

Aus dem Universitätsklinikum Münster
Institut für Rechtsmedizin
Direktorin: Univ.-Prof. Dr. med. Heidi Pfeiffer

Vergleichende Untersuchung zum zeitlichen Verlauf der Schlüsselbeinossifikation mittels
Projektionsradiographie und Computertomographie

INAUGURAL - DISSERTATION
zur
Erlangung des doctor medicinae
der Medizinischen Fakultät
der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster

vorgelegt von Hassu, Juan
aus Amouda (Syrien)
2016

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Westfälischen Wilhelms-
Universität Münster

Dekan: Univ.-Prof. Dr. med. M. Herrmann

Erster Berichterstatter: Prof. Dr. med. A. Schmeling

Zweiter Berichterstatter: Prof. Dr. med. B. Buerke

Tag der mündlichen Prüfung: 28.09.2016

Aus dem Universitätsklinikum Münster
Institut für Rechtsmedizin
-Direktorin: Univ.-Prof. Dr. med. Heidi Pfeiffer-
Referent: Prof. Dr. med. Andreas Schmeling
Koreferent: Prof. Dr. med. Boris Buerke

Zusammenfassung

Vergleichende Untersuchung zum zeitlichen Verlauf der Schlüsselbeinossifikation mittels Projektionsradiographie und Computertomographie
Hassu, Juan

In den letzten Jahren kam es in Europa und insbesondere in Deutschland zu einem deutlichen Anstieg der Asylanträge. Da viele Immigranten keine oder falsche Identitätsdokumente besitzen, stieg in diesem Zusammenhang auch die Zahl der erstatteten Altersgutachten. Die Notwendigkeit für einheitliche valide Methoden zur Altersdiagnostik hat eine große Bedeutung gewonnen. Zu diesen Methoden gehören unter anderem radiologische Bildgebungsverfahren. Die vergleichende Evaluation des Einsatzes von der Computertomographie und der Projektionsradiographie zur Bestimmung des zeitlichen Verlaufs der Schlüsselbeinossifikation und die daraus abgeleiteten Altersdiagnosen waren die Hauptintention der vorliegenden Studie. Mittels der beiden Verfahren wurden 355 Präparate der Sternoklavikularregion von 108 weiblichen und 247 männlichen Personen untersucht. Die Bestimmung des Ossifikationsgrads erfolgte anhand der Stadieneinteilung nach Schmeling et al.

Die Konkordanz des ermittelten Stadiums durch die beiden Modalitäten betrug 69 %. Es konnten sowohl Über- als auch Unterschätzungen des ermittelten Alters verzeichnet werden. Während computertomographisch bei 311 Präparaten der Ossifikationsgrad bestimmt werden konnte, konnte dies in der Projektionsradiographie aufgrund von Überlagerungseffekten nur bei 262 Präparaten erfolgen.

Aus den Ergebnissen dieser Studie kann geschlussfolgert werden, dass die Computertomographie aufgrund des fehlenden Summationseffektes als Goldstandard zu betrachten ist.

Tag der mündlichen Prüfung: 28.09.2016

Erklärung

Ich gebe hiermit die Erklärung ab, dass ich die Dissertation mit dem Titel:

**Vergleichende Untersuchung zum zeitlichen Verlauf der Schlüsselbeinossifikation
mittels Projektionsradiographie und Computertomographie**

im Institut für Rechtsmedizin des Universitätsklinikums Münster

unter Anleitung von Herrn Prof. Andreas Schmeling

1. selbständig angefertigt,
2. nur unter Benutzung der im Literaturverzeichnis angegebenen Arbeiten angefertigt und sonst kein anderes gedrucktes oder ungedrucktes Material verwendet
3. keine unerlaubte fremde Hilfe in Anspruch genommen,
4. sie weder in der gegenwärtigen noch in einer anderen Fassung einer in- oder ausländischen Fakultät als Dissertation, Semesterarbeit, Prüfungsarbeit, oder zur Erlangung eines akademischen Grades, vorgelegt habe.

Münster,

Abkürzungverzeichnis

AGFAD	Arbeitsgemeinschaft für Forensische Altersdiagnostik
AsylVfG	Asylverfahrensgesetz
AufenthG	Aufenthaltsgesetz
CT	Computertomographie
FOV	Field of view
kV	Kilovolt
m	männlich
mA	Milliampere
Max	Maximum
Min	Minimum
MW	Mittelwert
OQ	oberes Quartil
PR	Projektionsradiographie
SA	Standardabweichung
UQ	unteres Quartil
w	weiblich

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	6
1.1 Bedeutung der Altersdiagnostik	6
1.2 Die Arbeitsgemeinschaft für Forensische Altersdiagnostik	8
1.3 Altersdiagnostik im Strafverfahren.....	8
1.4 Altersdiagnostik im Zivilverfahren.....	10
1.5 Altersdiagnostik in ausländerrechtlichen Verfahren.....	10
1.6 Juristische Voraussetzungen für die Anwendung von Röntgenstrahlen.....	11
1.7 Methoden der Altersdiagnostik.....	13
1.7.1 Körperliche Untersuchung.....	13
1.7.2 Röntgenuntersuchung der Hand.....	16
1.7.3 Zahnärztliche Untersuchung.....	18
1.7.4 Bestimmung des Ossifikationsgrades der medialen Klavikulaepiphyse.....	19
1.8 Zielstellung.....	19
2. Material und Methoden	20
2.1 Präparate.....	20
2.2 Untersuchungstechnik.....	21
2.3 Statistische Auswertung.....	22
2.4 Analyse der Bilder.....	22
3. Ergebnisse	24
3.1 Analyse der Projektionsradiographiefnahmen.....	24
3.2 Statistische Maßzahlen in der Projektionsradiographie.....	24
3.3 Darlegung der einzelnen Stadien in der Projektionsradiographie.....	25
3.3.1 Stadium 1.....	25
3.3.2 Stadium 2.....	26
3.3.3 Stadium 3.....	27
3.3.4 Stadium 4.....	29
3.3.5 Stadium 5.....	31
3.4 Seitenunterschiede in der Projektionsradiographie	33
3.5 Geschlechtsunterschiede in der Projektionsradiographie	33
3.6 Analyse der CT-Aufnahmen.....	34
3.7 Statistische Maßzahlen in der Computertomographie	34
3.8 Darlegung der einzelnen Stadien bei der Computertomographie.....	35
3.8.1 Stadium 1.....	35
3.8.2 Stadium 2.....	35
3.8.3 Stadium 3.....	36
3.8.4 Stadium 4	38
3.8.5 Stadium 5	40
3.9 Seitenunterschiede in der Computertomographie	41
3.10 Geschlechtsunterschiede in der Computertomographie.....	42
3.11 Vergleich der Ergebnisse beider Modalitäten.....	43

4. Diskussion	46
4.1 Die Projektionsradiographie des Schlüsselbeines in der Literatur.....	46
4.2 Vergleich der projektionsradiographischen Studien mit der eigenen Untersuchung.	51
4.3 Zusammenfassung der bisherigen CT-Arbeiten.....	55
4.4 Vergleich der CT-Studien mit der eigenen Untersuchung.....	65
4.5 Bisherige Studien zum Modalitätenvergleich.....	69
4.6 Gegenüberstellung der eigenen Ergebnisse beider Modalitäten mit der Literatur	71
5. Fazit	74
6. Literaturverzeichnis	75
7. Danksagung	82
8. Lebenslauf	83

1. Einleitung

1.1 Bedeutung der Altersdiagnostik

Der Stellenwert der forensischen Altersdiagnostik hat in Europa und insbesondere in Deutschland in den letzten Jahrzehnten drastisch zugenommen. Durch Erweiterung der Europäischen Union und Reduzierung bzw. Ausfall der zwischenstaatlichen Grenzen unter den Mitgliedsstaaten kam es zu grenzüberschreitenden Migrationsbewegungen und einer erhöhten Anzahl an in Deutschland lebenden Ausländern (Abbildungen 1 und 2). UNHCR (United Nations High Commissioner for Refugees) warnt in seinem Bericht von 2014 vor einem weltweit rasanten Anstieg der Anzahl der Flüchtlinge. 59,5 Millionen Menschen waren 2104 auf der Flucht vor Verfolgung, Kriegen, und Konflikten. Im Jahr 2014 wurden weltweit täglich durchschnittlich 42.500 Menschen zu Flüchtlingen, Asylsuchenden oder Binnenvertriebenen. In der Europäischen Union wurden die meisten Asylanträge in Deutschland und Schweden gestellt. Insgesamt wurden mit Ende des letzten Jahres 6,7 Millionen Menschen gezählt, die unfreiwillig ihre Heimat verlassen mussten (UNHCR Global Trends 2014).

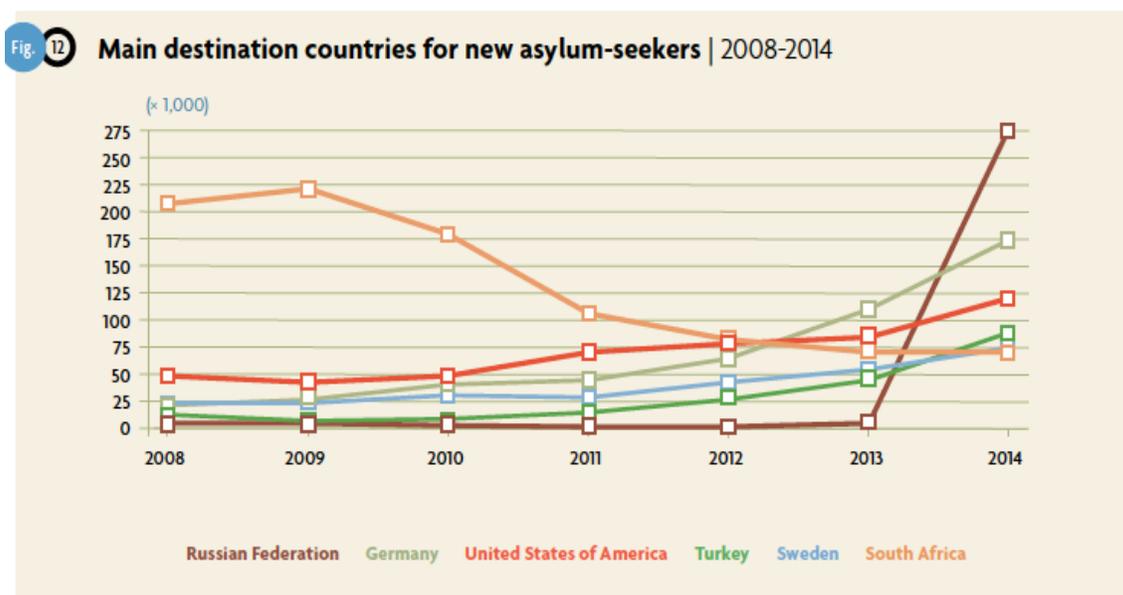


Abbildung 1: Die Hauptzielländer von Asylsuchenden bis 2014 (UNHCR 2015)

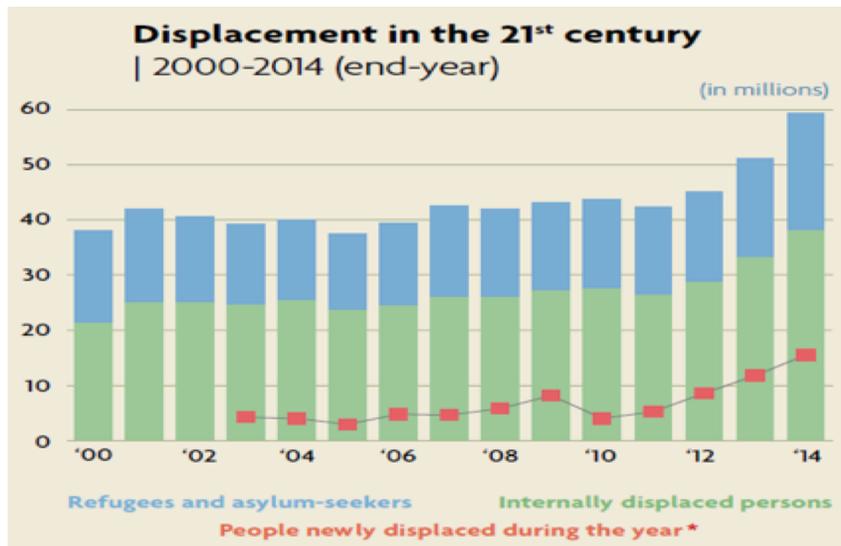


Abbildung 2: Wanderungsbewegungen im 21. Jahrhundert (UNHCR 2015)

Ein Problem, das mit den zunehmenden Migrationsbewegungen verknüpft ist, besteht darin, dass viele Immigranten keine oder falsche Identitätsdokumente besitzen. Im Hinblick auf diese Problematik spielt die Altersdiagnostik bei Jugendlichen und jungen Erwachsenen sowohl im Rahmen von Strafverfahren als auch in Zivil- und Asylverfahren eine sehr wichtige Rolle.

Durch den erheblichen Anstieg der Zahl der erstatteten Altersgutachten hat die Notwendigkeit an einer bundesweit einheitlichen validen Methode zur Altersdiagnostik eine große Bedeutung gewonnen. Die erste überregionale Auseinandersetzung über den Stand der forensischen Altersdiagnostik bei Lebenden war ein Teil des Programms des „X. Lübecker Gesprächs deutscher Rechtsmediziner“ im Dezember 1999. In der Folge hat sich die Arbeitsgemeinschaft für Forensische Altersdiagnostik (AGFAD) gegründet, die aus Rechtsmedizinern, Zahnärzten, Radiologen und Anthropologen besteht. Diese interdisziplinäre Einrichtung konstituierte sich am 10.03.2000 in Berlin und zählt zurzeit 123 Mitglieder aus Deutschland, Österreich, Frankreich, Großbritannien, den Niederlanden, Belgien, den USA, der Schweiz, Spanien, Aserbaidshans, Norwegen, Dänemark, Israel, Portugal, Griechenland und Italien.

1.2 Die Arbeitsgemeinschaft für Forensische Altersdiagnostik

Die Arbeitsgemeinschaft für Forensische Altersdiagnostik hat die Aufgabe, Leitlinien für die Erstattung von Gutachten zu entwickeln. Ziele dieser Vorgaben sind, das bisherige zum Teil unterschiedliche Vorgehen zu harmonisieren und eine Qualitätssicherung der Gutachten zu erreichen. Zu den Maßnahmen der Qualitätssicherung gehören weiterhin die Ringversuche, die jährlich von der Arbeitsgemeinschaft für Forensische Altersdiagnostik (AGFAD) veranstaltet werden. Die Zertifizierung der erfolgreichen Teilnahme erfolgt durch den Vorstand der Arbeitsgemeinschaft. Ferner definiert die AGFAD die Voraussetzungen, die zur Etablierung einer Referenzstudie benötigt werden. Dabei ist nicht nur eine angemessene Zahl der untersuchten Fällen, unter Beachtung der ausgewählten Ethnien und deren Altersverteilung, von einer größeren Bedeutung, sondern auch mehrere andere Anhaltspunkte, wie zum Beispiel die zuverlässigen Angaben über das Alter, eine homogen zur Untersuchung ausgesuchte Altersgruppe, Separation der Geschlechter, eine präzise Beschreibung der angewendeten Untersuchungen, eine klare Beschreibung der untersuchten Merkmale sowie die statistischen Parameter wie der Mittelwert und die Schwankungsbreite (Schmelting et al. 2001a).

1.3 Altersdiagnostik im Strafverfahren

Bei den Strafverfahren spielen das 14., 18. und 21. Lebensjahr eine juristisch relevante Rolle. Zur Frage der Strafmündigkeit ist gemäß § 19 Strafgesetzbuch das 14. Lebensjahr entscheidend. In diesem Paragraphen wird festgelegt, dass die Person, die bei Begehung der Tat unter dem vierzehnten Lebensjahr ist, zweifellos strafunmündig bleibt und damit straflos. Bezüglich des Einsatzes vom Erwachsenen bzw.- Jugendstrafrecht wurden die Altersgrenzen 18. und 21. Lebensjahr definiert. Nach § 1 Jugendgerichtsgesetz wird als Jugendlicher definiert, wer zurzeit der Tat vierzehn aber noch nicht 18 ist, und damit wird er nach dem Jugendstrafrecht beurteilt, als Heranwachsender, wer zur Zeit der Tat achtzehn, aber noch nicht einundzwanzig Jahre alt ist. Hier muss die Sittlichkeit und die geistige Reifung der Angeklagten analysiert werden, um eine Zuordnung treffen zu können.

Im Falle der Entscheidung, die Person als Erwachsenen einzuschätzen, orientiert sich das Urteil an dem allgemeinen Erwachsenen-Strafrecht (Kaatsch 2001, Parzeller 2010). Gemäß der Empfehlungen der Arbeitsgemeinschaft für Forensische Altersdiagnostik (AGFAD) sollten für die Altersdiagnostik im Strafverfahren unter Kenntnisnahme der ärztlichen und ethischen Aspekte eine körperliche Untersuchung mit Erfassung anthropometrischer Maße, der sexuellen Reifezeichen sowie möglicher altersrelevanter Entwicklungsstörungen, eine Röntgenuntersuchung der linken Hand sowie eine zahnärztliche Untersuchung mit Erhebung des Zahnstatus und Auswertung eines Orthopantomogramms eingesetzt werden. Bei abgeschlossener Handskelettentwicklung wird eine zusätzliche Röntgenuntersuchung beziehungsweise Computertomographie der Schlüsselbeine empfohlen (Schmeling et al. 2008). Zur Erhöhung der Aussagekraft und dem Ausschluss altersrelevanter Entwicklungsstörungen sollten alle genannten Methoden durchgeführt werden, wobei jede Teiluntersuchung von einem forensisch erfahrenen Spezialisten vorzunehmen ist. Die Ergebnisse der Teiluntersuchungen sind durch den koordinierenden Gutachter zu einer abschließenden Altersdiagnose zusammenzuführen (Schmeling et al. 2008).

1.4 Altersdiagnostik im Zivilverfahren

Die Bedeutung der Altersschätzung im Zivilrecht besteht darin, dass das Alter in Vormundschaftsangelegenheiten relevant ist (§§ 2, 1773 BGB). Dabei spielt die Altersgrenze von 18 Jahren für die Erreichung der Volljährigkeit eine ausschlaggebende Rolle, denn der Betroffene, der das 18. Lebensjahr vollendet hat, scheidet aus der Vormundschaft aus, da diese nur Minderjährige erfasst. Ebenso bedeutsam ist diese Altersgrenze in Pflegschafts- und Ergänzungspflegschaftsangelegenheiten (§§ 1909, 1915 BGB), denn die Vormundschaft beziehungsweise die elterliche Sorge setzt die Minderjährigkeit des Betroffenen voraus. Als Sonderfall kann die Vormundschaft trotz des Überschreitens des 18. Lebensjahres weiter gelten bei minderjährigen Flüchtlingen. Dieser Fall bezieht sich auf die juristischen Grundlagen des internationalen Privatrechts. Gemäß Art. 7, 24 des Einführungsgesetzes zum Bürgerlichen Gesetzbuch sollte die Volljährigkeit einer Person nach den Richtlinien des ursprünglichen Staates beurteilt werden (Parzeller 2010, Schmeling 2011).

