

5. Diskussion

5.1 Die Bewertung der Ergebnisse der vorliegenden Studie

Die Datensammlung dieser Arbeit basiert auf 650 Handröntgenbildern von insgesamt 13 konsekutiven Jahrgängen. Die Daten für die retrospektive Studie wurden über einen Zeitraum von ca. 17 Jahren (1986-2002) gesammelt, wobei den ausgewählten Probanden eine altersentsprechende Entwicklung zugrunde lag.

Neben einer getrennten Bearbeitung dieser Handröntgenaufnahmen nach Greulich & Pyle (1959) sowie Thiemann & Nitz (1991) erfolgte weiterhin eine separate Analyse der weiblichen und männlichen Probanden. Dabei ergab sich für die Schätzung des Skeletalters in Gegenüberstellung zum Kalenderalter nach der Methode von Thiemann & Nitz (1991) für die weiblichen Probanden eine durchschnittliche Standardabweichung von 0,9 Jahren. Das entspricht einem Zeitraum von 10,8 Monaten. Bei den männlichen Probanden ergab sich eine durchschnittlich Standardabweichung von 0,7 Jahren. Das entspricht einem Zeitraum von 8,4 Monaten.

Insgesamt zeigte sich bei beiden Geschlechtern eine Tendenz zur Überschätzung des Kalenderalters anhand des geschätzten Skeletalters, die bei den weiblichen Probanden ausgeprägter erschien.

Wurden die weiblichen Probanden nach dem Verfahren von Greulich & Pyle (1959) beurteilt, so ergab sich für das geschätzte Skeletalter in Gegenüberstellung zum chronologischen Alter eine durchschnittliche Standardabweichung von 1,0 Jahren. Das entspricht einem Zeitraum von 12,0 Monaten. Demgegenüber zeigte sich bei den männlichen Probanden eine Standardabweichung von 0,7 Jahren. Das entspricht einem Zeitraum von 8,4 Monaten. Auch nach diesem Verfahren zeigte sich für beide Geschlechter die Tendenz zur Altersüberschätzung anhand von Handröntgenaufnahmen, die auch hier bei den Mädchen ausgeprägter erschien.

Die Ergebnisse der Regressionsanalysen bestätigten grundsätzlich eine enge Beziehung zwischen dem geschätzten Skeletalter und dem chronologischen Alter.

Dabei wurde wiederum deutlich, dass sowohl bei der Untersuchung mit der jeweiligen Methode, als auch im Vergleich beider Verfahren, eine engere Korrelation zwischen dem geschätzten Skeletalter und dem chronologischen Alter bei den männlichen Probanden im Gegensatz zu den Mädchen vorlag.

Die Studie belegte, dass bei beiden Methoden und der zugrundegelegten Stichprobe aus einer deutschen Population eine zunehmende Tendenz zur Akzeleration und vorzeitigen Reife besteht. Anhand der Standardabweichungen ist nach beiden Verfahren bei den Mädchen eine Überschätzung des Kalenderalters von bis zu einem Jahr, bei den Jungen von ca. 8 Monaten, einzukalkulieren. Auch bezüglich der Spannweiten der geschätzten Skeletalter erbrachten beide Methoden ein ähnliches Ergebnis. Bei den Mädchen betrug die durchschnittliche Spannweite für die Thiemann-Nitz-Methode (1991) 3,0 Jahre, für die Greulich-Pyle-Methode (1959) 3,5 Jahre. Bei den Knaben betrug die durchschnittliche Spannweite der geschätzten Skeletalter nach Thiemann & Nitz (1991) 2,4 Jahre, nach Greulich & Pyle (1959) 2,5 Jahre.

5.2 Die Methode nach Greulich & Pyle (1959)

Der standardisierte Atlas von Greulich & Pyle (1959) liefert sehr wahrscheinlich das weltweit verbreitetste und anerkannteste Verfahren zur Skeletalterschätzung anhand von Röntgenaufnahmen der Hand (Sproul et al. 1971). Die Methode kam ursprünglich vor allem bei klinisch tätigen Ärzten zur Anwendung und konnte sich von Anbeginn der Altersschätzung bei Lebenden auch auf dem Gebiet der Rechtsmedizin etablieren.

