeit.

Ein besonderer Dank gilt auch meinem Ehemann Timo Schweifel, welcher maßgeblich an der Fertigstellung der Arbeit beteiligt war.