1.5 Altersdiagnostik in ausländerrechtlichen Verfahren

In der Bundesrepublik Deutschland wird das Asylverfahren vom Asylverfahrensgesetz (AsylVfG) festgesetzt. Das juristisch relevante Alter ist im Asylverfahren das 16. Lebensjahr, denn nach § 12 Asylverfahrensgesetz gilt als handlungsfähig, wer das 16. Lebensjahr vollendet hat. Während § 15 AsylVfG die allgemeinen Mitwirkungspflichten des Asylsuchenden regelt, legt § 16 AsylVfG den gesetzlichen Rahmen zur Sicherung, Ermittlung und Prüfung der Identität fest. Dieses Gesetz erlaubt nur die Durchführung von Licht- und Irisbildern sowie die Speicherung von Fingerabdrücken und Sprachaufnahmen. Im Rahmen der Diagnostik übertragbarer Erkrankungen sind nach § 62 AsylVfG nur Röntgenaufnahmen der Atemorgane zulässig. Das zweite Gesetz, welches für die Altersdiagnostik im Ausländerrecht auch eine wichtige Rolle spielt, ist das Aufenthaltsgesetz (AufenthG). Dieses ist insbesondere bei der bundesweiten Verteilung von Asylbewerbern und für die Handlungsfähigkeit Minderjähriger mit der Vollendung des 16.

Lebensjahres von Bedeutung. Nach § 82 Abs. 1 AufenthG ist der Ausländer zur unverzüglichen Beibringung von Nachweisen, wie Altersgutachten, verpflichtet. § 49 AufenthG regelt die Maßnahmen, die bei Zweifeln über das Lebensalter getroffen werden sollten. Dazu gehören die Aufnahme von Lichtbildern, Messungen und ähnliche Maßnahmen (§ 49 Abs. 6 AufenthG). Zu dem letzten Punkt gehören auch körperliche Eingriffe, die von einem Arzt nach den Regeln der ärztlichen Kunst zum Zweck der Feststellung des Alters vorgenommen werden, wenn kein Nachteil für die Gesundheit des Ausländers zu befürchten ist. Die Maßnahmen sind zulässig bei Ausländern, die das 14. Lebensjahr vollendet haben; Zweifel an der Vollendung des 14. Lebensjahres gehen dabei zu Lasten des Ausländers. Zur Feststellung der Identität sind diese Maßnahmen nur zulässig, wenn die Identität in anderer Weise, insbesondere durch Anfragen bei anderen Behörden, nicht oder nicht rechtzeitig oder nur unter erheblichen Schwierigkeiten festgestellt werden kann (§ 49 Abs. 6 S. 1 AufenthG). Der Einsatz von Röntgenuntersuchungen wird in der Gesetzesbegründung ausdrücklich als einer dieser körperlichen Eingriffe angesprochen. Darüber hinaus soll sich, nach dem Gesetzgeber, die Rechtsgrundlage der körperlichen Eingriffe an § 81a StPO orientieren (Parzeller 2010, Schmeling 2011).

1.6 Juristische Voraussetzungen für die Anwendung von Röntgenstrahlen

Die Durchführung von Röntgenuntersuchungen ist in der Bundesrepublik Deutschland durch die Röntgenverordnung (RöV) geregelt. Nur das Vorhandensein von einer medizinischen Indikation oder durch den Gesetzgeber geregelte Fälle lassen die Anwendung von ionisierenden Strahlen am Menschen gemäß § 25 Abs. 1 zu. Bei fehlender medizinischer Indikation im Rahmen der forensischen Altersschätzung können solche Verfahren dann nur auf gesetzlicher Grundlage erfolgen. Ein Beispiel diesbezüglich ist die Zulässigkeit des Einsatzes von Röntgenstrahlen auf der Basis des § 81a der Strafprozessordnung bei Personen, gegen die strafrechtliche Verfahren eingeleitet sind. Vorausgesetzt ist der Ausschluss von möglichen gesundheitlichen Nachteilen für die zu untersuchenden Personen. § 49 des Aufenthaltsgesetzes regelt die Erlaubnis des Einsatzes von ionisierende Strahlen bei Landfremden im Rahmen der forensischen Lebensalters-

diagnostik. Dagegen ist die Benutzung dieses Verfahrens im Zusammenhang mit dem Asylverfahren gesetzlich nicht erlaubt. Kontrovers diskutiert bleibt es bei den unbegleiteten Minderjährigen, die in den entsprechenden Einrichtungen aufgenommen sind und einen Antrag auf Sozialleistungen gestellt haben. Nach § 62 SGB I ist bei Verdacht auf eine Fehleinschätzung des angegebenen Alters eine medizinische Prüfung zugelassen. Die Möglichkeit einer Strahlenexposition in diesem Zusammenhang ist juristisch umstritten (Parzeller 2010, Schmeling 2011). Die Anwendung von Röntgenstrahlen wird im Rahmen der Zivilverfahren (u.a. Familienrecht und Vormundschaftsangelegenheiten) im Allgemeinen als unzulässig angesehen. Auch wenn der Betroffene oder sein Vormund in die radiologische Altersdiagnostik einwilligen würden, bleibt dies juristisch im Sinne von § 25 Abs. 1 S. 1 RöV trotzdem problematisch.

1.7 Methoden der Altersdiagnostik

Die von der AGFAD empfohlenen und zur Verfügung stehenden Strategien zur Ermittlung des Alters werden nachfolgend ausführlich dargelegt:

1.7.1 Körperliche Untersuchung

Die körperliche Untersuchung zur Bestimmung des Alters beachtet die anthropometrischen Größen. Dazu gehören die Körperlänge, das Körpergewicht und der Körperbautyp. Zudem werden die sichtbaren Merkmale des sexuellen Reifezustandes berücksichtigt. Bei männlichen Personen sind diese der Reifeprozess von Penis, Hodensack, Schambehaarung, Achselhöhlenbehaarung, Bartwuchs und Kehlkopfprominenz. Bei Mädchen werden die Brustentwicklung, Schambehaarung, Achselhöhlenbehaarung und Hüftform in die Beurteilung eingeschlossen (Schmeling et al. 2004a). In der Regel werden die Stadieneinteilungen nach Tanner (1962) für die Genitalentwicklung, Brustentwicklung und Schambehaarung verwendet. Durch die Stadien-einteilung nach Neyzi et al. (1975) können die Achselhöhlenbehaarung, der Bartwuchs und die Kehlkopfentwicklung bestimmt werden. Flügel et al. (1986) haben die sexuelle Reifeentwicklung des menschlichen Körpers in das infantile, erste puberale, zweite puberale und mature Stadium eingeteilt. Jede Phase ist durch bestimmte sexuelle Reifemerkmale charakterisiert und einem bestimmten Zeitfenster zugeordnet (Tab. 1 und 2).

Auch wenn die Ermittlung der sexuellen Reifeentwicklung aufgrund ihrer ausgeprägten Vielfältigkeit eines des unpräzisen Verfahrens ist und daher nur in Kombination mit der Auswertung der Skelettreifung und der Zahnentwicklung eingesetzt werden sollte, spielt die körperliche Untersuchung in diesem Zusammenhang dennoch eine unerlässliche Rolle zum Nachweis von Erkrankungen, die möglicherweise den Reifeprozess beeinflussen und dadurch zu Fehlinterpretationen des eingeschätzten Alters führen können. Eine Reihe von Erkrankungen, wie die Pubertas praecox, das Adrenogenitale Syndrom und die Hyperthyreose, können den Reifeprozess im Sinne von schnellerer Entwicklung verstärken und folglich eine Altersüberschätzung herbeiführen. Das ist natürlich für die untersuchten

Personen in den Strafprozessen ein Nachteil. Im Gegensatz dazu gibt es Erkrankungen, die eine Retardierung der Organentwicklung verursachen können, was dazu führen könnte, das Alter der zu untersuchenden Person zu unterschätzen.

Zusammengefasst kann die körperliche Untersuchung verschiedene endokrinologische Erkrankungen und ihre Erscheinungssymptome, beispielsweise Riesenwuchs, Kleinwuchs, Akromegalie, Virilisierungserscheinungen bei Mädchen oder Exophthalmus nachweisen (Schmeling 2011), daher ist die körperliche Untersuchung unabdingbar, da nur dadurch mögliche äußerliche altersrelevante Krankheitsbilder auszuschließen sind.

Tabelle 1: Phasen der sexuellen Reifeentwicklung bei Jungen nach Flügel et al. (1986)

Anatomische Strukturen	Phasen (Alter)			
	Infantile Phase (Bis 12 Jahre)	Erste puberale Phase (12-14 Jahre)	Zweite puberale Phase (14-17 Jahre)	Mature Phase (Ab 17 Jahre)
Penis	Klein, konisch geformt	Vermehrtes Längenwachstum, dünn, gestreckt	Gesteigertes Dickenwachstum, beginnende Pigmentierung	Walzenförmig, Pigmentierung ausgeprägt, Eichel abgesetzt
Hodensack	Kuppelförmig, straff, Hoden kleiner als Haselnussgröße	Beutelförmig, schlaffer, Hoden bis Haselnussgröße	Beutelförmig, Fältelung, Hoden bis Kirschengröße	Sackförmig, starke Fältelung, Pigmentierung, Hoden bis Walnussgröße
Scham-behaarung	Keine Behaarung (Lanugo)	Beginnende Behaarung, zunehmend dichter, Kräuselung	Dichtes Haarfeld, auch seitlich	Dichtes, stark gekräuseltes Haarfeld, vertikal begrenzt
Achselhöhlen-behaarung	Keine Behaarung (Lanugo)	Beginnende Behaarung	Lichter, leicht gekräuseltes Haarfeld	Dichteres, stärker gekräuseltes Haarfeld, Pigmentation
Kehlkopf	Schild- und Ringknorpel nicht ausgeprägt	Schild- und Ringknorpel beginnend prominent	Schild- und Ringknorpel zunehmend prominent	Ausgeprägte Prominenz von Schild- und Ringknorpel

Tabelle 2: Phasen der sexuellen Reifeentwicklung bei Mädchen nach Flügel et al. (1986)

Anatomische Strukturen	Phasen (Alter)			
	Infantile Phase (Bis 11 Jahre)	Erste puberale Phase (11-13 Jahre)	Zweite puberale Phase (13-16 Jahre)	Mature Phase (Ab 16 Jahre)
Brust	Drüsengewebe fehlt (evtl. Knospe)	Drüsenwachstum, Knospenbrust	Rundung, beginnende Pigmentierung der Mamille	Reife Form, pigmentierte Mamille, differenzierte Papille
Scham-behaarung	Keine Behaarung (Lanugo)	Beginnende Behaarung, zunehmend dichter, Kräuselung	Dichtes Haarfeld, auch seitlich	Dichtes, stark gekräuselttes Haarfeld, horizontal begrenzt
Hüfte	Kindliche Form	Übergang zur weiblichen Hüftform	Übergang zur weiblichen Hüftform	Weibliche Hüftform ausgebildet
Achselhöhlen-behaarung	Keine Behaarung (Lanugo)	Beginnende Behaarung	Lichter, leicht gekräuselttes Haarfeld	Dichteres, stärker gekräuselttes Haarfeld

Der Einfluss der Ethnie auf die sexuelle Reifeentwicklung

Ein anderer Aspekt, der in diesem Rahmen erwähnt werden sollte, ist der Einfluss der Ethnie auf die sexuelle Reifeentwicklung, insbesondere bei unterschiedlichen Herkünften der im deutschsprachigen Raum zu begutachtenden Personen. In einigen Studien über Kaukasier, Mongolide und Afrikaner wurde eine ähnliche sexuelle Reifeentwicklung in bestimmten Stadien nachgewiesen (Harlan et al. 1979, 1980, Wong et al. 1996, Huen et al. 1997). Andere Studien zeigten gewisse Unterschiede, hier nur als Beispiel zu berichten ist die Studie von Channing-Pearce & Solomon (1987). Dabei wurde die sexuelle Reifeentwicklung bei 362 schwarzen und 355 weißen Mädchen in Johannesburg, Südafrika ausgewertet. Die schwarzen Mädchen erreichten die volle sexuelle Reife im Durchschnitt später als die weißen Mädchen.

1.7.2 Röntgenuntersuchung der Hand

Die röntgenologischen Aufnahmen der Hand werden nicht nur in der Diagnostik von möglichen Erkrankungen, die den Reifeprozess betreffen können, angewendet (Graham 1972, Harnack 1974, Heinrich 1986), sondern auch als eins der wichtigen in der forensischen Altersdiagnostik eingesetzten und von der AGFAD empfohlenen Verfahren.

Aufgrund der hohen Anzahl an sekundären Ossifikationszentren der Hand hat die Beurteilung des Handskelettes im Rahmen der Altersdiagnostik eine wesentliche Rolle, denn die Entwicklung dieser Zentren ist während der gesamten Kindheit für eine aussagekräftige Auswertung geeignet. Eine wichtige Vorbedingung für die radiologische Altersdiagnostik der Hand ist eine körperliche Untersuchung zum Ausschluss möglicher Erkrankungen, die die Skelettentwicklung beeinflussen (Schmelting 2011). Die Altersdeterminierung bei der Auswertung der Röntgenbilder basiert auf der Gestalt und dem Ausmaß der einzelnen Knochenteile sowie dem Ossifikationsstand der Handknochenepiphysen.

Der erste Atlas zur morphologischen Skelettreifebeurteilung wurde von Poland (1898) herausgegeben. Grundsätzlich bestehen zwei Möglichkeiten zur Beurteilung der aufgenommenen Bilder. Zum einen können die Röntgenaufnahmen mit den in einem Atlas dargestellten Bilder verglichen werden, dabei sollte auf das jeweilige Alter und Geschlecht geachtet werden. Zum Praktizieren dieses Vorgehens liegen diverse Atlanten vor (Greulich und Pyle 1959, Gilsanz und Ratib 2005, Thiemann et al. 2006). Zum anderen kann man den Verknöcherungsprozess der verschiedenen Knochenanteile der Hand auswerten. Diesbezüglich stehen auch mehrere Arbeiten zu Verfügung (Roche et al. 1988, Tanner et al. 1975, 2001). Bezüglich der Frage, welche der beiden Methoden bei der Schätzung des chronologischen Alters zu präferieren ist, schlussfolgerten mehrere Studien, dass die Beurteilung der gesamten Hand durch den Vergleich mit den verfügbaren Atlanten (Thiemann et al. 2006 bzw. Pyle und Greulich 1959) für die forensische Altersschätzung angemessen ist (Schmidt et al. 2010).

Eine der aktuellen Studien, die diese Methoden gegenüber gestellt hat, war die Arbeit von Schmidt et al. (2013). Ziel dieser Studie war, durch den Vergleich der Atlasmethode mit der so genannten Einzelknochenmethode, das geeignetste Verfahren zur forensischen Altersschätzung zu ermitteln. Es wurde retrospektiv die Auswertung von Röntgenbildern der linken Hand von 48 Jungen und 44 Mädchens, deren Alter zwischen 12 und 16 lag, durchgeführt. Fälle, in denen sich mögliche Hinweise auf Wachstumsstörungen herausgestellt haben, wurden ausgeschlossen. Die digitalisierten Bilder wurden dann ohne Kenntnis des Alters der untersuchten Personen von zwei in diesem Bereich erfahrenen Untersuchern anhand der Atlanten von Thiemann et al. (2006), Greulich und Pyle (1959), Gilsanz und Ratib (2005) sowie Roche et al. (1988) beurteilt, wobei einer der Untersucher die Auswertung nach dreimonatigem Intervall wiederholt hat. Ziel der statistischen Auswertung war einerseits die Beurteilung der Genauigkeit der unterschiedlichen Verfahren, andererseits die Ermittlung der Rolle des Untersuchers in der Altersdiagnostik der aufgenommenen Bilder. Ein Vorteil der Einzelknochenmethode gegenüber der Atlasmethode konnte nicht festgestellt werden. Zusammengefasst präferiert die Studie den Einsatz von Atlanten, anhand deren die gesamte Hand ausgewertet wird.

Der Einfluss der Ethnie auf die Skelettreifung

Die Ethnien, die in den Referenzstudien zur Bestimmung der Skelettreife untersucht worden sind, waren hauptsächlich weiße Amerikaner sowie Populationen aus Mittel- und Nordeuropa (Greulich und Pyle 1959, Roo und Schröder 1976, Tanner et al. 1975, Thiemann und Nitz 1991). Da aber die zu untersuchenden Personen in der Regel aus anderen Regionen bzw. Ethnien stammen, für die keine verlässlichen Referenzdaten vorhanden sind, wurde die Möglichkeit der Anwendung dieser Referenzdaten auf alle anderen ethnischen Gruppen kontrovers diskutiert. Es folgte eine Reihe von Studien, die gezeigt haben, dass die ermittelten Stadien für die Skelettreifung in der Referenzgruppe auch auf andere ethnische Gruppen angewendet werden können (Schmelting et al. 2000, 2001b).

1.7.3 Zahnärztliche Untersuchung

Die Zahnaltersbestimmung ist ein wichtiger Teil der im Rahmen der Altersdiagnostik eingesetzten Methoden.

Die beiden wichtigsten Faktoren, die bei der Beurteilung des Zahnalters bei Jugendlichen und jungen Erwachsenen in Erwägung gezogen werden, sind der Zahndurchbruch und die Zahnmineralisation der dritten Molaren. Zur Bestimmung der Zahnmineralisation wird ein Orthopantomogramm benötigt. Die Beurteilung kann durch verschiedene Stadieneinteilungen (Gleiser und Hunt 1955, Demirjian et al. 1973, Gustafson und Koch 1974, Harris und Nortje 1984, Kullman et al. 1992) erfolgen. Dabei hat sich die Einteilung nach Demirjian et al. (1973) als am geeignetsten erwiesen, da diese auf der Veränderung der Form und nicht auf der Schätzung von Längen basiert (Olze et al. 2004, 2005). Für die Beurteilung des Zahndurchbruchs kommt die Stadieneinteilung nach Olze et al. (2007) zur Anwendung. Hier werden Stadien des alveolären Durchbruchs, des gingivalen Durchbruchs und des Erreichens der Kauebene definiert. Der Nachweis der letzten erwähnten Stadien kann durch eine Besichtigung der Mundhöhle erfolgen.

Der Einfluss der Ethnie auf die Zahnentwicklung

Welchen Einfluss die Ethnie auf die Zahnmineralisation der dritten Molaren hat, wurde im Rahmen einer Studie von Olze et al. (2004) untersucht. Anhand von Orthopantomogrammen wurde der Mineralisationsstatus der Weisheitszähne in drei verschiedenen Ethnien (Deutsche, Japaner und Südafrikaner) verglichen. Da statistisch signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen gezeigt werden konnten, wurde die Verwendung von populationsspezifischen Referenzen empfohlen. Analog zu der Studie von 2004 haben Olze et al. (2007) den Einfluss der Ethnie auf die Eruption der Weisheitszähne untersucht. Es wurden insgesamt 2.482 Panoramaschicht-aufnahmen aus den drei Ethnien ausgewertet. Auch hier konnten statistisch signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Populationen verzeichnet werden, so dass zur forensischen Altersdiagnostik populationsspezifische Referenzen benötigt werden.