Trotz der großen Verbreitung und hohen Akzeptanz der Altersschätzung nach Greulich & Pyle (1959), belegen zahlreiche Arbeiten die über nahezu den gesamten Anwendungszeitraum kritische Auseinandersetzung mit diesem Verfahren.

In der vorliegende Arbeit zeigte sich bei der Auswertung der Röntgenaufnahmen anhand der Methode nach Greulich & Pyle (1959) insbesondere bei den weiblichen Probanden ein überwiegend akzeleriertes Skeletalter gegenüber den Referenzstandards. Diese Tatsache lässt sich vermutlich in einer grundsätzlich akzelerierten Entwicklung mit früherer und schnellerer Reifung in westlichen, industrialisierten Regionen begründen. Weiterhin sind in diesem Zusammenhang sicherlich neben dem sozioökonomischen Status auch die landestypischen Ernährungsgewohnheiten der untersuchten Probanden zu berücksichtigen. Eine Arbeit von Schmeling et al. (2005) konnte zeigen, dass der Grad des wirtschaftlichen und medizinischen Fortschritts in einer akzelerierten Ossifikation resultiert. Daher sollte berücksichtigt werden, dass Personen mit der Herkunft aus einem wirtschaftlich und medizinisch weniger fortschrittlichen Land anhand der Referenzstandards nach Greulich & Pyle (1959) bezüglich ihres Alters unterschätzt werden können.

Kemperdick (1979) hob hervor, dass „ohne Überprüfung nicht davon ausgegangen werden darf, dass eine Methode zur Bestimmung des Skeletalters nicht unbesehen übernommen werden kann“. Er untersuchte eine Population westdeutscher Kinder und Jugendlicher und entwickelte, basierend auf einem Vergleich zwischen der Altersschätzung nach Greulich & Pyle (1959) mit dem kalendarischen Alter, Korrekturwerte für diese untersuchte Gruppe. Damit macht er deutlich, dass nicht grundsätzlich die Methode in Frage gestellt werden sollte, sondern dass es sinnvoll erscheint, die Skeletaltersstandards dem jeweiligen Niveau der untersuchten Population anzugleichen.

Trotz der überwiegend fehlenden Korrekturstandards für verschiedene Populationen, findet die Skeletalterschätzung nach Greulich & Pyle (1959) bis heute weltweite Anwendung, da sie abgesehen von einigen Einschränkungen dennoch als relativ präzise (Budlinger 1971; Kemperdick 1979, 1986), gut erlernbar (Roche et al. 1970a; Andersen 1971; Fendel 1976; Kemperdick 1979) und im Vergleich zu anderen Methoden als wenig zeitaufwändig (Kemperdick 1979, 1986) gilt. Im Zusammenhang mit dem Zeitaufwand muss jedoch eine Unterscheidung zwischen der Greulich - Pyle - Inspektionsmethode und der Greulich - Pyle - knochenspezifischen Summationsmethode gemacht werden. Während erstere mit etwas Übung in 2 bis 3 Minuten zu bewältigen ist, bedarf letztere durchschnittlich 8 bis 9 Minuten.

Dennoch ist es in Einzelfällen unbedingt erforderlich, nach der Einzel - Knochenanalyse vorzugehen, da die Intervalle der Altersstandards mit 3, 6 und schließlich 12 Monaten zu groß sind und sich nachteilig auf die Präzision in der Altersschätzung auswirken. Allerdings sind auch die Einzel - Knochenalter diskontinuierlich verteilt und nicht alle Reifeindikatoren gleichwertig. Bei jungen Kindern ist für die Beurteilung das Vorhandensein bestimmter Carpalia oder Epiphysenzentren wesentlich. Mit Beginn der Pubertät und zunehmend in der Adoleszenz ermöglicht der Grad der Fusion der Epiphysen mit dem Schaft die erste Auswahl. In der dazwischen liegenden Altersperiode ist die Form- und Gestaltentwicklung der Kerne wichtig (Kemperdick 1986).