1.7.4 Bestimmung des Ossifikationsgrades der medialen Klavikulaepiphyse

Die Bedeutsamkeit dieser Methode zeigt sich im Hinblick auf die Frage sowohl nach der Vollendung des 18. als auch des 21. Lebensjahrs. Da die anderen untersuchten Elemente zu diesem Zeitpunkt in der Regel ausgereift sind, ist die Beurteilung des Ossifikationszustandes der klavikularen Wachstumsfuge unabdingbar (Schmelting et al. 2004a).

Die wesentlichen radiologischen Bildgebungsverfahren, die in den verschiedenen Studien zur Ermittlung des Ossifikationsgrades eingesetzt wurden, waren die Projektionsradiographie, die Computertomographie, der Ultraschall und kürzlich auch die Magnetresonanztomographie.

1.8 Zielstellung

Der Einsatz von den verschiedenen Bildgebungsverfahren in der Altersdiagnostik hat sich mittlerweile großflächig etabliert. Die Bestimmung des Ossifikationsgrades der brustbeinnahen Wachstumsfuge des Schlüsselbeins spielt zur Abklärung der Vollendung des 18. und des 21. Lebensjahres eine sehr wichtige Rolle. Zur Ermittlung des Verknöcherungsgrades stehen aktuell mehrere Modalitäten zur Verfügung. In dem Zusammenhang befinden sich in der Literatur mehrere Arbeiten, die allerdings nur ein Bildgebungsverfahren untersucht haben. Es gibt wenige Studien (Schulz et al. 2008, Vieth et al. 2010), die diese Modalitäten untereinander verglichen haben. Diese Studien wurden allerdings nur mit geringen Fallzahlen durchgeführt.

Ziel der aktuellen Studie war einerseits die Bestimmung des Zeitfensters der Verknöcherung der medialen Klavikulaepiphyse anhand der beiden Bildgebungsverfahren (Computertomographie und Projektionsradiographie), andererseits wurde untersucht, ob die ermittelten Stadien in den beiden Modalitäten miteinander im Einklang stehen. Dazu wurden Präparate von Sternoklavikulargelenken sowohl durch die Computertomographie als auch durch die Projektionsradiographie untersucht und der Ossifikationsgrad anhand der Stadieneinteilung nach Schmelting et al. (2004b) ausgewertet. Die bestimmten Stadien in den beiden Bildgebungsverfahren wurden dann miteinander verglichen.

2. Material und Methoden

2.1 Präparate

Die im Zeitraum von 2003 bis 2011 bei Obduktionen entnommenen 355 Präparate der Sternoklavikularregion von 108 weiblichen und 247 männlichen Individuen der Altersgruppe 16 bis 28 Jahre wurden sowohl anhand der Computertomographie als auch mittels Projektionsradiographie untersucht. Die Tabelle 3 zeigt die Altersverteilung der untersuchten Stichprobe. Es konnten insgesamt 262 Röntgenaufnahmen und 311 CT-Bilder in die Statistik eingeschlossen werden.

Mit einem Abstand von ca. 10 cm seitlich des Sternoklavikulargelenks wurden die beiden Schlüsselbeine abgetrennt. Die Sternoklavikulargelenkpräparate wurden nach der Entnahme unter Luftabschluss in Plastikfolien eingeschweißt, eingefroren und bei -20° C gelagert. Zur Identifizierung der Präparate wurden sie mit einer Nummer anonymisiert.

Die Schlüsselbeine entstammten dem Sektionsgut der Institute für Rechtsmedizin von Berlin, Dortmund, Essen, Frankfurt, Hamburg und Münster. Bei der Auswertung wurde darauf geachtet, dass die Präparate Personen entstammten, bei denen eine Wachstumsstörung ausgeschlossen wurde. Dies wurde anhand der durchgeführten Obduktion bestätigt. Zudem wurden die Sternoklavikulargelenke, die bei der Auswertung Frakturen oder ähnliche Defekte aufwiesen, von der Auswertung ausgeschlossen.

Tabelle 3: Altersverteilung der Stichprobe*N: Fallzahl*

Alter (Jahre)	N (männlich)	N (weiblich)	N (gesamt)	Anteil in %
16	12	5	17	4,7
17	8	4	12	4,5
18	19	9	28	7,8
19	17	8	25	7
20	20	7	27	7,6
21	15	13	28	7,8
22	21	11	32	9
23	25	11	36	10,1
24	24	8	32	9
25	18	9	27	7,6
26	29	6	35	9,8
27	24	6	30	8,4
28	15	11	26	7,3
Summe	247	108	355	

2.2 Untersuchungstechnik

Bei den durchgeführten Röntgenaufnahmen wurde die Einstellung für Klavikulaaufnahmen benutzt. Die Spannung lag bei 70 kV, bei Präparaten von besonders jungen Probanden wurde die Spannung auf bis zu 60 kV reduziert. Es wurde mit der automatischen Belichtungskammer gearbeitet. Die CT-Scans wurden mit einem 40-Zeiler MDCT-System (Somatom Sensation 40 Siemens) mit den folgenden technischen Einstellungen durchgeführt: 120 Kv, 90 mAs, FOV: 200 x 200, pixel spacing: 0,39 x 0,39, Window: Inner Ear, Kernel: B70s. Die Schichtdicke betrug in allen Fällen 0,6 mm.

2.3 Statistische Auswertung

Die Zielparmeter der statistischen Auswertung waren die folgenden Maßzahlen: der arithmetische Mittelwert, die Standardabweichung, die 25er, 50er und 75er Perzentile sowie das Minimum und Maximum des jeweiligen Stadiums.

Zur Beurteilung eines signifikanten Unterschiedes zwischen den beiden Seiten des Schlüsselbeines wurde der Wilcoxon-Test, zwischen den beiden Geschlechtern der Mann-Whitney-U-Test angewendet (Signifikanz bei $p < 0,05$).

2.4 Analyse der Bilder

Mithilfe der 5-stufigen Einteilung der Ossifikation der medialen Klavikulaepiphyse nach Schmeling et al. (2004b) wurden sowohl die Projektionsradiographie-Aufnahmen als auch die Computertomographie-Bilder ausgewertet. Die Ossifikationstadien sind folgendermaßen definiert:

- Stadium 1: Die Epiphyse ist noch nicht verknöchert.
- Stadium 2: Das Ossifikationszentrum ist in der medialen Klavikulaepiphyse zu erkennen, aber die Verknöcherung des epiphysialen Knorpels ist nicht nachzuweisen.
- Stadium 3: Partielle Verschmelzung der Epiphyse mit der Klavikulametaphyse.
- Stadium 4: Vollständige Verschmelzung. Die Epiphysennarbe ist aber noch sichtbar.
- Stadium 5: Komplette Verschmelzung der Epiphyse und die Epiphysennarbe ist nicht mehr zu sehen.

Die Ermittlung der Ossifikationsstadien wurde von zwei erfahrenen Untersuchern und mir ausgeführt. Sowohl bei den CT-Aufnahmen als auch bei den konventionellen Röntgenaufnahmen wurden die jeweiligen Seiten getrennt beurteilt. Bei der statistischen Auswertung wurde allerdings jeweils das höhere Stadium verwendet. Die Abbildung 3 zeigt eine schematische Darstellung der einzelnen Stadien.

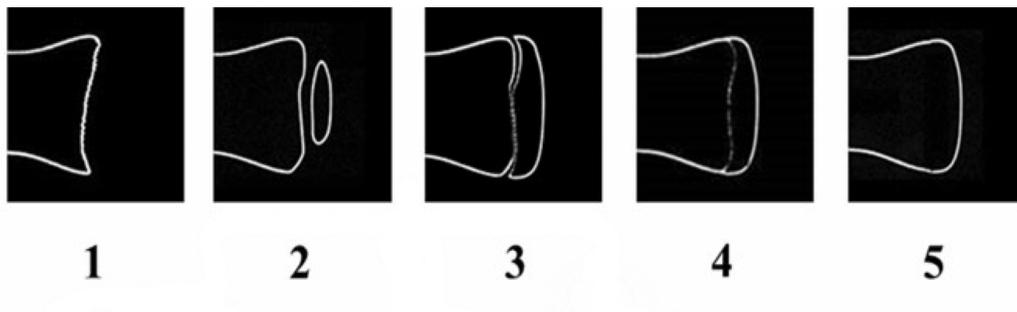


Abbildung 3: Schematische Darstellung der Ossifikationsstadien der medialen Klavikula (Wittschieber et al. 2014)

3. Ergebnisse

3.1 Analyse der Projektionsradiographieaufnahmen

Die selben Präparaten, die mittels einer Computertomographie eingescannt worden sind, wurden in einer posterior-anterioren Ebene geröntgt und anhand der Schmelzing-Klassifikation ausgewertet. Von den 355 Präparaten konnte bei 262 mindestens auf einer Seite das Stadium bestimmt werden.

3.2 Statistische Maßzahlen in der Projektionsradiographie

In der Tabelle 4 sind die Parameter Minimum, Maximum, der Mittelwert mit Standardabweichung, das obere und untere Quartil sowie der Medianwert aufgeführt. In 63 Fällen war die Bestimmung der Stadien nur an einer Seite möglich.

Tabelle 4: Die statistischen Parameter für die Stadien 1-5 in der Projektionsradiographie

Min: Minimum, Max: Maximum, MW: Mittelwert, SA: Standardabweichung, UQ: unteres Quartil, OQ: oberes Quartil

Stadium	Geschlecht	Fallzahl	Min – Max	MW ± SA	UQ; Median; OQ
1	m	1	16,0	-	-
	w	0	-	-	-
2	m	3	17,9 – 19,6	18,7 ± 0,9	18,5; 17,9; 19,6
	w	1	16,0	-	-
3	m	112	16,1 – 28,4	21,6 ± 2,8	21,6; 19,5; 23,7
	w	48	16,4 – 25,3	20,5 ± 2,4	20,2; 18,8; 22,4
4	m	25	22,5 – 28,8	25,7 ± 1,7	25,9; 24,2; 26,9
	w	22	21,1 – 26,4	23,3 ± 1,4	22,9; 22,3; 24,2
5	m	34	26,0 – 28,6	27,4 ± 0,8	27,4; 26,7; 28,2
	w	16	26,3 – 28,9	27,7 ± 1,0	27,7; 26,5; 28,7
Summe		262			

3.3 Darlegung der einzelnen Stadien in der Projektionsradiographie

3.3.1 Stadium 1

Dieses Stadium wurde nur bei einem 16-jährigen Jungen beobachtet (Abbildung 4).



Abbildung 4: Stadium 1

3.3.2 Stadium 2

Es befanden sich in diesem Stadium ein 16-jähriges Mädchen sowie 3 Jungen jeweils mit einem Alter von 17, 18 und 19 Jahren (Tab. 5). Bei der 18-jährigen Person war die Bestimmung des Stadium an einer Seite nicht sicher möglich. Die Abbildung 5 zeigt, dass eine Verknöcherung der Epiphysenfuge fehlt.

Tabelle 5: Verteilung des Alters im Stadium 2 (Projektionsradiographie) bei Frauen und Männern

Alter (Jahre)	Anzahl (männlich)	Anzahl (weiblich)
16	0	1
17	1	0
18	1	0
19	1	0
Summe	3	1

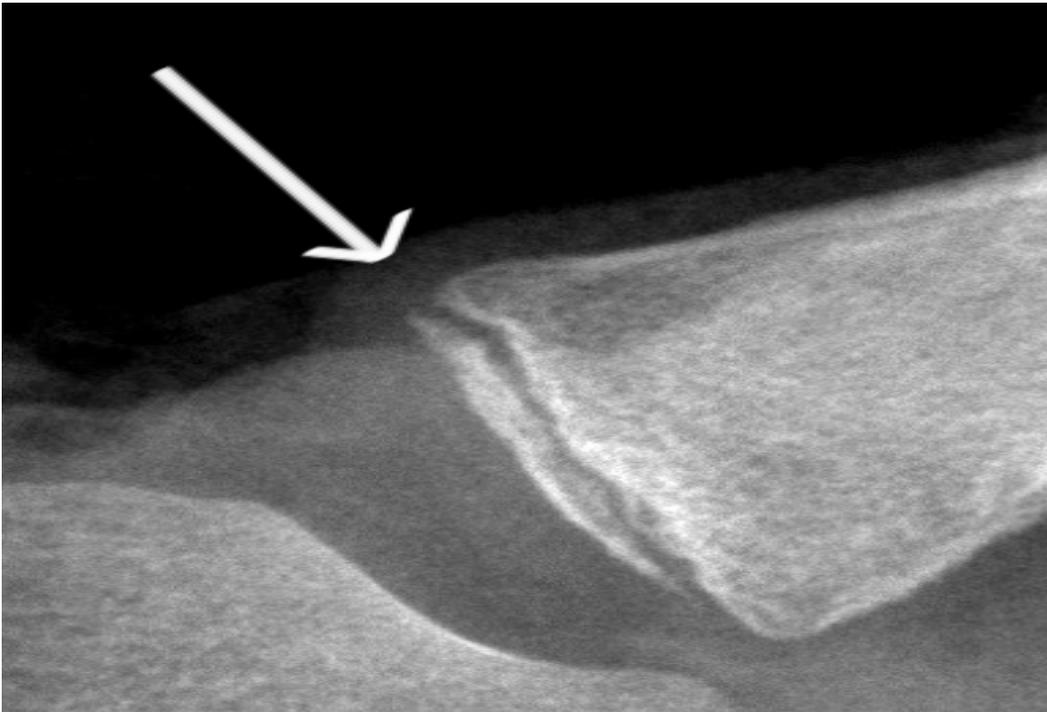


Abbildung 5: Stadium 2. Der Pfeil zeigt die nicht ossifizierte Epiphysenfuge

3.3.3 Stadium 3

In der weiblichen Gruppe lag das Zeitfenster des Stadiums 3 zwischen dem 16. und 25. Lebensjahr. Die Tabellen 6 und 7 zeigen die Verteilung der Präparate im Hinblick auf das Alter für das jeweilige Geschlecht. In den 48 Fällen gab es 6 Präparaten, bei denen die Bestimmung des Stadiums nur an einer Seite möglich war. Die männliche Gruppe setzte sich zusammen aus 112 Präparaten, deren Alter zwischen 16 und 28 Jahre lag. Hier war der Anteil der Präparate, bei denen das Stadium nur an einer Seite bestimmbar war, bei 31 % (35 Präparate). Zusammenfassend bildete dieses Stadium mit insgesamt 159 Schlüsselbeinen etwa 60 % der gesamten mittels einer Projektionsradiographie auswertbaren Präparate. In der Abbildung 6 wurde die partielle Verschmelzung der Epiphyse mit der Metaphyse dargestellt.

Tabelle 6: Verteilung des Alters im Stadium 3 (Projektionsradiographie) bei Frauen

Alter (Jahre)	Anzahl	%
16	4	8,3
17	4	8,3
18	7	14,5
19	7	14,5
20	7	14,5
21	6	12,5
22	2	4,1
23	7	14,5
24	2	4,1
25	2	4,1
Summe	48	

Tabelle 7: Verteilung des Alters im Stadium 3 (Projektionsradiographie) bei Männern

Alter (Jahre)	Anzahl	%
16	7	6,2
17	5	4,4
18	9	8
19	12	10,7
20	16	14,2
21	11	9,8
22	14	12,5
23	14	12,5
24	11	9,8
25	6	5,3
26	3	2,6
27	2	1,7
28	2	1,7
Summe	112	



Abbildung 6: Stadium 3. Der Pfeil zeigt die partiell ossifizierte Epiphysenfuge

3.3.4 Stadium 4

Die Beurteilung der mittels einer Projektionsradiographie aufgenommenen Aufnahmen zeigte das Stadium 4 bei 25 Männern und 22 Frauen. Während das Alter der männlichen Personen zwischen 22 und 28 Jahre lag, wurde bei Frauen zwischen 21 und 26 Jahre das Stadium 4 gefunden. Die Verteilung des jeweiligen Alters ist in den Tabellen 8 und 9 dargestellt. Eine vollständige Verschmelzung der Epiphysenfuge mit der Epiphyse bei weiterhin nachweisbarer Epiphysennarbe zeigt die Abbildung 7.

Tabelle 8: Verteilung des Alters im Stadium 4 (Projektionsradiographie) bei Frauen

Alter (Jahre)	Anzahl	%
21	4	18,1
22	8	36,3
23	3	13,6
24	4	18,1
25	2	9
26	1	4,5
Summe	22	

Tabelle 9: Verteilung des Alters im Stadium 4 (Projektionsradiographie) bei Männern

Alter (Jahre)	Anzahl	%
22	1	4
23	3	12
24	6	24
25	4	16
26	5	20
27	3	12
28	3	12
Summe	25	



Abbildung 7: Stadium 4. Der Pfeil zeigt die Epiphysennarbe

3.3.5 Stadium 5

Bei 16 weiblichen und 34 männlichen Personen wurde das Stadium 5 nachgewiesen (Abbildung 8). In den beiden Geschlechtern lag das Zeitfenster des Auftretens einer kompletten Verschmelzung der Epiphyse bei nicht mehr nachweisbarer Narbe zwischen 26 und 28 Jahren. Während in der weiblichen Gruppe die Bestimmung des Stadiums an beiden Seiten in allen Präparaten möglich war, war dies in der männlichen Gruppe bei 30 Präparaten möglich (Tabellen 10 und 11).

Tabelle 10: Verteilung des Alters im Stadium 5 (Projektionsradiographie) bei Frauen

Alter (Jahre)	Anzahl	%
26	5	31,2
27	4	25
28	7	43,7
Summe	16	

Tabelle 11: Verteilung des Alters im Stadium 5 (Projektionsradiographie) bei Männern

Alter (Jahre)	Anzahl	%
26	9	26,4
27	15	44,1
28	10	29,4
Summe	34	



Abbildung 8: Stadium 5

3.4 Seitenunterschiede in der Projektionsradiographie

Das Vorliegen einer Stadiendiskrepanz zwischen der linken und rechten Seite eines Schlüsselbeins konnte in der Projektionsradiographie in 12,5 % der Fälle beobachtet werden. Die ermittelten Ergebnisse wurden zur Verifizierung dieses Phänomens und Ermittlung der Signifikanz dieses Unterschiedes statistisch ausgewertet. Die berechneten p-Werte zeigten, dass in der Projektionsradiographie weder bei Frauen noch bei Männern ein signifikanter Unterschied der ermittelten Stadien zwischen den beiden Seiten des Schlüsselbeines vorlag (Tab. 12).

Tabelle 12: Signifikanz der Seitenunterschiede in der Projektionsradiographie

Modalität	Geschlecht	p-Wert
Projektionsradiographie	m	0,688
	w	0,25

3.5 Geschlechtsunterschiede in der Projektionsradiographie

Die geschlechtsgetrennte Auswertung der Präparate ermöglichte es, den Unterschied der bestimmten Stadien zwischen den beiden Geschlechtern in jedem Stadium zu prüfen. Anhand der ermittelten p-Werte konnte ein signifikanter Unterschied der beiden Geschlechter sowohl im Stadium 3 als auch im Stadium 4 festgestellt werden (Tab. 13).

Tabelle 13: Signifikanztestung der Geschlechter in der Projektionsradiographie

Stadium	Signifikanztestung männl. vs. weibl.
1	-
2	p = 0,500
3	p = 0,019
4	p < 0,001
5	p = 0,251

3.6 Analyse der CT-Aufnahmen

Die Ermittlung der Stadien der Verknöcherung sowie der Verschmelzung des Knochenkernes der Epiphyse mit der Metaphyse anhand der Stadieneinteilung nach Schmeling et al. (2004b) konnte bei 311 Sternoklavikularpaaren erfolgen. Die Gruppe bestand aus 207 Männern und 104 Frauen. Bei 40 Männern und 4 Frauen konnten die Stadien aufgrund von Anomalien der beiden Epiphysen nicht definiert werden.

3.7 Statistische Maßzahlen in der Computertomographie

In der Tabelle 14 sind die Parameter Minimum, Maximum, der Mittelwert mit der entsprechenden Standardabweichung, das obere und untere Quartil sowie der Medianwert aufgeführt.

Tabelle 14: Die statistischen Parameter für die Stadien 1-5 in der Computertomographie

Min: Minimum, Max: Maximum, MW: Mittelwert, SA: Standardabweichung, UQ: unteres Quartil, OQ: oberes Quartil

Stadium	Geschlecht	Fallzahl	Min – Max	MW ± SA	Median; UQ; OQ
1	m	0	-	-	-
	w	0	-	-	-
2	m	14	16,1-20,4	17,7 ± 1,6	17,1; 16,5; 19,6
	w	3	16,6 – 18,4	17,6 ± 0,9	17,9; 16,6
3	m	102	16,4 – 28,6	21,9 ± 2,7	21,6; 19,7; 24,1
	w	51	16,4 – 26,5	20,7 ± 2,3	20,3; 18,9; 22,2
4	m	83	21,6 – 28,8	25,6 ± 1,8	26,0; 24,0; 27,0
	w	43	21,1 – 28,8	24,9 ± 2,1	24,9; 23,0; 26,4
5	m	8	26,6 – 28,6	27,5 ± 0,8	27,3; 26,8; 28,4
	w	7	26,7 – 28,9	28,2 ± 0,8	28,6; 27,7; 28,8
Summe		311			

3.8 Darlegung der einzelnen Stadien bei der Computertomographie

3.8.1 Stadium 1

Stadium 1 konnte bei keinem der gescannten Präparate nachgewiesen werden.

3.8.2 Stadium 2

Bei 14 Männern und 3 Frauen wurde ein Ossifikationszentrum ohne Nachweis einer Fusion festgestellt (Abbildung 9). Während das Alter der Frauen zwischen 16 und 18 Jahre lag, war die jüngste männliche Person 16 und der älteste Mann 20 Jahre alt. Bei den 3 Frauen war eine Bestimmung des Stadiums in beiden Seiten des Schlüsselbeines möglich. In der männlichen Gruppe befanden sich 5 Präparaten, bei denen die Bestimmung des Stadiums aufgrund von Anomalien nur an einer Seite möglich war.

Tabelle 15: Verteilung des Alters im Stadium 2 in der CT bei Frauen und Männern

Alter (Jahre)	Anzahl (männlich)	Anzahl (weiblich)
16	7	1
17	3	1
18	0	1
19	2	0
20	2	0

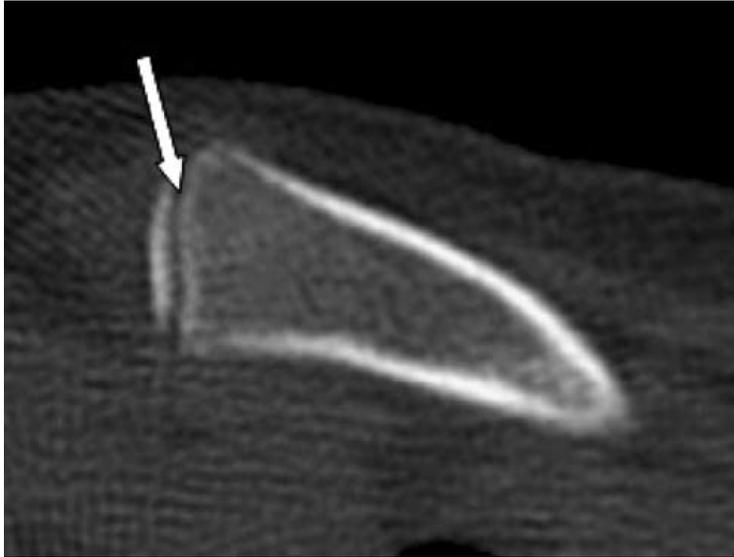


Abbildung 9: Stadium 2. Der Pfeil zeigt die nicht ossifizierte Epiphysenfuge

3.8.3 Stadium 3

Die Gruppe aus diesem Stadium bestand aus 102 Männern und 51 Frauen (Abbildung 10). Die Verteilung des Alters in den beiden Geschlechtern ist den Tabellen 16 und 17 zu entnehmen. In der männlichen Gruppe betrug die Anzahl der Präparate, in denen die Bestimmung der Stadien sowohl an der rechten als auch an der linken Seite möglich war, 86 Schlüsselbeine. In der weiblichen Kohorte waren es hingegen 49.

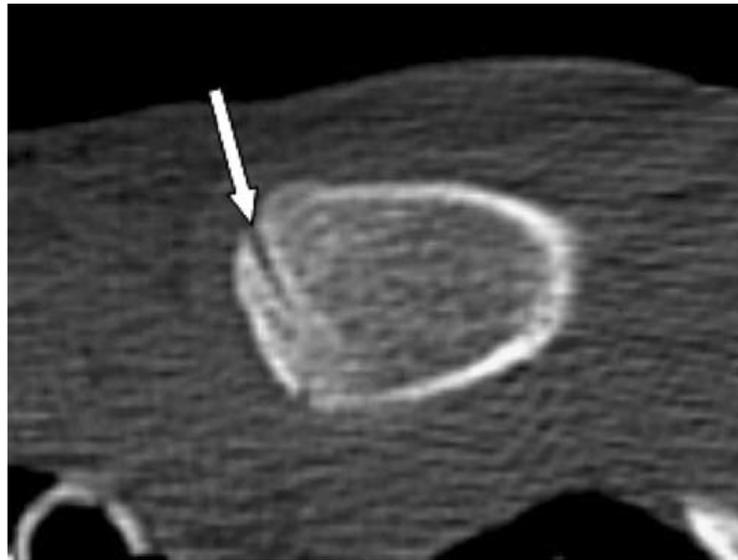


Abbildung 10: Stadium 3. Der Pfeil zeigt die partiell ossifizierte Epiphysenfuge

Tabelle 16: Verteilung des Alters im Stadium 3 (CT) bei Frauen

Alter (Jahre)	Anzahl	%
16	3	5,8
17	3	5,8
18	7	13,7
19	8	15,6
20	7	13,7
21	10	19,6
22	4	7,8
23	6	11,7
24	1	1,9
25	0	0
26	2	3,9
27	0	0
28	0	0
Summe	51	

Tabelle 17: Verteilung des Alters im Stadium 3 (CT) bei Männern

Alter (Jahre)	Anzahl	%
16	1	0,98
17	2	1,9
18	12	11,7
19	13	12,7
20	17	16,6
21	11	10,7
22	13	12,7
23	7	8,6
24	11	10,7
25	5	4,9
26	4	3,9
27	4	3,9
28	2	1,9
Summe	102	

3.8.4 Stadium 4

Die 127 Präparate aus diesem Stadium bildeten etwa 40 % der gesamten Stadien, wobei die Männer mit 83 Schlüsselbeinen etwa doppelt so häufig wie die Frauen (43 Präparate) vertreten waren. Die Verteilung des jeweiligen Alters in den beiden Geschlechtern ist in den Tabellen 18 und 19 dargestellt. In diesem Stadium trat eine einseitige Anomalie der Schlüsselbeinepiphyse in der männlichen Gruppe in 24 Fällen, in der weiblichen in 7 Fällen auf. In Abbildung 11 wird die vollständige Verschmelzung der Epiphysenfuge gezeigt. Die Epiphysennarbe ist aber noch sichtbar.

Tabelle 18: Verteilung des Alters im Stadium 4 (CT) bei Männern

Alter (Jahre)	Anzahl	%
21	2	2,4
22	5	6
23	13	15,6
24	10	12
25	11	13,2
26	20	24
27	12	14,4
28	10	12
Summe	83	

Tabelle 19: Verteilung des Alters im Stadium 4 (CT) bei Frauen

Alter (Jahre)	Anzahl	%
21	3	6,9
22	7	16,2
23	5	11,6
24	7	16,2
25	8	18,6
26	3	6,9
27	5	11,6
28	5	11,6
Summe	43	

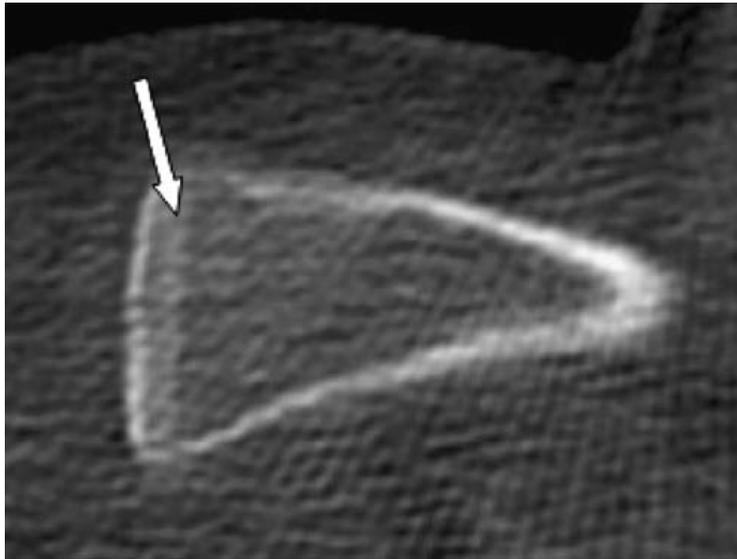


Abbildung 11: Stadium 4. Der Pfeil zeigt die Epiphysennarbe

3.8.5 Stadium 5

Die relativ kleine Gruppe setzte sich zusammen aus Präparaten, die von 8 Männern und 7 Frauen stammten (Abbildung 12). Eine Übersicht über das jeweilige Alter der Präparate geben die Tabellen 20 und 21.

Tabelle 20: Verteilung des Alters im Stadium 5 (CT) bei Frauen

Alter	Anzahl	%
26	1	14,2
27	1	14,2
28	5	71,4
Summe	7	

Tabelle 21: Verteilung des Alters im Stadium 5 (CT) bei Männern

Alter	Anzahl	%
26	2	25
27	3	37,5
28	3	37,5
Summe	8	

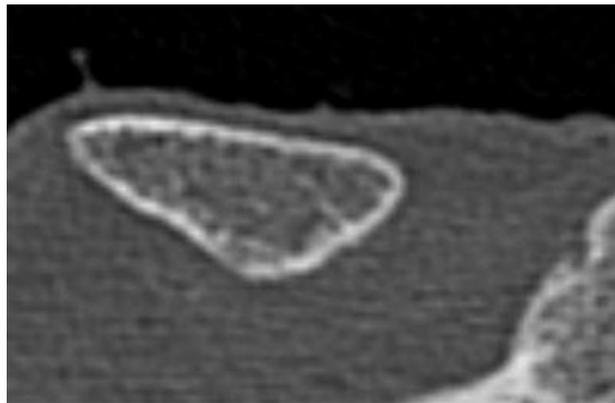


Abbildung 12: Stadium 5

3.9 Seitenunterschiede in der Computertomographie

Durch die separate Beurteilung der beiden Seiten der Schlüsselbeine konnte auch bei den Computertomographie-Aufnahmen eine Diskrepanz zwischen der linken und rechten Seite der ermittelten Stadien festgestellt werden. Diese wurde in 12,5 % der Fälle beobachtet. Zur Ermittlung der Signifikanz dieser Unterschiede wurden die Daten statistisch ausgewertet. Die daraus erhobenen P-Werte zeigten, dass weder bei Frauen noch bei Männern ein signifikanter Unterschied der ermittelten Stadien zwischen den beiden Seiten des Schlüsselbeines vorlag (Tab. 22).

Tabelle 22: Signifikanz der Seitenunterschiede in der Computertomographie

Modalität	Geschlecht	p-Wert
Computertomographie	m	0,103
	w	0,101

3.10 Geschlechtsunterschiede in der Computertomographie

In den ausgewerteten Aufnahmen der Computertomographie wurde ebenfalls das Geschlecht als möglicher Faktor, der den Ossifikationsstatus beeinflussen könnte, in Erwägung gezogen. Diesbezüglich wurde ein statistischer Test durchgeführt, um die Signifikanz dieses Faktors zu evaluieren. Anhand der ermittelten p-Werte konnte gezeigt werden, dass nur im Stadium 3 ein signifikanter Geschlechtsunterschied zu verzeichnen war (Tab. 19).

Tabelle 23: Signifikanztestung der Geschlechter in der Computertomographie

Stadium	Signifikanztestung männl. vs. weibl.
1	-
2	p = 0,768
3	p = 0,014
4	p = 0,057
5	p = 0,094

3.11 Vergleich der Ergebnisse beider Modalitäten

In den Tabellen 24 und 25 sind die ermittelten Spannbreiten in den beiden Modalitäten für die beiden Geschlechter gegenübergestellt.

Tabelle 24: Vergleich der Spannbreiten in Jahren in den beiden Verfahren bei Männern

Min: Minimum, Max: Maximum, PR: Projektionsradiographie; CT: Computertomographie

Stadium	2	3	4	5
	Min-Max	Min-Max	Min - Max	Min - Max
CT	16-20	16-28	21-28	26-28
PR	17-19	16-28	22-28	26-28

Tabelle 25: Vergleich der Spannbreiten in Jahren in den beiden Verfahren bei Frauen

Min: Minimum, Max: Maximum, PR: Projektionsradiographie; CT: Computertomographie

Stadium	2	3	4	5
	Min - Max	Min - Max	Min - Max	Min - Max
CT	16-18	16-26	21-28	26-28
PR	16	16-25	21-26	26-28

In der Tabelle 26 wird die Verteilung der Fälle, bei denen das gleiche Stadium sowohl in der Projektionsradiographie als auch in der Computertomographie bestimmt wurde, gezeigt.

Tabelle 26: Anzahl der Fälle mit gleich bestimmten Stadien in den beiden Modalitäten

Stadium	Anzahl der Fälle	%
2	2	1,1
3	116	67,8
4	41	23,9
5	12	7
Summe	171	

In 69 % der Fälle (77 Präparate) unterschied sich das ermittelte Stadium in einer Modalität von dem, das durch die andere Modalität bestimmt wurde. Die Verteilung dieser Fälle ist in der Tabelle 27 für die Projektionsradiographie, in der Tabelle 28 für die Computertomographie dargestellt. Die Tabelle 29 zeigt eine Übersicht der Fälle, in denen sich die bestimmten Stadien unterscheiden.

Tabelle 27: Anzahl der Fälle in der Projektionsradiographie ohne Übereinstimmung der Stadien mit denen von der Computertomographie

Stadium	Anzahl der Fälle	%
3	34	44,2
4	5	6,5
5	38	49,3
Summe	77	

Tabelle 28: Anzahl der Fälle in der Computertomographie ohne Übereinstimmung der Stadien mit denen von der Projektionsradiographie

Stadium	Anzahl der Fälle	%
2	12	15,6
3	11	14,3
4	53	68,8
5	1	1,3
Summe	77	

Tabelle 29: Gegenüberstellung der Diskrepanz der ermittelten Stadien in den beiden Modalitäten

PR: Projektionsradiographie; CT: Computertomographie; N: Fallzahl

Stadien in der PR	Stadien in der CT				Summe
	Stadium 2 N	Stadium 3 N	Stadium 4 N	Stadium 5 N	
Stadium 2	-	0	0	0	0
Stadium 3	12	-	21	1	34
Stadium 4	0	5	-	0	5
Stadium 5	0	6	32	-	38
Summe	12	11	53	1	77

4. Diskussion

4.1 Die Projektionsradiographie des Schlüsselbeines in der Literatur

Der erste Einsatz von Projektionsradiographie zur Beurteilung des Verknöcherungszustandes der Epiphysenfuge liegt mehrere Jahrzehnte zurück. Flecker hat 1933 mithilfe von Röntgenstrahlen die Schlüsselbeine von 655 weißen australischen Bürgern, die jünger als 30 Jahre waren, untersucht. Ziel dieser Studie war die Bestimmung des Zeitpunktes, ab dem die Epiphysenfuge sowie die vollständige Verschmelzung der Epiphyse mit der Diaphyse (Fusion) aufgetreten sind. Diese beiden von Flecker (1933) definierten Stadien entsprechen nach der gegenwärtigen Klassifikation Stadium 2 (Nicht-Fusion) und Stadium 4 (Fusion). Flecker stellte fest, dass das jüngste Mädchen, bei dem die Epiphyse sichtbar war, 11 Jahre alt war, während die älteste Frau 25 Jahre alt war. In der männlichen Gruppe betrug das Alter der jüngsten Person mit einer sichtbaren Epiphyse 12 und das der ältesten 25 Jahre. In der Mehrheit der beiden Geschlechter seiner Untersuchung wurde mit 22 Jahren die Verschmelzung der Epiphyse am medialen Ende des Schlüsselbeines erreicht. Eine Bestimmung des Maximal- und Mindestalters ist allerdings nicht erfolgt.

1937 untersuchte Galstaun die Verknöcherung des medialen Endes der Klavikula in einer indischen Population. Galstaun benutzte auch eine ähnliche Stadieneinteilung wie Flecker (1933) (Fusion vs. Nicht-Fusion). Das Stadium der fehlenden Verschmelzung von Epiphyse und Metaphyse (Stadium 2) trat bei den Männern zwischen 15 und 24, bei Frauen zwischen 14 und 20 Jahren auf.

In einer Publikation von 1976 wurde von Jit und Kulkarni die mediale Wachstumsfuge der Klavikula anhand von Röntgenaufnahmen analysiert. Die in posterior-anteriorer und in einer schrägen Position angefertigten Bilder der 632 Probanden aus Indien wurden prospektiv mithilfe einer dreistufigen Stadieneinteilung ausgewertet. Die Altersverteilung der aus beiden Geschlechtern untersuchten Gruppe lag zwischen 11 und 30 Jahren. Zu den untersuchten Merkmalen gehörten zusätzlich zu dem von Flecker (1933) beschriebenen Auftreten der Epiphyse auch die vollständige und unvollständige Verschmelzung des Epiphysenkernes. Die komplette Verbindung trat bei Männern ab dem 22., bei Frauen ab dem 23. Lebensjahr auf. Der Nachweis einer inkompletten Fusion erfolgte bei männlichen

Probanden zwischen dem 18. und 24. und bei weiblichen zwischen dem 18. und 23. Jahr. Die dem Stadium 2 nach Schmeling entsprechende Entwicklungsstufe wurde bei Männern von 14-24 und bei Frauen von 11-21 Jahren gesehen. Der Unterschied zwischen den beiden Geschlechtern war nicht signifikant.