Mehrere Studien weisen nach, dass für die Festlegung des Skeletalters die Epiphysen der kleinen Fingerknochen eine zuverlässigere Aussage als die Carpalia liefern (Garn et al. 1959, 1964; Levine 1972; Low 1975). In einigen Arbeiten wird sogar vorgeschlagen, dass die Carpalia bei der Skeletalterschätzung ausgeschlossen werden sollten (Johnston et al. 1965; Roche et al. 1966; Garn et al. 1967), weil der Reifungsprozess der Carpalia sehr sensibel auf Krankheiten reagiert (Hewitt et al. 1955) und die Carpalia einen größeren Ossifikationspolymorphismus als die Epiphysen zeigen (Greulich & Pyle 1959).

In der vorliegenden Arbeit wurden sämtliche Knochenstrukturen der Hand bei der Festlegung auf ein Skeletalter nach Greulich & Pyle (1959) berücksichtigt.

In Einzelfällen war es erforderlich, Knochen für Knochen zu bewerten, um damit möglicherweise die Präzision der Altersschätzung zu steigern. Allerdings wurde durch Kemperdick (1979) gezeigt, dass die knochenspezifische Methode nicht zu einer Erhöhung der Aussagegenauigkeit führt.

Neben der diskontinuierlichen Einzelknochenverteilung, kann auch eine „Reihefolgestörung“ beim Auftreten der Knochenkerne die Festlegung auf ein bestimmtes Knochenalter erschweren. In einigen Fällen zeigte sich der Knochenkern des Os triquetrum vor der distalen Radiusepiphyse und das Os trapezium vor dem Os lunatum. Diese Tatsache beschrieb bereits Kemperdick (1986). Krankheitsbedingte Asynchronien beim Auftreten der Knochenkerne beschrieb Heinrich (1986). Prinzipiell fiel die Entscheidung im Rahmen dieser Arbeit bei der knochenspezifischen Methode entweder auf die fettgedruckten, empfohlenen oder auf die höchsten angegebenen Standards.

Grundsätzlich war bei der weitgehend exakten Festlegung auf ein Skeletalter die große Variationsbreite, die eine individuelle Entwicklung mit sich bringt (Ambuel 1961), festzustellen. Nur durch die Kenntnis, der als physiologisch angesehenen Abweichungen des Skeletalters vom Kalenderalter wurden verlässliche Aussagen über Skeletaltersretardierung beziehungsweise -akzeleration ermöglicht.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit dokumentieren eine eindeutige Tendenz zur Überschätzung des Kalenderalters anhand des geschätzten Skeletalters nach Greulich & Pyle (1959).

5.3 Die Methode nach Thiemann & Nitz (1991)

Die von Thiemann & Nitz (1991) etablierte Methode zur Altersfeststellung stellt eine Verknüpfung zwischen metrischen und morphologischen Verfahren zur Skeletalterschätzung dar. Einerseits handelt es sich, wie bei der Methode von Greulich & Pyle (1959), um ein Atlas - Verfahren zur Schätzung des Skeletalters, indem durch die vorgelegten Handröntgenabbildungen als Alters - Standards die Möglichkeit des Vergleiches mit den eigenen Röntgenbefunden zur Verfügung steht. Andererseits liefern Thiemann & Nitz (1991), in Anlehnung an die Methode nach Schmid & Moll (1960), Messdaten signifikanter Handskelettknochen und etablieren damit auch ein metrisches Verfahren.

Durch die zusätzlich beigefügten Skizzen des Handskeletts, die entscheidende Reifezeichen hervorheben, sowie durch entsprechende Erläuterungen, gelingt es Thiemann & Nitz (1991), die Repräsentation eines bestimmten Skeletalters zu präzisieren. Inwiefern die Integration metrischer Angaben, trotz angebotener Handröntgenaufnahmen und entsprechender Skizzen, für die Festlegung auf ein Skeletalter von Bedeutung ist, sollte durch die vorliegende Arbeit erörtert werden.

Bereits zu Beginn des letzten Jahrhunderts publizierten Baldwin et al. (1928) ausführliche Studien über die Möglichkeit planimetrischer Bestimmungen zur Größe der Knochenkern - Projektionsflächen im Handröntgen. Schmid (1948) versuchte das planimetrische Verfahren dadurch zu vereinfachen, indem lediglich die Länge und/oder die Breite der einzelnen Knochen zur Beurteilung herangezogen wurden. Auf dieser Grundlage entstand der „Atlas der normalen und pathologischen Handskelettentwicklung“ (Schmid & Moll 1960).

Fendel (1976) konnte in einer diesbezüglich durchgeführten Querschnittsuntersuchung an 6.500 Röntgenaufnahmen erkennen, dass das planimetrische Einzelknochenalter durch alle Lebensalter kontinuierlich ansteigt. Wie Bugyi (1958, 1967) feststellte, ist dieser Prozess nicht linear, sondern verläuft in einer sehr komplexen, individuellen Schwankungen unterworfenen Art und Weise.

Die reale Größenzunahme der Knochen gilt zwar als sehr auffällige Veränderung des Skeletts in der Wachstumsperiode, jedoch stellen Formveränderungen und Differenzierungen der Knochenstrukturen sehr viel zuverlässigere Reifekriterien dar, die günstigstenfalls in den ersten Jahren durch die Knorpel - Knochen - Transformation erfassbar sind. Diese sollten neben individuellen Schwankungen und Variationsbreiten in der Skelettreifung in jedem Fall bei der Bewertung von Röntgenabbildungen Berücksichtigung finden (Thiemann & Nitz 1991).

Ein Vorteil des metrischen Verfahrens besteht sicherlich in der guten Vergleichbarkeit der gewonnenen Messdaten, die in Form der „Größe“ homogene Werte darstellen. Aus dem arithmetischen Mittel und einem entsprechenden Konfidenzbereich kann ein mittleres karpometrisches Knochenalter erstellt werden (Fendel 1976). Dieses Knochenalter sollte lediglich als theoretischer Wert angesehen werden, der jedoch bei der klinischen Verlaufskontrolle beziehungsweise der Endgrößenbestimmung von großem Wert sein kann (Thiemann & Nitz 1991).

Mit zunehmendem Alter des Kindes wirkt sich die Endgröße auf die metrische Beurteilung der Handknochen aus (Schmid 1974; Fendel 1976).

Daher zeigen groß werdende Kinder bei gleicher Reife größere Handknochen als kleinere Kinder. Folglich besteht ein engerer Zusammenhang zwischen den Längen- und Breitenmaßen der Handknochen und der Körperlänge, als zwischen selbigen und dem kalendarischen Alter. Die karpometrischen Verfahren sollten somit lediglich eine Hilfsgröße bei der morphologischen Beurteilung des Handskeletts darstellen, die die Varianz und Asynchronie verdeutlichen (Fendel 1976; Thiemann & Nitz 1991).

Die hier vorgelegten Ergebnisse beweisen, dass die individuellen Muster von Formveränderungen und Differenzierungen der Knochenstrukturen sehr viel zuverlässigere Hinweise bei der Zuordnung eines Röntgenbildes zu einem entsprechenden Alters-Standard geben, als die metrische Analyse der entsprechenden Handskelettknochen.

Das Vermessen der Handknochen konnte die Festlegung auf ein bestimmtes Skeletalter zusätzlich untermauern, jedoch war in schwer zu entscheidenden Fällen die Alters-Standard-Röntgenaufnahme mit den spezifizierenden Skizzen von entscheidender Bedeutung.

Das Vorhandensein einer Akzeleration, wie sie sich eindeutig bei der Gegenüberstellung der eigenen Röntgenaufnahmen mit denen bei Thiemann & Nitz (1991) angegebenen Alters-Standards zeigte, konnte relativ bewertet, auch anhand der Messdaten bestätigt werden.

Die Knochenkerne der untersuchten Probanden waren bei allen untersuchten Jahrgängen und in beiden Geschlechtern 1 bis 3 mm größer, wobei die erfassten Werte nahezu ausnahmslos innerhalb der von Thiemann & Nitz (1991) angegebenen Standardabweichungen lagen.