Die Ermittlung der Zeitspanne der Verknöcherung der medialen Klavikulaepiphyse mittels konventioneller Röntgendiagnostik war auch der Zweck der von Schmeling et al. (2004b) durchgeführten Studie. 873 Thoraxübersichtsaufnahmen, die in der Zeit zwischen 1995 und 2002 entstanden waren, wurden retrospektiv ausgewertet. Das Alter der Patienten lag zwischen 16 und 30 Jahren. Aus den Daten konnte nicht auf die ethnische Herkunft der Probanden zurückgeschlossen werden, aber es konnte davon ausgegangen werden, dass die Stichprobe nicht wesentlich von der durchschnittlichen Zusammensetzung der deutschen Bevölkerung abwich (Schmeling et al. 2004b). In 174 Fällen konnte aufgrund der Überlappung oder Abweichungen von der Norm keine zuverlässige Beurteilung des Verknöcherungsgrades der brustbeinnahen Wachstumsfuge des Schlüsselbeins erfolgen. Zur Beurteilung des Zustandes der Verknöcherung der medialen Klavikulaepiphysenfugen wurde die vierstufige Stadieneinteilung, die in anatomischen und radiologischen Untersuchungen angewandt wurde, verwendet. Allerdings wurde im Zuge der Studie beobachtet, dass man das Stadium 4 einer weiteren morphologischen Differenzierung unterziehen kann und daher wurde ein neues Kriterium zur Definition des Stadiums 4 angefügt, nämlich die Sichtbarkeit der Epiphysennarbe. Die Stadieneinteilung wurde dann wie folgt definiert:

- Stadium 1: Die Epiphyse ist noch nicht verknöchert.
- Stadium 2: Das Ossifikationszentrum ist in der medialen Klavikulaepiphyse zu erkennen, aber die Verknöcherung des epiphysialen Knorpels ist nicht nachzuweisen.
- Stadium 3: Partielle Verschmelzung der Epiphyse mit der Klavikulametaphyse.
- Stadium 4: Vollständige Verschmelzung. Die Epiphysennarbe ist aber noch sichtbar.

- Stadium 5: Komplette Verschmelzung der Epiphyse mit der Metaphyse und die Epiphysennarbe ist nicht mehr zu sehen

Die 243 Männer und 456 Frauen wurden separat ausgewertet. Ein signifikanter Geschlechtsunterschied wurde im Stadium 3 beobachtet. Die Frauen haben dieses Stadium ein Jahr früher als die Männer erreicht. In den Stadien 4 und 5 erschienen keine statistisch bedeutsamen Unterschiede zwischen den beiden Geschlechtern. Die Studie zeigte unterschiedliche Reifezustände zwischen dem linken und rechten Schlüsselbein in 0,6 % der Fälle, allerdings war der Unterschied statistisch nicht signifikant (Schmeling et al. 2004b). Aufgrund der Altersverteilung der untersuchten Stichprobe trat Stadium 1 nicht auf. Für das Stadium 2 erfolgte wegen der zu kleinen Fallzahl keine statistische Auswertung. Stadium 3 trat bei den beiden Geschlechtern im Alter von 16 Jahren auf, das Maximalalter war 24 Jahre bei Männern und 27 bei Frauen. Bei Männern ab den 21., bei Frauen ab den 20. Lebensjahr wurde das Stadium 4 beobachtet. Das 26. Lebensjahr war das niedrigste Alter, das bei den beiden Geschlechtern im Stadium 5 auftrat.

Garamendi et al. (2011) bestimmten bei einer Gruppe von 123 Personen aus Spanien, die eine anterior-posteriore Röntgenaufnahme des Thorax, hauptsächlich im Rahmen der allgemeinen präoperativen Untersuchungen, bekommen hatten, die Ossifikationsstadien des sternalen Endes der Schlüsselbeine. Die Hauptintention dieser Arbeit war die Determination des Mindestalters bei kompletter Verschmelzung der medialen Klavikula-epiphyse, welche eine wichtige Säule der Altersdiagnostik darstellt.

Die Altersspanne der 61 Männer und 62 Frauen lag zwischen 5. und 75. Lebensjahr. Das durchschnittliche Alter der Untersuchten betrug 44.63 Jahre. Anatomische Abweichungen oder pathologische Veränderungen, die auf die Stadienbestimmung einwirken könnten, wurden von dem Untersucher nicht beobachtet. Die Daten wurden anhand der Stadieneinteilung nach Schmeling et al. (2004b) von einem einzigen Untersucher ausgewertet. Um die Abhängigkeit der Stadienermittlung von der momentanen Bewertung des Untersuchers zu prüfen, wurden vier Wochen nach der ersten Auswertung zehn Fälle erneut analysiert.

Die statistische Auswertung der Röntgenaufnahmen ergab die folgenden Ergebnisse: Ab dem 15. Lebensjahr trat das Stadium 1 auf und wurde zuletzt bei einem 18-Jährigen registriert. Stadium 2 wurde in den 246 medioklavikularen Gelenken nicht nachgewiesen. Das maximale Alter im Stadium 3 lag bei 45 und das Mindestalter bei 17 Jahren. Im Stadium der vollständigen Fusion fanden sich die Untersuchten zwischen dem 19. und dem 32. Lebensjahr. Das Stadium 5 beinhaltete Personen, die zwischen dem 20. und dem 75. Jahr waren.

Bezüglich der Frage nach möglichen Störfaktoren, die die Ermittlung der Stadieneinteilung in der konventionellen Röntgendiagnostik beeinflussen, haben Cameriere et al. (2012) die Binnen- und Zwischenbeobachterübereinstimmung in einem „Blindversuch“ untersucht. Retrospektiv wurde bei 300 Personen der Ossifikationsgrad der medialen Klavikulaepiphyse mittels Projektionsradiographie anhand der Stadieneinteilung nach Schmelting et al. (2004b) analysiert. Die anterior-posterioren Aufnahmen sind in der Zeit von 2010 bis 2011 in Macerata (Italien) erstellt worden. Aus dieser Stichprobe mussten 26 Aufnahmen (8,7 %) aufgrund der Überlappungseffekte durch die erste Rippe, die Wirbelsäule und die Lunge ausgeschlossen werden. Personen mit Neoplasien oder Traumata in der Vorgeschichte wurden auch nicht in die Studie aufgenommen. Die Altersverteilung der verbleibenden Stichprobe (159 Männer und 115 Frauen) lag zwischen 12 und 25 Jahren. Eine Diskrepanz der Stadien-Zuordnung zwischen der linken und rechten Seite konnte in 15,6 % der Fälle beobachtet werden. In der statistischen Auswertung hat man sich für das höhere Stadium entschieden.

Eine der Besonderheiten dieser Studie war die Anzahl der Prüfer und deren Spezialitäten: Zwei der Untersucher waren Anthropologen mit dem Spezialgebiet Forensik allerdings mit einer geringen Erfahrung im Bereich der Beurteilung von den Entwicklungsstadien der brustbeinnahen Wachstumsfuge der Klavikula mittels Röntgenaufnahmen. Die anderen drei Untersucher (1 Mediziner und 2 Odontologen) hatten eine gute Erfahrung bezüglich der Stadieneinteilung nach Schmelting et al. (2004b). Jeder Beobachter hat die Bilder separat und anonym bearbeitet. Mit der Analyse der Übereinstimmung der bestimmten Stadien in 65 Röntgen-Thorax-Aufnahmen durch einen Prüfer mit denen, die nach 3 Wochen von dem selben Untersucher bestimmt worden sind, wollte man die Wiederholungspräzision der

einzelnen Untersucher bestimmen (Binnenbeobachter-Übereinstimmung). Diese 65 Aufnahmen wurden anschließend auch von den anderen Untersuchern ausgewertet, so dass man die Diskrepanz der Stadienbestimmungen zwischen den einzelnen Untersuchern analysieren konnte (Zwischenbeobachter-Übereinstimmung). Ziel dieser Studie war nicht nur, die oben erwähnten statistischen Merkmale zu bestimmen, sondern auch die Prüfung der Gültigkeit der Stadieneinteilung nach Schmeling et al. (2004b) zur Antwort auf die Frage, ob eine Person das 18. Lebensjahr erreicht hat oder nicht. Diese Arbeit von Cameriere et al. (2012) schlussfolgerte, dass die Ermittlung der Entwicklungsstadien der Ossifikation der medialen Klavikula anhand von posterior-anterioren Thoraxaufnahmen eine sehr schwierige Aufgabe darstellt. Zudem kann die Bestimmung dieser Stadien durch unterschiedlich erfahrene Untersucher die Präzision der Ergebnisse und ihre Reproduzierbarkeit beeinflussen, daher ist es zwingend erforderlich, die Röntgenaufnahmen von erfahrenen Spezialisten, die auch radiologische Kenntnisse haben, analysieren zu lassen. Optimal wäre, wenn sich auch qualifizierte Radiologen daran beteiligen würden. Das verlangt natürlich eine präzise und evidenzbasierte Ausbildung.

4.2 Vergleich der projektionsradiographischen Studien mit der eigenen Untersuchung

In der Tabelle 30 sind die wesentlichen Arbeiten, die die Projektionsradiographie als Verfahren zur Beurteilung des Reifeprozesses der medialen Klavikulaepiphyse angewendet haben, aufgelistet. Bedingt durch die frühe Entdeckung der Röntgenstrahlen wurde bereits am Anfang des 20. Jahrhunderts diese Modalität eingesetzt.

In der Studie von Flecker (1933) wurden Stadium 3 und 5 bei der Definition der Stadieneinteilung nicht berücksichtigt. Das Maximalalter ist im Stadium 2 bei den Männern mit 26 und bei Frauen mit 25 Jahre deutlich höher als in der eigenen Studie. Dieses Ergebnis kann man am ehesten auf die Schwierigkeit, die Epiphysennarbe durch Überlagerungseffekte eindeutig zu erkennen, zurückführen. Im Rahmen der Studie von Galstaun (1937) konnte festgestellt werden, dass das Stadium 2 bei den Männern zwischen 15 und 24, bei Frauen zwischen 14 und 20 Jahren auftrat. Dies ist bei den Männern 1 Jahr später als in der aktuellen Studie. Eine mögliche Ursache diesbezüglich ist ebenfalls durch die anatomischen Strukturen, die durch ihre Überlagerung eine adäquate Beurteilung dieser Region behindern, zu erklären. Das Auftreten der Fusion war bei Männern 3 Jahre, bei Frauen 1 Jahr früher als in der eigenen Studie. Als mögliche Begründung dieser Ergebnisse könnte man wiederum die Qualität der Bilder, insbesondere im Hinblick auf die oben erwähnten Summationseffekte und die dadurch bedingte Maskierung von Epiphysenbrücken, anführen. Meiner Meinung nach sind die beiden Studien von Flecker (1933) und Galstaun (1937) aufgrund der unvollständigen Stadieneinteilung und der deutlich schlechteren Bildqualität nur aus historischer Sicht zu betrachten.

Der Vergleich der Ergebnisse der Studie von Jit und Kulkarni (1976) mit der eigenen Studie zeigt, dass das Maximalalter im Stadium 2 bei Männern bis zu 3 Jahre später als in der aktuellen Studie auftritt. Einerseits kann der bekannte Summationseffekt hier eine Rolle gespielt haben, andererseits kann die Qualität der Projektionsradiographie-Bilder eine scharfe Trennung zwischen den Stadien 2 und 3 erschwert haben, sodass man eine komplette Trennung von einer partiellen Verschmelzung nicht sicher unterscheiden konnte.

Die bestimmten Zeitfenster für das Stadium 3 sind auch mit der eigenen Studie nicht vereinbar, denn die partielle Fusion der Epiphyse tritt in den beiden Geschlechtern erst 2 Jahre später auf. Dies könnte die Vermutung bestätigen, dass sehr schmale Epiphysenbrücken durch die Überlagerungseffekte nicht sichtbar sind. Während das Mindestalter im Stadium 4 bei Männern mit der eigenen Studie übereinstimmt, tritt dieses Stadium in der Studie von Jit und Kulkarni (1976) bei Frauen erst 2 Jahre später auf. In der eigenen Studie zeigte sich in diesem Stadium ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Geschlechtern. Diese verspätete Reifeentwicklung kann möglicherweise auch durch den sozioökonomischen Statusunterschied begründet werden.

Der zum Teil mit der Metaphyse verbundene Epiphysenkern (Stadium 3) konnte in der jetzigen Arbeit sowohl im weiblichen Geschlecht als auch im männlichen ab 16 Jahre nachgewiesen werden. Dies steht im Einklang mit dem Ausgangswert der Arbeit von Schmeling et al. (2004b). Sowohl bei Frauen als auch bei Männern tritt Stadium 4 jeweils 1 Jahr früher auf als in der aktuellen Studie. Da die untersuchte Gruppe auch hauptsächlich aus dem europäischen Raum stammt, spielt der sozioökonomische Status hier keine Rolle. Als Ursache dieses frühen Auftretens ist möglicherweise das Prinzip der Auswertung in dieser Studie anzuführen, denn es wurde im Gegensatz zu der eigenen Studie bei Seitendifferenz der Stadien das niedrigste Stadium genommen. Nichtsdestotrotz ist der Nachweis dieses Stadiums bei Männern eine sichere Bestätigung, dass diese Person mindestens das 21. Lebensjahr vollendet hat. Das ermittelte Zeitfenster für das Stadium 5 für die beiden Geschlechter steht im Einklang mit dem der eigenen Studie.

In der eigenen Studie wurde der verknöcherte Epiphysenkern ab dem 16. Lebensjahr gefunden. Dieser wurde in der Arbeit von Garamendi et al. (2011) ab dem 15. Lebensjahr beobachtet. Der Grund dieses Ergebnisses kann einerseits auf das Mindestalter der ausgewählten Stichprobe aber auch auf die insgesamt niedrigeren Fallzahlen in diesem Stadium (1 Mädchen und 3 Jungen) zurückgeführt werden. Stadium 3 erschien in der Studie von Garamendi et al. (2011) erst ab dem 17. Lebensjahr. Diese Abweichung kann möglicherweise auf den Aufbau der Studie zurückgeführt werden. Denn einerseits war die Altersverteilung der untersuchten Population sehr breit (5-75 Jahre) und die Anzahl der

Fälle mit dem für die Altersschätzung relevanten Alter (<30 Jahre) in Relation sehr gering, andererseits berichtet der Autor über die Schwierigkeit, die Röntgenaufnahmen hinsichtlich der möglichen Überlagerungseffekte durch andere anatomische Strukturen in einigen Fällen adäquat zu beurteilen. Das Maximalalter, das in diesem Stadium beobachtet wurde, war 28 Jahre. Wenn man die Ergebnisse dieser Studie, insbesondere das Stadium 4, das juristisch sehr wichtig ist, neben die Auswertungen anderer Studien stellt, dann besteht eine Analogie zu der Studie von Galstaun (1937), in der das Mindestalter im Stadium 4 um das 19. Lebensjahr ist. Der Vergleich zur eigenen Studie zeigt das Auftreten vom Stadium 4 zwei Jahre früher. Die Ergebnisse dieser Studien sollten sehr kritisch betrachtet werden, denn einerseits wurde die Auswertung nur durch einen Untersucher durchgeführt, andererseits scheint die Tatsache, dass aus den 246 medioklavikulären Gelenken kein einziges dem Stadium 2 zugeordnet werden konnte, sehr unwahrscheinlich zu sein. Zudem war in 8 Fällen eine genaue Zuordnung der aufgenommenen Bilder einem bestimmtem Stadium durch den Untersucher nicht zweifelsfrei möglich. Ein nahezu unvermeidlicher Faktor, der diesen Fehler mitverursacht hat, ist die auch in anderen Studien beschriebene Überlappung durch andere Knochenstrukturen.

Tabelle 30: Studien der Projektionsradiographie

N: Fallzahl; m: männlich; w: weiblich

Studie	N	Alters- verteilung (Jahre)	m/w differen- ziert	Stadium 2 (Jahre)	Stadium 3 (Jahre)	Stadium 4 (Jahre)	Stadium 5 (Jahre)
Flecker (1933)	655	11-26	Ja	11-26	-	-	-
Galstaun (1937)	655	14-24	Ja	14-24	-	-	-
Jit und Kulkarni (1976)	632	11-30	Ja	11-21	18-24	22-30	-
Schmeling et al. (2004b)	699	16-30	Ja	-	16-26	20-30	26-30
Garamen- di et al. (2011)	123	5-75	Nein	-	17-45	19-32	20-75
Aktuelle Studie	355	16-28	ja	16-19	16-28	21-28	26-28

4.3 Zusammenfassung der bisherigen CT-Arbeiten

Die Computertomographie der medialen Klavikulaepiphyse als eine additive Methode zur Altersdiagnostik im Adoleszentenalter und in der dritten Lebensdekade war das Ziel der von Kreitner et al. (1997) durchgeführten Studie. Diese war die erste Studie, die die Ausreifung der medialen Klavikulaepiphyse mit Hilfe der Computertomographie untersucht hat. Die retrospektive Studie hat CT-Aufnahmen des Thorax und des Schultergürtels von 279 Patienten unter 30 Jahren ausgewertet. Die bei der Untersuchung verwendeten Schichtdicken waren

in 62,4 % : 8 mm,

in 9,7 % : 5 mm,

in 17,2 % : 4 mm,

in 10,8 % : 1, 2 oder 3 mm.

Die Ossifikation der brustbeinnahen Wachstumsfuge der Klavikula wurde entsprechend Owings Webb und Myers Suchey (1985) sowie Jit und Kullkarni (1976) in 4 Stadien unterteilt:

- Stadium 1: Die Epiphyse ist noch nicht verknöchert.
- Stadium 2: Das Ossifikationszentrum ist in der medialen Klavikulaepiphyse zu erkennen, aber eine beginnende knöcherne Fusion ist nicht nachzuweisen.
- Stadium 3: Partielle Verschmelzung mit der Klavikulaepiphyse.
- Stadium 4: Vollständige Verschmelzung.

Aus der statistischen Auswertung haben sich die folgenden Ergebnisse ergeben: Stadium 1 war bis zum 16. Lebensjahr zu beobachten. Stadium 2 trat in der Altersgruppe von 13-22 Jahren auf. Eine nicht vollständige Verschmelzung wurde vom 16. bis zum 26. Lebensjahr, eine komplette erstmals ab dem vollendeten 22. Lebensjahr beobachtet. In 1,4 % der Fälle zeigte sich ein Unterschied der bestimmten Stadien zwischen den beiden Seiten der Sternoklavikulargelenke, was allerdings statistisch nicht signifikant war. Ein relevanter Unterschied zwischen den beiden Geschlechtern wurde ebenfalls nicht beobachtet, daher wurde auch aufgrund der niedrigen Fallzahlen auf eine separate Auswertung verzichtet.