Diese relative Akzeleration auf der Basis von Messwerten bestätigen auch die Ergebnisse von Illing & Illing (1979). Die metrisch gewonnenen Daten von Schmid & Moll (1960) wurden mit denen von Thiemann & Nitz (1991) verglichen. Dabei ergab sich ab dem 8.-12. Lebensjahr die Tendenz, dass die Knochenkerne der Probanden von Thiemann & Nitz (1991) 1 bis 2 mm größer waren als von Schmid & Moll (1960). Daraus resultiert, ähnlich wie bei den Messdaten in der vorliegenden Arbeit, dass sich diese Größenzunahme innerhalb der einfachen Standardabweichung bewegt.

Im Fazit kann bei der Beurteilung der Methode nach Thiemann & Nitz (1991) hervorgehoben werden, dass sich dieses Verfahren durch eine sehr große Übersichtlichkeit in der Repräsentation des Atlases auszeichnet, die es auch dem weniger gut eingearbeiteten Untersucher ermöglicht, sich in relativ kurzer Zeit, anhand der angebotenen Alters-Standard-Röntgenabbildungen und der unterstützenden Handskelettskizzen, auf ein Skeletalter festzulegen.

Die Vermessung der Handknochen beansprucht trotz entsprechender Übung ca. 10 Minuten und gestaltet sich für den unerfahrenen Untersucher sicherlich als schwierig. Die durchgeführten Multiplen Regressionsanalysen im Rahmen dieser Arbeit konnten aber zeigen, dass für die Festlegung auf ein bestimmtes Knochenalter weniger die Vermessung der Knochen von Bedeutung ist, als vielmehr der Vergleich mit den angebotenen Röntgenaufnahmen und Handskizzen.

5.4 Die Methoden von Greulich und Pyle sowie Thiemann und Nitz im Vergleich

Die direkte Gegenüberstellung der im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Methoden nach Greulich & Pyle (1959) sowie Thiemann & Nitz (1991) lieferte für beide Verfahren Gemeinsamkeiten, Divergenzen sowie Vor- und Nachteile.

Grundsätzlich sollten im Rahmen dieser Arbeit folgende Aspekte beim Methodenvergleich näher betrachtet werden:

- a) Genauigkeit,
 - b) Erlernbarkeit und Handhabbarkeit,
 - c) Zeitaufwand,
 - d) Repräsentation und Anwendung.
- a) Bezüglich der Exaktheit beider Verfahren lässt sich auf der Basis dieser Arbeit feststellen, dass beide Methoden trotz unterschiedlicher Referenzpopulationen zu vergleichbaren Ergebnissen führen.
- Sowohl die Skelettalterschätzung nach Greulich & Pyle (1959) als auch das Verfahren nach Thiemann & Nitz (1991) bestätigten bei der Übertragung auf eine aktuelle Population eine Akzeleration in der Skelettreifung, indem es tendenziell bei beiden Methoden und in beiden Geschlechtern zu einer Überschätzung des Kalenderalters auf der Basis des Knochenalters kam.
- Diese Divergenz zwischen Skelettalter und chronologischem Alter im Methodenvergleich zeigte sich insbesondere bei den Mädchen ab dem 10./11. Lebensjahr. Für die Knaben ließ sich trotz der Tendenz zur Überschätzung des Kalenderalters keine derartige Altersgrenze angeben. Der Umfang der Akzeleration betrug nach beiden Methoden für die Mädchen 12 bis 24 Monate und für Knaben 8 bis 12 Monate.
- Einen Aspekt, der die Genauigkeit beider Methoden negativ beeinflusste, stellten die relativ großen Intervalle zwischen den einzelnen dargestellten Alters-Standards dar.

Diese Tatsache erschwerte in einigen Fällen die Festlegung auf ein bestimmtes Knochenalter.

Selbst bei der knochenspezifischen Summationsmethode nach Greulich & Pyle (1959) steigen die Knochenalter nur stufenweise an, was zu erheblichen Ungenauigkeiten führen kann. Ein weiterer Nachteil dieser Einzelknochenuntersuchung ergibt sich aus der Tatsache, dass für einen Reifeindikator jeweils zwei Standards zur Auswahl stehen. Der Grad der Ungenauigkeit wird weiter gesteigert, wenn sich nicht alle Knochenkerne der Hand auf der gleichen Entwicklungsstufe präsentieren, oder wenn Diskontinuitäten im Erscheinen derselbigen auftreten. Derartige Asynchronien können bei beiden Methoden zu einer sehr unscharfen und durch Subjektivität geprägten Skelettalterschätzung führen. Die vorliegende Arbeit hat gezeigt, dass die Vermessung der Knochenkerne keinen wesentlichen Einfluss auf die Genauigkeit der Skelettalterschätzung hat, da sie tatsächliche Formwandelungs- und Differenzierungsprozesse nur sehr wenig berücksichtigen kann.

- b) Hinsichtlich der Erlernbarkeit und Handhabbarkeit der untersuchten Methoden beinhalten beide Verfahren einerseits relativ schnell erfassbare Komponenten, denen jedoch andererseits Praktiken gegenüberstehen, die einiger Übung bedürfen.

Beide Methoden haben die Technik der vergleichenden Inspektion zwischen den zu untersuchenden Röntgenabbildungen und den angebotenen Alters-Standard-Handröntgenaufnahmen gemeinsam. Dieser Teilkomplex des Verfahrens ist sehr schnell erlernbar und in der Handhabung relativ unkompliziert. Das umso mehr, je größer sich die Übereinstimmungen der eigenen Befunde mit den Vergleichsdarstellungen präsentieren.

Etwas schwieriger gestaltet sich die knochenspezifische Summationsmethode nach Greulich & Pyle (1959) sowie das metrische Verfahren nach Thiemann & Nitz (1991). Beide Praktiken erfordern ein entsprechendes Maß an Übung und verdeutlichen die Schwierigkeiten der zunächst als einfach angesehenen Atlas-Methode.

- c) Der Zeitaufwand den beide Methoden für sich beanspruchen ist natürlich maßgeblich beeinflusst von der „Normalität“ der zu untersuchenden Handröntgenaufnahme. Die reine Inspektionsmethode ist mit etwas Übung, bei beiden Verfahren in ca. 2 bis 3 Minuten zu bewältigen.

Die Vermessung der Knochen nach Thiemann & Nitz (1991) bedarf ca. 10 Minuten, die knochenspezifische Summationsanalyse erfordert 8 bis 9 Minuten.

Für eine sorgfältige Bearbeitung des zu untersuchenden Handradiogramms, inklusive der Festlegung auf ein spezifisches Skeletalter, muss pro Methode ein ungefährer Zeitaufwand von 10 bis 15 Minuten eingeplant werden.

- d) In Bezug auf die Repräsentation und die Anwendung wurde im Rahmen dieser Arbeit die Methode nach Thiemann & Nitz (1991) favorisiert. Abgesehen von seinem handlicheren Format, zeichnet sich dieser Atlas in der Darstellung der einzelnen Skeletalter durch eine größere Übersichtlichkeit aus. Auf einem Blick und zwei Seiten stehen dem Untersucher alle wichtigen Informationen hinsichtlich der Alters-Standards zu Verfügung. Demgegenüber muss im Atlas nach Greulich & Pyle (1959) zumindest bei der Arbeit mit der knochenspezifischen Summationsmethode geblättert werden. Als positiv hervorzuheben sind bei dem Atlas nach Thiemann & Nitz (1991) auch die Übersichtsskizzen, die gesondert wichtige Reifeindikatoren auf einen Blick hervorheben.

Die Arbeit mit dem Atlas von Thiemann & Nitz (1991) gestaltet sich aufgrund der Übersichtlichkeit der Darstellungen als gut handhabbar und kann auch bezüglich der anderen dargelegten Vergleichaspekte durchaus in Konkurrenz mit dem weltweit favorisierten Atlas von Greulich & Pyle (1959) treten. Dennoch hat die Methode nach Greulich & Pyle (1959) gegenüber dem metrischen Verfahren nach Thiemann & Nitz (1991) den Vorteil, dass sie tatsächlich nur Reifekriterien zur Beurteilung heranzieht und somit weitgehend frei von Faktoren ist, die durch reine Größen- und Massenzunahmen bestimmt werden (Budlinger 1971).