In einem Zeitraum von 7,5 Jahren wurden von Kreitner et al. (1998) retrospektiv die CT-Untersuchungen der Brust oder des Schultergürtels von 380 Patienten, die unter dem 30. Lebensjahr waren, ausgewertet. Ziel dieser Arbeit war, eine systematische Analyse der medialen Klavikulaepiphysenentwicklung auszuführen. Alle CT-Untersuchungen wurden am Scanner der dritten oder vierten Generation (Somatom DRH, Plus und Plus S, Siemens, Erlangen, Deutschland; Picker PQ 2000 und 5000, Picker International, Cleveland, Ohio, USA) durchgeführt. Die bei der Untersuchung verwendeten Schichtdicken der Sternoklavikulargelenk-Region waren 8 mm in 53,2 %, 5 mm in 23,2 %, und 4 mm in 14,2 % der Fälle. In 9,5 % wurden entweder 1, 2 oder 3 mm benutzt.

Die Beurteilung der verschiedenen Stadien erfolgte entsprechend der Stadieneinteilung nach Owings Webb und Myers Suchey (1985) sowie Jit und Kulkarni (1976).

In Abhängigkeit vom Entwicklungsgrad der linken medialen Klavikulaepiphyse kam man anhand der o.g. Stadieneinteilung zu der folgenden Alters-Stadien-Verteilung:

Stadium 1 war bis zum 16. Lebensjahr zu beobachten. Stadium 2 trat in der Altersgruppe von 11-22 Jahren auf. Eine nicht vollständige Verschmelzung wurde vom 16. bis zum 26. Lebensjahr beobachtet. Eine komplette Fusion trat erstmals im Alter von 22 Jahren auf. Ab dem 27. Lebensjahr waren alle Individuen im Stadium 4.

Unterschiede in der Entwicklung zwischen der linken und rechten medialen Klavikulaepiphyse wurden in sechs Fällen festgestellt (1,6 %). Dies führte jedoch zu einer statistisch nicht signifikanten Diskrepanz in der Reifung zwischen den beiden Seiten.

Es gab keine statistisch signifikanten Unterschiede in der Entwicklung der Wachstumsfuge zwischen Männern und Frauen. In Anbetracht der begrenzten Stichprobengröße wurden die Ergebnisse nicht getrennt betrachtet. Zusammengefasst zeigt diese Studie bei fehlenden großen Änderungen der verschiedenen Parameter im Vergleich zur Studie von 1997 keine Neuigkeiten.

629 CT-Aufnahmen wurden vom Schulz et al. 2005 retrospektiv analysiert. Die Aufnahmen entstammten von Personen im Alter zwischen 15 und 30 Jahren, die im Rahmen einer Polytraumadiagnostik untersucht werden mussten. Aufgrund von Aufhärungsartefakten vom Kontrastmittel, Normvarianten (insbesondere die trichterförmigen Klavikulaepiphysen) und Frakturen konnte das Verknöcherungsstadium der medialen Epiphyse des Schlüsselbeins in 33 Fällen (5.6 %) nicht ermittelt werden. Darüber hinaus kamen noch 40 Fällen dazu, bei denen das exakte Alter nicht bestimmt werden konnte, die auch aus der Auswertung ausgeschlossen wurden.

Die Schichtdicken, die bei der Untersuchung benutzt wurden, waren wie folgt: 7 mm in 546 Fällen, 5 mm in 2 Fällen, 3 mm in 4 Fällen, 2 mm in 1 Fall und 1 mm in 3 Fällen.

Die Stadienklassifikation erfolgte nach der Einteilung von Schmeling et al. (2004b). Dabei wurden in den Stadien 2-5 die Männer getrennt von den Frauen ausgewertet. Unterschiede in der Entwicklung der Ossifikation zwischen der rechten und linken medialen Klavikulaepiphyse wurden in 10,5 % der Fälle beobachtet, allerdings waren diese statistisch nicht signifikant.

Die statistische Auswertung der erhobenen Daten hat die folgenden Ergebnisse erbracht:

- Ein signifikanter Unterschied zwischen Männern und Frauen wurde im Stadium 2 beobachtet, hierbei haben die Frauen durchschnittlich das Stadium acht Monate früher als die Männer erreicht, dagegen wurden keine statistisch signifikanten Unterschiede in den Stadien 3, 4 und 5 beobachtet.
- Das erste Auftreten von Stadium 2 wurde in beiden Geschlechtern ab dem 15. Lebensjahr, im männlichen Geschlecht wurde das Stadium 3 ab dem 17. Jahr beobachtet, in der weiblichen Stichprobe ab dem 16. Lebensjahr.
- Das früheste Auftreten von Stadium 4 wurde bei beiden Geschlechtern im Alter von 21 Jahren registriert. Das Mindestalter für das Stadium 5 war bei den männlichen Patienten das 22. und bei den weiblichen das 21. Lebensjahr.

Diese Studie hat das Vorhandensein von dem 5. Stadium, welches bereits von Schmeling et al. (2004b) im Rahmen der Projektionsradiographie-Studie beschrieben wurde, bestätigt.

Welche wesentliche Rolle die Schichtdicke der durchgeführten CT-Aufnahmen in der Bestimmung des Verknöcherungsgrades der medialen Klavikulaepiphyse im Rahmen der forensischen Altersdiagnostik spielt, wurde anhand einer Studie von Mühler et al. (2006) geprüft. Die Studie hat 40 CT-Aufnahmen von Personen, die im Rahmen der forensischen Altersdiagnostik untersucht werden mussten, analysiert. Die Untersuchungen wurden mittels eines Toshiba Asteion (Single-Slice CT; Rotation time 1 s; 120 kV; 130 mA; pitch 1.5; collimation 1 mm, kernel FC30 (bone kernel), matrix 512×512 , scan length 4 cm) durchgeführt. Aus den mit einer Schichtdicke von 1 mm gewonnenen Daten wurden Schichtdicken von 3, 5 und 7 mm rekonstruiert. Die Bestimmung des Ossifikationsstatus der brustbeinnahen Wachstumsfuge des Schlüsselbeins erfolgte für jede Schichtdicke und jede Seite entsprechend der Stadieneinteilung nach Schmeling et al. (2004b). Die Studie ergab, dass die Bestimmung des Verknöcherungsstatus des Sternoklavikulargelenkes von den Schichtdicken abhängig ist. Diese Abhängigkeit von der Schichtdicke wurde auf den Partial-Volumen-Effekt zurückgeführt, da mit zunehmender Schichtdicke die räumliche Auflösung entlang der Längsachse abnimmt und das zur Maskierung von wichtigen anatomischen Strukturen wie z.B. der Epiphysennarbe oder der knorpelige Epiphysenfuge führen kann. Da auch Unterschiede in den bestimmten Stadien zwischen 1 mm und 3 mm beobachtet wurden, wurde für die Altersschätzungspraxis eine Schichtdicke von 1 mm empfohlen.

Der Zusammenhang zwischen dem chronologischen Alter und dem Verknöcherungsgrad der medialen Klavikulaepiphyse mittels Computertomographie ist von Schulze et al. (2006) untersucht worden. In dieser Studie wurden 100 CT-Aufnahmen, die 50 Frauen und 50 Männern im Alter von 16 bis 25 Jahre entstammten, separat von drei Untersuchern ausgewertet. Jede Altersgruppe bestand aus 5 Männern und 5 Frauen. Patienten, die aufgrund von Traumata oder Neoplasien Veränderungen an der Klavikula gezeigt hatten, wurden aus der Studie ausgeschlossen. Die Schichtdicken, die im Rahmen der Untersuchung verwendet wurden, waren wie folgt:

1 mm: in einem Fall, 3 mm: in 15 Fällen, 5 mm: in 20 Fällen, 6 mm: in einem Fall, 7 mm: in 62 Fällen, 10 mm: in einem Fall.

Die medialen Wachstumsfugen der Schlüsselbeine wurden dann nur in einer axialen Ebene entsprechend der Stadieneinteilung nach Webb und Suchey 1985 ausgewertet, dabei wurden die beiden Seiten der Schlüsselbeine getrennt betrachtet.

Stadium 1 wurde aufgrund der niedrigen Anzahl nicht weiter in der Statistik evaluiert. Die Altersverteilung im Stadium 2 lag zwischen 16 und 24 Jahren, in Stadium 3 zwischen 16 und 25 Jahren und im Stadium 4 zwischen 19 und 25 Jahren. Die Verwertung der statistischen Ergebnisse führte zu den folgenden Schlussfolgerungen:

- Es fanden sich keine signifikanten Unterschiede zwischen Männern und Frauen.
- Es wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen der rechten und linken Seite festgestellt.

Eine australische Studie von Basset et al. (2011) hat eine Kohorte von verstorbenen Personen untersucht, die aufgrund einer gerichtsmedizinischen Ermittlung untersucht werden mussten. Zweck dieser Untersuchung war die Etablierung einer Referenzstudie im Rahmen der Beurteilung der Entwicklungsstadien der medialen Klavikulaepiphyse mit Hilfe der Computertomographie. Unter der Annahme, dass genetische, sozioökonomische und Umwelteinflüsse eine variable Entwicklung des menschlichen Körpers verursachen können (Olze et al. 2004, Meijerman et al. 2007) und die nicht in Australien geborenen Erwachsenen etwas mehr als 25 % von der australischen Bevölkerung ausmachen, wurden etwa 1000 Individuen im Alter zwischen 15 und 25 mittels einer Computertomographie untersucht. In der Studie wurden das männliche und weibliche Geschlecht jeweils separat ausgewertet. Im Falle einer beidseitigen intakten brustbeinnahen Wachstumsfuge der Schlüsselbeine wurden die rechte und die linke Seite auch getrennt beurteilt.

Die bei der Untersuchung verwendete Schichtdicke betrug in 58 % 1 mm und in 42 % 2 mm. In einer axialen und koronaren Ebene war eine „repräsentative“ Schicht für die Stadienbestimmung entscheidend. Für die Bewertung der Aufnahmen wurde die Stadieneinteilung nach Schmeling et al. (2004b) und Schulz et al. (2005) verwendet. 20,1 % der Personen, die beidseits auswertbare Schlüsselbeine enthielten, zeigten unterschiedliche Entwicklungsstadien zwischen der rechten und linken Seite. Für das letztendliche Ergebnis wurde dann die weniger entwickelte Seite in die Auswertung

einbezogen. Stadium 1 war bis zum 19. Lebensjahr bei Frauen und bis zum 21. Lebensjahr bei Männern zu beobachten. Stadium 2 trat bei den weiblichen Probanden bis zum 21., bei den männlichen bis zum 25. Lebensjahr auf. Stadium 3 wurde bei den beiden Geschlechtern ab dem 17. Lebensjahr beobachtet. Bis zum 17. Lebensjahr bei Frauen und bis zum 19. Lebensjahr bei Männern trat das Stadium 4 nicht auf. Das erste Auftreten vom Stadium 5 war bei dem männlichen Geschlecht das 18. Lebensjahr (nur bei 2 Individuen und der Rest erst ab dem 21. Lebensjahr) und das 20. Lebensjahr bei Frauen. Die statistische Auswertung ergab, dass die Frauen die Reifung bzw. die komplette Verschmelzung ohne sichtbare Narbe (Stadium 5) früher als die Männer erreicht haben. Männer, bei denen eine komplette Verschmelzung der Klavikula beobachtet wurde, waren mindestens 18 Jahre und mit einer 99 %igen Wahrscheinlichkeit mindestens 21 Jahre alt. Die Frauen im Stadium 5 waren mindestens 20 Jahre alt. Männliche und weibliche Individuen, deren Schlüsselbeine Stadium 3 zugeordnet wurden, waren mindestens 17 Jahre alt.

Der Effekt der verschiedenen Einstellungen der Parameter eines CT-Geräts auf mögliche Fehlinterpretationen bei der Beurteilung des Epiphysenverknöcherungsgrades wurde von Gurdeep et al. (2010) untersucht. In dieser Studie wurden 100 Personen (55 Männer und 45 Frauen) im Alter von 12 bis 30 Jahre untersucht, bei denen im Rahmen der Diagnostik (Thorax-CT mit Kontrastmittel, Hals-Angiographie, Lungen- und broncho-arterielle Angiographie) eine Computertomographie mit unterschiedlichen Schichtdicken durchgeführt wurde. Die Schichtdicke ist einer der wesentlichen Parameter, der auch von dem pitch-Verhältnis im Spiral-CT abhängig ist. Die für die axiale Rekonstruktion verwendeten Schichtdicken waren 1 mm, 2 mm, 3 mm, 5 mm und 7 mm. Die Bestimmung der verschiedenen Stadien der Ossifikation der medialen Klavikulaepiphyse wurde entsprechend der Stadieneinteilung nach Schulz et al. (2005) ausgeführt. Bei der Suche nach möglichen Unterschieden in den Ossifikationsstadien bei gleichen Individuen aber mit unterschiedlichen verwendeten Schichtdicken konnten die folgenden Ergebnisse festgestellt werden:

- Eine Übereinstimmung der Auswertungen wurde beim Vergleich zwischen den Schichtdicken 1 und 2 mm beobachtet.

- Eine Diskrepanz in den Ergebnissen zwischen der Stichprobe mit 3 mm gegenüber mit 1 mm durchgeführter Schichtdicke wurde in 7 von 100 Fällen festgestellt.
- Die Stadienbestimmung mit einer Schichtdicke von 5 mm unterschied sich von der Gruppe mit 1 oder 2 mm in 20 von 100 Fällen.
- Die Bestimmung des Verknöcherungsstadiums der medialen Klavikulaepiphyse mittels einer Schichtdicke von 7 mm zeigte im Vergleich zu den Untersuchungen mit Schichtdicken von 1 oder 2 mm einen Unterschied in 25 % der Fälle.

Die Studie von Mühler et al. (2006) hat im Rahmen der Untersuchungen des Einflusses der Schichtdicke auf die Genauigkeit der Bestimmung des Verknöcherungsgrades der medialen Klavikulaepiphyse die Empfehlung gegeben, dass eine Schichtdicke von 1 mm oder weniger zu präziseren Bestimmungen der Stadien führen kann.

Daher war das Ziel der Studie von Kellinghaus et al. (2010a) die Determination des Verknöcherungsgrades der brustbeinnahen Wachstumsfuge des Schlüsselbeins mittels einer Dünnschicht-Computertomographie. Eine Population von 592 Patienten, die im Rahmen von Trauma- und Notfalldiagnostik mittels Computertomographie untersucht worden sind, wurde retrospektiv analysiert. Die Patienten waren im Alter von 10 bis 35 Jahre. Aufgrund der Tatsache, dass die Patienten im Rahmen von Polytraumata untersucht werden mussten, wurde davon ausgegangen, dass die Patienten keine die Skelettentwicklung beeinflussenden Erkrankungen aufwiesen. Die untersuchten Aufnahmen wiesen die folgenden Schichtdicken auf: 0.6 mm in 3 Fällen, 1.0 mm in 301 Fällen, 1.25 mm in 122 Fällen, 1.5 mm in 77 Fällen. In 90 Fällen (15.1 %) war aufgrund von Frakturen, Aufhärtungsartefakten, Bewegungsartefakten oder Normvarianten eine zuverlässige Bestimmung des Ossifikationsstadiums nicht möglich. Die Stichprobe bestand aus 214 Frauen (42.6 %) und 288 Männern (57.4 %). Zur Bewertung der Aufnahmen wurden die Bilder in axialen und multiplanaren Ebenen rekonstruiert. Die Bestimmung der verschiedenen Stadien des Entwicklungsgrades der medialen Klavikulaepiphyse erfolgte entsprechend des Schemas von Schmeling et al. (2004b).

Unterschiede in den Entwicklungsstadien zwischen der linken und der rechten Seite wurden in 31 Fällen (6,1 %) beobachtet, dabei wurde die Seite, die das höhere Stadium aufwies, in die Auswertung eingeschlossen. Bezüglich möglicher Unterschiede zwischen den beiden Geschlechtern konnte eine statistisch signifikante Differenz im Stadium 2 beobachtet werden. Stadium 2 haben die Frauen durchschnittlich 18 Monate früher als die Männer erreicht. In den Stadien 3, 4 und 5 waren die Unterschiede allerdings statistisch nicht signifikant. In der männlichen Population wurde Stadium 2 erst ab dem 14., bei den weiblichen Individuen ab dem 13. Lebensjahr gesehen. Während bei männlichen Personen Stadium 3 frühestens ab dem 17. Lebensjahr beobachtet wurde, wurde es bei den Frauen schon ab dem 16. Lebensjahr registriert. Das Stadium 4 trat bei beiden Geschlechtern ab dem 21. Lebensjahr auf. Die früheste Beobachtung von Stadium 5 war sowohl bei den Männern als auch bei den Frauen im Alter von 26 Jahren.

In der Studie von Kellinghaus et al. (2010b) wurde untersucht, ob die Unterteilung der Stadien der Verknöcherung der brustbeinnahen Wachstumsfuge des Schlüsselbeines zu einer genaueren CT-basierten Altersschätzung führen könnte. Die Arbeitsgruppe hat die Thorax-CT-Aufnahmen von 186 Patienten, die schon in einer früheren Studie (Kellinghaus et al. 2010a) untersucht wurden, neu bewertet. Die 81 Frauen und 104 Männer waren im Alter von 13 bis 26 Jahre.

Die Stadien 2 und 3 wurden in mehrere Substufen unterteilt:

- Stadium 2a: Die Länge der Epiphyse beträgt weniger als ein Drittel der Metaphysenbreite.
- Stadium 2b: Die Länge der Epiphyse beträgt ein Drittel bis zwei Drittel der Metaphysenbreite.
- Stadium 2c: Die Länge der Epiphyse ist größer als zwei Drittel der Metaphysenbreite.
- Stadium 3a: Die metaphysäre-epiphysäre Verschmelzungsregion beträgt weniger als ein Drittel der Metaphysenbreite.

- Stadium 3b: Die metaphysäre-epiphysäre Verschmelzungsregion beträgt ein Drittel bis zwei Drittel der Metaphysenbreite.
- Stadium 3c: Die metaphysäre-epiphysäre Verschmelzungsregion ist größer als zwei Drittel der Metaphysenbreite.

Unterschiede in den Entwicklungsstadien zwischen der rechten und linken Seite wurden in 32 Fällen (17.3 %) beobachtet. Dabei wurde für die statistische Auswertung die Seite, die ein höheres Stadium aufwies, ausgewählt. Die Evaluation erfolgte für die beiden Geschlechter separat. Statistisch war der Unterschied aber nicht signifikant. Stadium 2a trat in der männlichen Population ab dem 14. Lebensjahr, in der weiblichen ab dem 13. Lebensjahr auf. Stadium 2b war frühestens bei den Männern ab dem 16. und bei den Frauen ab dem 15. Lebensjahr zu beobachten. Das früheste Auftreten von Stadium 2c war bei den Männern das 17. und bei den Frauen das 15. Lebensjahr. Stadium 3a war frühestens bei den Männern ab dem 17. und bei den Frauen ab dem 16. Lebensjahr zu beobachten. Das früheste Auftreten von Stadium 3b war bei den Männern das 18. und bei den Frauen das 17. Lebensjahr. Stadium 3c trat in der männlichen Population ab dem 19. Lebensjahr, in der weiblichen ab dem 19. Lebensjahr auf.