5.5 Weitere radiologische Methoden zur Skeletalterbestimmung

Aufgrund der bereits erwähnten non-invasiven Möglichkeit der Skeletalterschätzung anhand von Handröntgenaufnahmen, etablierten sich neben der Methode von Greulich & Pyle (1959) weitere radiologische Verfahren, die durch neue Techniken mit angepriesener, gesteigerter Exaktheit dem chronologischen Alter anhand des Skeletalters näher kommen wollten, als das bis dahin Greulich & Pyle (1959) gelungen war.

5.5.1 Die Methoden nach Tanner und Whitehouse (1962/1975/2001)

Eine, neben dem Verfahren von Greulich & Pyle (1959) ebenfalls weltweit akzeptierte und etablierte Methode, wurde erstmals 1962 von Tanner & Whitehouse als so genannte TW-1 Methode vorgestellt, 1975 als TW-2 Methode präzisiert und schließlich 2001 als TW-3 Methode aktualisiert. Seither beschäftigten sich Autoren zahlreicher Arbeiten mit einer Gegenüberstellung dieser beiden weltweit konkurrierenden Verfahren.

Obwohl dieses Verfahren im Rahmen dieser Arbeit nicht zur Anwendung kam, aber aufgrund der großen Verbreitung der Methode nach Tanner & Whitehouse (2001), soll es in der vorliegenden Arbeit nicht versäumt werden, auch diese etwas eingehender zu betrachten.

Mitte des letzten Jahrhunderts stellten Tanner & Whitehouse (1962) eine Methode zur Skeletalterbestimmung aufgrund von Handröntgenaufnahmen der linken Hand zur Altersdiagnostik vor, die sich wesentlich von der Greulich & Pyle - Methode (1959) unterschied. Die Basis für den Atlas bildeten 3.000 altersentsprechend entwickelte, britische Jungen und Mädchen (Tanner et al. I, II 1966). Das Verfahren wurde demnach primär zur Anwendung bei normalen, gesunden Kindern entwickelt, um einen Einblick in den Skelettreifungsprozess zu erhalten (Cox, 1996).

Jedem Knochen wurde von seinem erstmaligen Erscheinen bis zu seinem ausgereiften Zustand ein bestimmtes Stadium (A, B, C etc.) zugeordnet. Die Begründung für diese Stadien lieferten die ablaufenden Veränderungen in der Knochengestalt. Jedes Stadium wurde röntgen- und skizzendokumentiert sowie mit bis zu drei Kriterien detailliert beschrieben. Nicht die Knochengröße, sondern das Knochenentwicklungsstadium wurde berücksichtigt. Die Entwicklungsstadien wurden so eingeteilt, dass eine exakte Abgrenzung möglich war.

Als grundlegendes Argument für diese Methode galt die Tatsache, dass jeder Knochen alle Entwicklungsstadien durchwächst, sich jedoch im Patientenvergleich unterschiedlich lange in einem jeweiligen Stadium befindet. Tanner & Whitehouse (1962) versahen geschlechtergetrennt jeden einzelnen Knochenkern mit einem Zahlenscore (= Punktsystem), über dessen Summe sich das reale Gesamthand-Knochenalter berechnen ließ.

Basierend auf der Entdeckung, dass die Carpalia abweichende und oftmals schlechtere Informationen als die langen Knochen über die Reifeprozesse geben, führten Tanner & Whitehouse 1975 die TW-2 Methode ein. Es stehen hierfür drei Scoring Systeme zur Verfügung.

1. Carpal – Score: Dieser Score berücksichtigt die Entwicklungsstadien der Carpalia.
2. RUS – Score: Dieser Score steht für die Entwicklungsstadien von **R**adius, **U**lna und den **S**hort-fingerbones des 1., 3. und 5. Fingers.
3. 20 – Bone – Score: Dieser Score stellt eine Kombination der Methoden 1 und 2 dar.

Weiterhin wurde jedem Knochen eine biologische Wertigkeit in Form eines Wertigkeitskoeffizienten vergeben. Diese biologische Wichtung wurde integriert in die, jedem Knochenstadium zugeordneten, gewichteten Scores.