Wittschieber et al. (2014) führten eine neue Studie mit deutlich größeren Fallzahlen unter Einsatz der Unterstadieneinteilung nach Kellinghaus et al. (2010b) durch. Die 572 Präparate der Sternoklavikulargelenke von Personen im Alter zwischen 10 und 40 Jahren wurden durch eine 40-Zeilen-Computertomographie untersucht. Die eingestellte Schichtdicke betrug 0.6 mm. Anhand der zwei Einteilungsschemata nach Kellinghaus et al. (2010b) und Schmeling et al. (2004b), die der Bestimmung der Stadien der Ossifikation der medialen Klavikula dienen, erfolgte die Analyse der aufgenommenen Bilder von zwei erfahrenen Ärzten. Aus den ausgewerteten Daten wurden die entsprechenden Maßzahlen berechnet. Mithilfe der Stadieneinteilung nach Schmeling et al. (2004b) wurde Stadium 1 bei Frauen ab dem 12. und bei Männern ab dem 10. Lebensjahr beobachtet. Stadium 2 war bei Frauen ab dem 14. und bei Männern ab dem 15. Lebensjahr zu sehen. Jeweils ein Jahr später wurde Stadium 3 bei den beiden Geschlechtern festgestellt. Sowohl bei den

weiblichen als auch bei den männlichen Personen konnte Stadium 4 ab dem 21. Lebensjahr nachgewiesen werden. Ebenfalls war das Mindestalter für beide Geschlechter im Stadium 5 das 26. Lebensjahr. Anhand der Unterstadien nach Kellinghaus et al. (2010b) stand das Mindestalter in den Stadien 2a und 3a im Einklang mit dem, was in der Stadieneinteilung nach Schmeling et al. (2004b) bestimmt wurde. Das Zeitfenster im Stadium 2b befand sich für Frauen zwischen dem 14. und 15., für Männer zwischen dem 16. und 20. Lebensjahr. Stadium 2c war für die beiden Geschlechter ab dem 17. Lebensalter zu sehen. Das Mindestalter im Stadium 3b war bei Männern das 17. und bei Frauen das 16. Lebensjahr. Das Mindestalter im Stadium 3c war in beiden Geschlechtern mit 19 Jahren übereinstimmend. Daraus wurde geschlussfolgert, dass die Unterteilung der Stadien 2 und 3 nach Kellinghaus et al. (2010b) und die Anwendung von dünnen Schichtdicken zur Erhöhung der Beurteilungsfähigkeit des Verknöcherungsprozesses der medialen Klavikula beitragen. Außerdem kann beim Nachweis von Stadium 3c von einer Volljährigkeit ausgegangen werden. Daher ist es empfehlenswert, die Unterteilungsstadien nach Kellinghaus et al. (2010b) mit dem Einteilungsschema nach Schmeling et al. (2004b) zu kombinieren.

4.4 Vergleich der CT-Studien mit der eigenen Untersuchung

Durch die Betrachtung von Tabelle 31 können verschiedene Anhaltspunkte im Hinblick auf das jeweilige Zeitfenster, das einem bestimmten Stadium zugeordnet wurde, gewonnen werden. Das Stadium 1 wurde in der eigenen Arbeit in der Computertomographie-Untersuchung nicht beobachtet. In der vorliegenden Studie trat das Stadium 2 ab dem 16. Lebensjahr auf und wurde zuletzt bei einem 20-Jährigen registriert. Diese Beobachtung stimmt nur mit der Studie von Schulze et al. (2006), die allerdings Schichtdicken über 1 mm verwendet hat, überein. Bei allen anderen Studien war die Altersuntergrenze der untersuchten Population unter dem 16. Lebensjahr (bei Kreitner et al. 1997 und 1998 0 Jahre, bei Schulz et al. 2005 15 Jahre, in den Arbeiten von Kellinghaus et al. (2010a und b) 13 und 15 Jahre, bei Wittschieber et al. 2014 14 Jahre). Eine einfache Erklärung dieser Ergebnisse ist, dass sowohl in der aktuellen vorliegenden Studie als auch in der Arbeit von Schulz et al. (2005) die jüngste untersuchte Person mindestens 16 Jahre war.

In der Studie von Kreitner et al. (1997) war das Stadium 2 zwei Jahre länger als in der eigenen Studie nachweisbar. Dieses Phänomen ist bei fast allen Studien (Schulze et al. 2006, Schulz et al. 2005, Basset et al. 2011), die eine höhere Schichtdicke (>1 mm) eingesetzt haben, aufgetreten. Hingegen zeigen die Studien, die dünnere Schichten verwendet haben (Kellinghaus et al. 2010a, Wittschieber et al. 2014 und die aktuelle Studie), eine Übereinstimmung des Maximalalters. Die Verwertung der erhobenen Ergebnisse von Kreitner et al. (1997) ist aufgrund von vielen kritischen Punkte sehr fragwürdig, denn bei fehlender geschlechtsgetrennter Auswertung und sehr kleiner Stichprobe fehlen die wichtigen Bedingungen zur Etablierung einer Referenzstudie. Dazu kommt noch die Benutzung einer relativ hohen Schichtdicke, die einen erheblichen Einfluss auf die Bildauflösung und wiederum auf die Erkennung von für die Stadienbestimmung sehr wichtigen anatomischen Strukturen hat. Das im Stadium 2 maximal gefundene Alter lag in der aktuellen Studie bei 20 Jahre. Hier ist eine deutliche Abweichung im Sinne von einer früheren Erkennung der nicht verknöcherten Wachstumsfuge zwischen der Epi- und Metaphyse von den Studien, die eine dickere Schicht eingesetzt haben, zu verzeichnen. Die Übereinstimmung dieser Grenze mit den Studien, die auch gleiche (Wittschieber et al.

2014) bzw. auch dünnere Schichten (Kellinghaus et al. 2010a) angewandt haben, bestätigt den Einfluss des Partialvolumen-effekts und dessen Demaskierung von wichtigen Strukturen. Das Mindestalter, das im Stadium 3 beobachtet wurde, war in der vorliegenden Untersuchung das 16. Lebensjahr, was im Einklang mit den Resultaten der Arbeiten von Kreitner et al. (1997 und 1998), Schulz et al. (2005), Schulze et al. (2006) und Kellinghaus et al. (2010a) steht. Dieses bestimmte Mindestalter für das Stadium 3 ist allerdings anzuzweifeln, da einerseits in manchen Arbeiten (die aktuelle Studie, Schulze et al. 2006) das Mindestalter der untersuchten Probanden 16 Jahre betrug, andererseits wurden in den oben erwähnten Arbeiten deutlich dickere Schichten bis 8 mm bei Kreitner et al. (1997 und 1998), bis 7 mm bei Schulz et al. (2005), bis 10 mm bei Schulze et al. (2006) benutzt. Dies erklärt auch den Unterschied bis zu einem Jahr zu der Arbeit von Wittschieber et al. (2014), die eine Schichtdicke von 0.6 mm verwendete. In der aktuellen Arbeit war eine inkomplette Verbindung der Metaphyse mit der Epiphyse bis zum 28. Lebensjahr nachweisbar.

Das Stadium 4 trat in der Studie von Schulze et al. (2006) schon 2 Jahre früher auf. Da in 99 % der Fälle die Schichtdicke > 1 mm betrug, wird diese Tatsache als relevanteste Fehlerquelle betrachtet. Denn insbesondere zu einer adäquaten Differenzierung zwischen Stadium 3 und 4 ist eine dünne Schichtdicke von einer enormen Bedeutung, um eine partielle von einer kompletten Verschmelzung der Epiphyse mit der Metaphyse zu unterscheiden. Die niedrige Fallzahl dieser Studie, eine fragliche Kompetenz der Untersucher im Bereich der Bildgebungsverfahren (Zahnarzt und Mund-Kiefer-Gesichtschirurg) und keine geschlechtsgetrennte Auswertung sprechen gegen die Verwendung dieser Studie als Referenzstudie. Unter der Annahme, dass kleine Knorpelreste durch den Einsatz von breiten Schichtdicken nicht erfasst werden konnten, besteht die Chance die Person fälschlicherweise dem Stadium 4 zuzuordnen. Dies erklärt auch das späte Auftreten (bis zum 36. Lebensjahr) des 3. Stadiums in der Arbeit von Wittschieber et al. (2014). Da in der gegenwärtigen Arbeit die obere Altersgrenze 28 Jahre ist, kann ein sinnvoller Vergleich nicht gewährleistet werden. Das Stadium 4, das für die Frage der Volljährigkeit für die forensische Altersfestlegung am relevantesten ist, wurde in der vorliegenden Studie ab dem 21. Jahr registriert. Dieser Befund deckt sich mit den

Arbeiten von Schulz et al. (2005), Kellinghaus et al. (2010a) und Wittschieber et al. (2014). Die wiederum nach oben eng begrenzte Altersverteilung der Stichprobe erschwert eine valide Komparabilität mit den vorliegenden Studien. Das Zeitfenster des Auftretens des Stadiums 4 wurde in der australischen Studie von Basset et al. (2011) mit 17 Jahre angegeben. Die große Abweichung zu den anderen Arbeiten stellt die Ergebnisse dieser Studie in Frage. Besonders bemerkenswert in dieser Studie ist der fehlende Anstieg des Mindestalters in den jeweiligen Stadien. Denn das Mindestalter in den Stadien 3, 4 und 5 bei Männern betrug immer konstant 17 Jahre. Stadium 5 trat sogar 9 Jahre früher auf als in den Studien von Kellinghaus et al. (2010a), Wittschieber et al. (2014) und in der aktuellen Studie. Diese Abweichungen könnten auf die Qualifikation der Untersucher und die Art der Bestimmung der Stadien zurückgeführt werden. Denn Basset et al. (2011) berichten, dass sie das Stadium anhand einer einzigen „repräsentativen“ Schicht definiert haben. Weitere Details wurden leider nicht erwähnt. Dies konnte zu einer erheblichen Abweichung der bestimmten Stadien führen.

Das Stadium 5 wurde in der vorliegenden Studie frühestens ab dem 26. Jahr beobachtet. Wenn man dieses Ergebnis mit den Studien, die auch eine ähnliche Schichtdicke (Wittschieber et al. 2014) oder relativ dünne Schichten (Kellinghaus et al. 2010a bis 1.5 mm) verwendet haben, vergleicht, ist eine Übereinstimmung festzustellen. In der Arbeit von Schulz et al. (2005) tritt dieses Stadium schon ab dem 21. Lebensjahr auf. Eine genauere Betrachtung dieser Arbeit zeigt, dass nur in drei Fällen von den 556 untersuchten Sternoklavikulargelenken eine Schichtdicke von 1 mm verwendet wurde. In den meisten Fällen (546 Aufnahmen) betrug die Schichtdicke 7 mm. Diese hohen Schichtdicken könnten das Übersehen der vorhandenen Epiphysennarbe erklären. Zusammenfassend spricht die große Übereinstimmung der gegenwärtigen Arbeit mit den Arbeiten, die ähnlich geringe Schichtdicken verwendet haben, für die Notwendigkeit und gleichzeitig für die Bedeutung der Benutzung dünner Schichten, um eine Referenzstudie zu etablieren.

Tabelle 31: Computertomographie-Studien

N: Fallanzahl, S: Geschlechtstrennung, SD: Schichtdicke

Studie	N	S	SD (mm)	Stadium 1	Stadium 2	Stadium 3	Stadium 4	Stadium 5	Altersgrenze (Jahre)
Kreitner et al. 1997	279	Nein	1-8	0-16	13-22	16-26	22-29	-	0-29
Kreitner et al. 1998	380	nein	1-8	0-16	11-22	16-26	22-29		0-29
Schulz et al. 2005	629	Ja	1-7	-	15-23	16-28	21-30	21-30	15-30
Schulze et al. 2006	100	Nein	1-10	-	16.24	16-25	19-25	-	16-25
Kellinghaus et al. 2009	502	Ja	0.6-1.5	10-15	13-20	16-26	21-35	26-35	10-35
Bassed et al. 2011	647	Ja	1-2	15-25	15-25	17-25	17-25	17-25	15-25
Wittschieber et al. 2014	493	Ja	0.6	10-15	14-20	15-36	21-40	26-40	10-40
Aktuelle Studie	355	Ja	0.6	-	16-20	16-28	21-28	26-28	16-28

4.5 Bisherige Studien zum Modalitätenvergleich

Der Vergleich zwischen den verschiedenen der forensischen Diagnostik dienenden Modalitäten ist in der Literatur in verschiedenen Varianten beschrieben worden. Die erste Studie mit der Frage, ob die Beurteilung des Verknöcherungsgrades der medialen Klavikulaepiphyse im Rahmen der forensischen Altersdiagnostik mittels Projektionsradiographie und Computertomographie zu identischen Ergebnissen führt, wurde von Schulz et al. (2008) durchgeführt. Es wurde die Stadienbestimmung von 57 Individuen (52 Männer, 4 Frauen), bei denen sowohl eine Projektionsradiographie als auch eine Computertomographie der brustbeinnahen Wachstumsfuge des Schlüsselbeins durchgeführt wurde, verglichen. Zur Beurteilung des Ossifikationsgrades der Epiphyse des Schlüsselbeines wurde die posterior-anteriore Ebene in der Projektionsradiographie ausgewertet. Eine Schichtdicke von 1 mm wurde bei der CT-Untersuchung eingestellt. Der Verknöcherungsstatus der medialen Klavikulaepiphyse wurde analog zur der Stadieneinteilung nach Schmeling et al. (2004b) bestimmt. Mit Hilfe der Computertomographie konnten alle Wachstumsfugen der Schlüsselbeine einem Stadium zugeordnet werden. In 15 von den 114 Schlüsselbeinen konnte die Stadienbestimmung durch die Projektionsradiographie aufgrund des Überlagerungseffektes nicht eindeutig vorgenommen werden. Eine Übereinstimmung des ermittelten Stadiums in beiden Modalitäten fand sich in 97 von den 99 Schlüsselbeinen, in den übrigen zwei Fällen zeigte sich eine Divergenz zwischen den beiden Modalitäten, hier wurde mittels CT ein Stadium früher gegenüber der Projektionsradiographie bestimmt. Diese retrospektive Analyse der Projektionsradiographie- und Computertomographie- Aufnahmen des Sternoklavikulargelenkes schlussfolgerte, dass in der Altersschätzungs-praxis modalitätsspezifische Referenzstudien eingesetzt werden sollten.

Der Vergleich zwischen der strahlungsfreien Magnetresonanztomographie und den strahlungsassoziierten Bildgebungsverfahren im Hinblick auf die Bestimmung des Verknöcherungsgrades der medialen Klavikulaepiphyse zwecks Altersdiagnostik wurde ebenfalls untersucht.

In der Studie von Vieth et al. (2010) wurden 8 Sternoklavikulargelenkpräparate von 6 männlichen und 2 weiblichen Individuen der Altersgruppe 15 bis 17 Jahre mittels Projektionsradiographie, CT und MRT untersucht. 2 Aufnahmen der Projektionsradiographie erfolgten in obliquen Ebenen, eine in anterior-posteriorer, wobei sich die Projektion auf das rechte und linke Gelenk der Sternoklavikularregion fokussierte. In der Computertomographie wurde eine Schichtdicke von 1 mm, in der Magnetresonanztomographie von 1,4 mm verwendet.

In der Studie wurde der Ossifikationsstatus der Klavikulaepiphyse entsprechend der von Schmeling et al. (2004b) beschriebenen Stadieneinteilung ausgewertet. In den Schichtbildern wurde die Koronarebene ausgewertet, in der Projektionsradiographie wurden Aufnahmen aller drei Ebenen betrachtet. In allen 3 Modalitäten konnte der Ossifikationsgrad der medialen Sternoklavikulargelenke ausgewertet werden. Aus den 15 Sternoklavikulargelenken standen die Stadien der Ossifikation in den 3 Bildgebungsverfahren nur in 6 Fällen in Einklang. In den übrigen Sternoklavikulargelenken (9 Fälle) gab es jeweils eine Differenz um ein Stadium, das sowohl höher als auch niedriger im Vergleich zu den anderen beiden Verfahren eingestuft wurde. Der Vergleich der ermittelten Stadien mittels CT und MRT zeigte eine Übereinstimmung in 13 von 15 Fällen. Eine Divergenz zwischen den bestimmten Stadien mit Hilfe von Computertomographie und Projektionsradiographie wurde in 7 Fällen beobachtet. Diese Diskrepanz wurde auf den Überlagerungseffekt in der Projektionsradiographie zurückgeführt. Die Studie schlussfolgerte, dass ein zuverlässiger Einsatz der Bildgebungsverfahren im Rahmen der Altersdiagnostik zur Beurteilung des Ossifikationsstatus der medialen Epiphyse der Schlüsselbeine modalitätsspezifische Referenzstudien voraussetzt.

4.6 Gegenüberstellung der eigenen Ergebnisse beider Modalitäten mit der Literatur

Die Ermittlung der Verknöcherungsstadien der Epiphysenfugen der Schlüsselbeine konnte an mindestens einer Seite des Sternoklavikulargelenkes mit Hilfe der Projektionsradiographie in 262 Fällen (73 %), durch die Computertomographie in 311 Fällen (87 %) und durch die beiden Modalitäten zusammen in 248 Fällen (70,1 %) erfolgen. In 107 Fällen (29,1 %) war die Beurteilung zumindest in einer der beiden Modalitäten unmöglich. Die Auswertung dieser 248 Präparate wurde noch genauer betrachtet. Hier konnte festgestellt werden, dass eine Übereinstimmung der bestimmten Stadien in beiden Bildgebungsverfahren nur in 171 Fällen (69 %) bestand. Die Verteilung der Fälle auf die Stadien war wie folgt:

Stadium 2 : 2 Fälle,

Stadium 3 : 116 Fälle,

Stadium 4 : 41 Fälle,

Stadium 5: 12 Fälle.

Dieser 69 %ige Einklang scheint gegen die 97 %ige Übereinstimmung, die in der Studie von Schulz et al. (2008) festgestellt wurde, deutlich geringer zu sein. Eine mögliche Erklärung diesbezüglich könnte einerseits die größere Schichtdicke, die in der Arbeit von Schulz et al. (2008) angewendet wurde, sein, andererseits beträgt die Anzahl der Fälle in der gegenwärtigen Studie etwa das Fünffache der Fälle von der Arbeit von Schulz et al. (2008). Ein nicht irrelevanter Punkt in der Studie von Schulz et al. ist die Anzahl der Fälle mit Stadium 4, dies sind nämlich nur 5 Fälle. Demgegenüber war in der eigenen Studie Stadium 4 mit 38 Fällen (49 %) ein Teil des ausschlaggebenden Punktes für die entstehende Diskrepanz zwischen den beiden Verfahren. In der Studie von Schulz et al. (2008) wurde nur in 2 Fällen (von insgesamt 99 Fällen) eine Diskrepanz der bestimmten Stadien mittels der beiden Modalitäten festgestellt. Während in der Computertomographie Stadium 2 bestimmt wurde, wurde das selbe Präparat in der Projektionsradiographie als Stadium 3 eingestuft.

In der Studie von Vieth et al. (2010) betrug die Übereinstimmung der ermittelten Stadien zwischen Projektionsradiographie und Computertomographie hingegen nur 53 % (in 8 von 15 Fällen). In den übrigen 7 Fällen wurde in 5 Fällen ein höheres Stadium (Stadium 3 statt Stadium 2) in der Projektionsradiographie gegenüber der Computertomographie erhoben, in den anderen 2 Fällen ein niedrigeres Stadium (Stadium 2 statt Stadium 3 und Stadium 1 statt Stadium 2) bestimmt. Während in der eigenen Studie bei der Auswertung der Projektionsradiographie-Bilder nur die posterior-anteriore Projektion beurteilt wurde, wurden in der Studie von Vieth et al. (2010) alle 3 Ebenen berücksichtigt. Dass dieser Unterschied auch eine Rolle spielen kann, wurde in der Studie von Wittschieber et al. (2015) gezeigt. Zudem wurden von Vieth et al. (2010) in der Computertomographie nur die Aufnahmen der Koronarebene ausgewertet, hingegen in der eigenen Studie nur die transversale Ebene. Bemerkenswert ist die Übereinstimmung der ermittelten Stadien zwischen den beiden Schnittbildgebungsverfahren (MRT und CT), hier betrug die Konkordanz nämlich 86 %. Diese relativ hohe Übereinstimmung kann darauf zurückgeführt werden, dass in den beiden Verfahren der Überlagerungseffekt fehlt. Die Verwendung von unterschiedlichen Schichtdicken ist möglicherweise der Grund der bestehenden Diskrepanz, denn in der MRT-Untersuchung wurde eine Schichtdicke von 1,4 mm, in der Computertomographie von 1 mm verwendet. Insgesamt ist allerdings die Aussagekraft dieser Studie von Vieth et al. (2010) aufgrund der geringen Fallzahlen eingeschränkt.

In der eigenen Studie fand sich in 7 Fällen eine Diskrepanz zwischen den beiden Modalitäten von 2 Stadien, bei den übrigen 70 Fällen bestand ein einstufiger Unterschied. Von den 77 Fällen wurde in 22 Fällen (29 %) in der Computertomographie ein höheres Stadium festgestellt. Bei 55 Personen (71 %) wurde in der Computertomographie ein niedrigeres Stadium bestimmt. Die Verteilungen der Stadien in den 77 Präparaten, bei denen durch die beiden Verfahren unterschiedliche Ossifikationsstadien bestimmt worden sind, wurden ausführlicher analysiert. Von 77 Präparaten wurden in der Projektionsradiographie 34 Präparate Stadium 3, 5 Präparate Stadium 4 und 38 Präparate Stadium 5 zugeordnet. Der Vergleich dieser Ergebnisse mit den ermittelten Stadien aus der Computertomographie zeigte folgende Aspekte:

Aus den 34 Präparaten wurden in der Computertomographie 12 Fälle Stadium 2, 21 Fälle Stadium 4 und ein Fall Stadium 5 zugeordnet. Das zeigt eine Unterschätzung um ein Stadium in etwa 35 %, eine Überschätzung um ein Stadium in etwa 62 % und um 2 Stadien bei einem Präparat. Die 5 Fälle aus dem Stadium 4 in der Projektionsradiographie wurden alle in der Computertomographie Stadium 3 zugeordnet. In den 38 Präparaten des Stadiums 5 in der Projektionsradiographie wurden in der Computertomographie 6 Fälle als Stadium 3 eingestuft und 32 Präparate als Stadium 4 bewertet. Hier konnte eine Unterschätzung um 2 Stadien in 16 % und um ein Stadium in 84 % verzeichnet werden.

Ein geschlechtsgetrennter Vergleich der Zeitfenster in den beiden Modalitäten zeigt eine Übereinstimmung in den Stadien 3 und 5 bei Männern und im Stadium 5 bei Frauen. In der Computertomographie wurde das Stadium 2 bei Männern ein Jahr länger als in der Projektionsradiographie gesehen. Dies könnte auf die niedrigere Aussagekraft bei der Auswertung der posterior-anterioren Aufnahmen durch die Überlagerungseffekte zurückgeführt werden. So wurden möglicherweise Präparate, die eigentlich noch keine partielle Verschmelzung zeigten, fälschlicherweise einem Stadium 3 zugeordnet. Stadium 4 trat bei Männern in der Computertomographie ein Jahr früher als in der Projektionsradiographie auf. Hier ist wiederum die Rolle von Überlagerungseffekten der Projektionsradiographie bei der Maskierung von Knorpelresten zu diskutieren. Das Mindestalter des Stadiums 4, welches rechtlich besonders relevant ist, ist in den beiden Modalitäten bei Frauen übereinstimmend.

5. Fazit

Zur Schätzung des Alters stehen aktuell verschiedene Methoden und Verfahren zur Verfügung. Eine dieser Methoden ist die Beurteilung des Ossifikationsgrades der medialen Klavikulaepiphyse. Dies kann durch verschiedene Bildgebungsverfahren praktiziert werden. Die Computertomographie und die Projektionsradiographie gehören in diesem Rahmen zu den häufig eingesetzten Verfahren.

Die aktuell durchgeführte Studie versucht, die Vor- und Nachteile dieser beiden Verfahren zu analysieren. Aus der statistischen Auswertung der Studie wurde geschlossen, dass die Computertomographie als Goldstandard anzunehmen ist. Denn die Computertomographie hat als ein Schnittbildverfahren den Summationseffekt, welcher in der Projektionsradiographie durch die Überlagerung anderer anatomischer Strukturen (in unserem Fall Sternum und 1. Rippe) auftritt, überwinden können. Hierdurch konnten deutlich mehr Sternoklavikulargelenke als in der Projektionsradiographie ausgewertet werden (311 vs. 262). Eine nur 69-prozentige Übereinstimmung der ermittelten Stadien für die beiden Methoden spricht für die Empfehlung, für jedes Bildgebungsverfahren eine eigene Referenzstudie zu etablieren.

Die wichtigste praxisrelevante Schlussfolgerung dieser Studie ist, dass beim Nachweis vom Stadium 4 davon auszugehen ist, dass die Person mindestens 21 Jahre alt ist.

Die Computertomographie des Schlüsselbeines kann zwar als Bildgebungsverfahren der Wahl zur Altersdiagnostik angesehen werden, sollte aber natürlich nicht als einziges Verfahren der forensischen Altersdiagnostik verwendet werden, sondern Teil der verschiedenen von der AGFAD zur Altersschätzung empfohlenen Methoden sein.

6. Literaturverzeichnis

1. Bassed RB, Drummer OH, Briggs C, Valenzuela A (2011) Age estimation and the medial clavicular epiphysis: analysis of the age of majority in an Australian population using computed tomography. *Forensic Sci Med Pathol* 7:148–54
2. Cameriere R, De Luca S, De Angelis D, Merelli V, Giuliadori A, Cingolani M, Cattaneo C, Ferrante L (2012) Reliability of Schmelting's stages of ossification of medial clavicular epiphyses and its validity to assess 18 years of age in living subjects. *Int J Legal Med* 126:923-32
3. Channing-Pearce SM, Solomon L (1987) Pubertal development in black and white Johannesburg girls. *S Afr Med J* 71: 22-24.
4. Demirjian A, Goldstein, J.M Tanner J.M (1973) A new system of dental age assesment. *Hum Biol* 45:211-27
5. Flecker H (1933) Roentgenographic observations of the times of appearance of epiphyses and their fusion with the diaphyses. *J Anat* 67:118-164
6. Flügel B, Greil H, Sommer K (1986) *Anthropologischer Atlas*. Wöztel, Frankfurt a. M.
7. Galstaun G (1937) A study of ossification as observed in Indian subjects. *Indian J Med Res* 25:267-324.
8. Greulich WW, Pyle SI (1959) *Radiographic atlas of skeletal development of the hand and wrist*. Stanford University Press, Stanford, California
9. Gurdeep K, Khandelwal N, Jasuja OP (2010) Computed tomographic studies on ossification status of medial epiphysis of clavicle: effect of slice thickness and dose distribution. *J Indian Acad Forensic Med* 32: 298-302

10. Gustafson G, Koch G (1974) Age estimation up to 16 years of age based on dental development. *Odontol Rev* 25:297–306
11. Garamendi PM, Landa MI, Botella MC, Alemán I (2011) Forensic age estimation on digital X-ray images: medial epiphyses of the clavicle and first rib ossification in relation to chronological age. *J Foensic Sci* 56:S3-S12
12. Gilsanz V, Ratib O (2005) *Hand bone age. A digital atlas of skeletal maturity.* Springer, Berlin Heidelberg New York Tokio
13. Gleiser I, Hunt EE (1955) The permanent mandibular first molar; its calcification, eruption and decay. *Am J Phys Anthropol* 13:253–284
14. Graham CB (1972) Assessment of bone maturation - methods and pitfalls. *Radiol Clin N Amer* 10:185–202
15. Harlan WR, Grillo GP, Cornoni-Huntley J, Leaverton PE (1979) Secondary sex characteristics of boys 12 to 17 years of age – United States Health Examination Survey. *J Pediatr* 95:293–297
16. Harlan WR, Harlan EA, Grillo GP (1980) Secondary sex characteristics of girls 12 to 17 years of age – United States Health Examination Survey. *J Pediatr* 96:1074–1078
17. Harris MJP, Nortje CJ (1984) The mesial root of the third mandibular molar. A possible indicator of age. *J Forensic Odontostomatol* 2:39–43
18. Harnack v. G-A (1974) Reifebestimmung des Skeletts im Kindesalter. *Z Geburtshilfe Perinatol* 178:237-244
19. Heinrich UE (1986) Die Bedeutung der radiologischen Skelettalterbestimmung für die Klinik. *Radiologe* 26:212-215

20. Huen KF, Leung SS, Lau JT, Cheung AY, Leung NK, Chiu MC (1997) Secular trend in the sexual maturation of southern Chinese girls. *Acta Paediatr* 86:1121–1124
21. Jit I, Kulkarni M (1976) Times of appearance and fusion of epiphysis at the medial end of the clavicle. *Indian J Med* 64:773-782
22. Kaatsch HJ (2001) Juristische Aspekte der Altersschätzung. In: Oehmichen M, Geserick G (Hrsg) *Osteologische Identifikation und Altersschätzung*. Schmidt-Römhild, Lübeck, S 243–254
23. Kellinghaus M, Schulz R, Vieth V et al. (2010a) Forensic age estimation in living subjects based on the ossification status of the medial clavicular epiphysis as revealed by thin-slice multidetector computed tomography. *Int J Legal Med* 124:149–154
24. Kellinghaus M, Schulz R, Vieth V, Schmidt S, Pfeiffer H, Schmeling A (2010b) Enhanced possibilities to make statements on the ossification status of the medial clavicular epiphysis using an amplified staging scheme in evaluating thin-slice CT scans. *Int J Legal Med* 124:321–325
25. Kreitner K-F, Schweden F, Schild HH, Riepert T, Nafe B (1997) Die computertomographisch bestimmte Ausreifung der medialen Klavikulaepiphyse - Eine additive Methode zur Altersbestimmung im Adoleszentenalter und in der dritten Lebensdekade? *Fortschr Röntgenstr* 166:481–486
26. Kreitner K-F, Schweden FJ, Riepert T, Nafe B, Thelen M (1998) Bone age determination based on the study of the medial extremity of the clavicle. *Eur Radiol* 8:1116–1122
27. Kullman L, Johanson G, Akesson L (1992) Root development of the lower third molar and its relation to chronological age. *Swed Dent J* 16:161–167
28. Meijerman L, Maat GJ, Schulz R, Schmeling A (2007) Variables affecting the probability of complete fusion of the medial clavicular epiphysis. *Int J Legal Med* 121:463–8

29. Mühler M, Schulz R, Schmidt S, Schmeling A, Reisinger W (2006) The influence of slice thickness on assessment of clavicle ossification in forensic age diagnostics. *Int J Legal Med* 120:15-17
30. Neyzi O, Alp H, Yalcindag A, Yakacikli S (1975) Sexual maturation in Turkish boys. *Ann Hum Biol* 2:251–259
31. Olze A, Schmeling A, Taniguchi M, Maeda H, van Niekerk P, Wernecke KD, Geserick G (2004) Forensic age estimation in living subjects: the ethnic factor in wisdom tooth mineralization. *Int J Legal Med* 118:170-3
32. Olze A, Bilanz D, Schmidt S, Wernecke KD, Geserick G, Schmeling A (2005) Validation of common classification systems for assessing the mineralization of third molars. *Int J Legal Med* 119:22-6
33. Olze A, van Niekerk P, Ishikawa T, Zhu BL, Schulz R, Maeda H, Schmeling A (2007) Comparative study on the effect of ethnicity on wisdom tooth eruption. *Int J Legal Med* 121:445-448
34. Parzeller M (2010) Rechtliche Aspekte der forensischen Altersdiagnostik. *Rechtsmedizin* 21:12–21
35. Poland J (1989) skiagraphic atlas; showing the development of the bones of the wrist and hand. Smith, Elder, & Co., London
36. Roche AF, Chumlea WC, Thissen D (1988) Assessing the skeletal maturity of the hand-wrist: Fels method. C. C. Thomas, Springfield
37. Roo T, Schröder HJ (1976) Pocket atlas of skeletal age. Martinus Nijhoff, The Hague.
38. Schmeling A, Reisinger W, Loreck D, Vendura K, Markus W, Geserick G (2000) Effects of ethnicity on skeletal maturation: consequences for forensic age estimations. *Int J Legal Med* 113:253–258

39. Schmeling A, Kaatsch H-J, Marré B, Reisinger W, Riepert T, Ritz-Timme S, Rösing FW, Rötzscher K, Geserick G (2001a) Empfehlungen für die Altersdiagnostik bei Lebenden im Strafverfahren. Rechtsmedizin 11:1–3
40. Schmeling A, Olze A, Reisinger W, Geserick G (2001b) Der Einfluß der Ethnie auf die bei strafrechtlichen Altersschätzungen untersuchten Merkmale. Rechtsmedizin 11:78-81
41. Schmeling A, Lockemann U, Olze A, Reisinger W, Fuhrmann A, Püschel K, Geserick G (2004a) Forensische Altersdiagnostik bei Jugendlichen und jungen Erwachsenen. Dtsch Arztebl 101:A1261-A1265
42. Schmeling A, Schulz R, Reisinger W, Mühler M, Wernecke K-D, Geserick G (2004b) Studies on the time frame for ossification of medial clavicular epiphyseal cartilage in conventional radiography. Int J Legal Med 118:5–8
43. Schmeling A (2011) Forensische Altersdiagnostik bei lebenden Jugendlichen und jungen Erwachsenen. Rechtsmedizin 21:151–162
44. Schmidt S, Fracasso T, Pfeiffer H, Schmeling A (2010) Skelettaltersbestimmung der Hand. Rechtsmedizin 20:475–482
45. Schmidt S, Nitz I, Ribbecke S, Schulz R, Pfeiffer H, Schmeling A (2013) Skeletal age determination of the hand: a comparison of methods. Int J Legal Med 127:691–698
46. Schulz R, Mühler M, Mutze S, Schmidt S, Reisinger W, Schmeling A (2005) Studies on the time frame for ossification of the medial epiphysis of the clavicle as revealed by CT scans. Int J Legal Med 119:142–145
47. Schulz R, Mühler M, Reisinger W, Schmidt S, Schmeling A (2008) Radiographic staging of ossification of the medial clavicular epiphysis. Int J Legal Med 122:55–8.

48. Schulze D, Rother U, Fuhrmann A, Richel S, Faulmann G, Heiland M (2006) Correlation of age and ossification of the medial clavicular epiphysis using computed tomography. *Forensic Sci Int* 3:184–189
49. Tanner, J. M. (1962) *Growth at adolescence*, 2nd Edition. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
50. Tanner JM, Whitehouse RM, Marshall WA, Healy MJR, Goldstein H (1975) *Assessment of skeletal maturity and prediction of adult height TW2 method*. Academic Press, London
51. Tanner JM, Healy MJR, Goldstein H, Cameron N (2001) *Assessment of skeletal maturity and prediction of adult height (TW3 method)*. Saunders, London
52. Thiemann H-H, Nitz I (1991) *Röntgenatlas der normalen Hand im Kindesalter*. Thieme, Leipzig
53. Thiemann HH, Nitz I, Schmeling A (2006) *Röntgenatlas der normalen Hand im Kindesalter*. Thieme, Stuttgart.
54. UNHCR: *Global Trends 2014*, <http://www.unhcr.de/service/zahlen-und-statistiken.html>
55. Vieth V, Kellinghaus M, Schulz R, Pfeiffer H, Schmeling A (2010) Beurteilung des Ossifikationsstadiums der medialen Klavikulaepiphysenfuge. Vergleich von Projektionsradiographie, Computertomographie und Magnetresonanztomographie. *Rechtsmedizin* 20:483–488
56. Webb PA, Suchey JM (1985) Epiphysial union of the anterior iliac crest and medial clavicle in a modern multiracial sample of American males and females. *Am J Phys Anthropol.* 68:457-466
57. Wittschieber D, Schulz R, Vieth V, Küppers M, Bajanowski T, Ramsthaler F, Püschel K, Pfeiffer H, Schmidt S, Schmeling A (2014) The value of sub-stages and

thin slices for the assessment of the medial clavicular epiphysis: a prospective multi-center CT study. *Forensic Sci Med Pathol* 10:163–169

58. Wittschieber D, Ottow C, Vieth V, Küppers M, Schulz H, Hassu J, Bajanowski T, Püschel K, Ramsthaler F, Pfeiffer H, Schmidt S, Schmeling A (2015) Projection radiography of the clavicle: still recommendable for forensic age diagnostics in living individuals? *Int J Legal Med* (2015) 129:187–193
59. Wong GW, Leung SS, Law WY, Yeung VT, Lau JT, Yeung WK (1996) Secular trend in the sexual maturation of southern Chinese boys. *Acta Paediatr* 85:620–621

7. Danksagung:

Diese Arbeit hätte ich ohne die großzügige Unterstützung von Personen, die mich bis zu diesem Zeitpunkt begleitet und motiviert haben, nicht zum Abschluss bringen können.

Daher möchte ich hier insbesondere meinem Doktorvater Herrn Prof. Andreas Schmeling danken, der mir mit seinem hervorragenden Fachwissen zur Seite stand, mich trotz der vielen Schwierigkeiten weiter motivierte und nicht zuletzt kontinuierlich betreute.

Ebenso möchte ich Herrn Dr. Daniel Wittschieber für seine freundliche Betreuung insbesondere im Rahmen der Bearbeitung von Exceltabellen und der radiologischen Bilder danken.

Für die ausführliche Einweisung an der Computertomographie und der Projektionsradiographie und seine Hilfe bei radiologischen Fragestellungen möchte ich mich ebenfalls bei Herrn Dr. Vieth bedanken.

Weiterhin danke ich den medizinischen-technischen Radiologieassistentinnen des Institutes für Klinische Radiologie am Universitätsklinikum Münster, die mir stets Ansprechpartnerinnen waren und mich bei der Inbetriebnahme der Computertomographie und der Projektionsradiographie unterstützt haben.

Ich danke meinen Eltern für ihre liebevolle Erziehung, ihre Unterstützung während des Studiums und der Vorbereitung auf das Leben.