Im Vergleich der TW-1 und TW-2 Methoden (1962/1975) mit der Methode nach Greulich & Pyle (1959) wird häufig die Diskontinuität des Verfahrens nach Greulich & Pyle (1959) als nachteilig gegenüber dem kontinuierlichen Durchlaufen aller Knochenaltersbereiche nach Tanner & Whitehouse (1962/1975) gewertet (Grünzner 1976).

Nach Fendel (1976) erreichten Tanner & Whitehouse (1975) durch ihre Methode der Skelettalterschätzung, im Vergleich zu der reinen Atlas-Methode von Greulich & Pyle (1959), eine größere Homogenität sowie Kontinuität bezüglich der Skelettreifungsprozesse der Hand.

Fendel (1976) diskutiert jedoch in seiner Arbeit über „Die Methodik der radiologischen Skelettalterbestimmung“ neben den genannten Vorzügen gegenüber der Einzelknochenalterbestimmung nach Greulich & Pyle (1959) kritisch, die willkürliche biologische Wichtung und Vergabe der Scorewerte zu den einzelnen Entwicklungsstufen der Knochen.

Auch Kemperdick (1979) beschäftigte sich unter anderem mit der Skelettalterbestimmung anhand der Score-Methode nach Tanner & Whitehouse (1975).

Einen großen Nachteil sieht er in der praktischen Durchführung dieses Verfahrens, welches einen, im Vergleich zur Methode nach Greulich & Pyle (1959), höheren Zeitaufwand sowohl in der Erlernbarkeit als auch in der Handhabung erfordert. Auch Guimarey et al. (2003) beschreiben einen hohen Zeitaufwand bei der Verwendung der TW-2 Methode (1975).

Fendel (1976) und Kemperdick (1979) betonen, dass „der Tanner und Whitehouse stärker als bisher zur Skeletalterschätzung mit herangezogen werden sollte“ (Fendel 1976) oder, dass „die Greulich - Pyle - Methode praktischen Routinezwecken vorbehalten bleiben sollte, während die Tanner - Whitehouse - Methode bei speziellen Fragestellungen, bei wissenschaftlichen Problemen und von (endokrinologischen) Spezialambulanzen verwendet werden sollte“ (Kemperdick 1979).

Soweit man das nach den vorliegenden Erfahrungen beurteilen kann, kommt es zu einer Überschätzung des Skeletalters anhand der Referenzpopulation nach Tanner & Whitehouse (1962/1975/2001), während das Knochenalter nach Greulich & Pyle (1959) eher als zu jung eingeschätzt wird (Acheson 1966; Roche et al. 1971; Grünzner 1976; Schwair 1977; Kühnel 1978; Weber 1978; Milner et al. 1986; Cole et al. 1988; King et al. 1994). Interessanterweise kamen die Untersucher sowohl bei normal-, als auch bei minderwüchsigen Kindern zu diesen Ergebnissen.

Grundsätzlich bestätigen nahezu alle Autoren von Vergleichspublikation zu beiden Methoden, dass das Verfahren nach Tanner & Whitehouse (1962/1975) wesentlich zeitaufwendiger in der Durchführung und schwieriger in der Anwendung ist (Milner et al. 1986; King et al. 1994). Verschiedene Studien konnten außerdem zeigen, dass der größere Zeitaufwand der Einzel - Knochenmethode nicht zu einer Erhöhung der Aussagegenauigkeit führt (Andersen 1971; Weber 1978; Cole 1988; King 1994).

5.5.2 Die Methode nach Björk & Helm (1967)

Eine weitere Methode, die sich mit der radiologischen Skeletalterschätzung auseinandersetzt, wurde von Björk & Helm (1967) vorgestellt.

Dieses Verfahren kam ursprünglich für die Auswertung von Handröntgenaufnahmen in der Kieferorthopädie zum Einsatz. Zink et al. (1986) untersuchten über 1.000 Handröntgenaufnahmen von Kindern nach dieser Methode.

Anhand einer sehr spezifischen Einteilung der Epi- und Diaphysentwicklung sowie der Epiphysenfugenverknöcherungen in 8 charakteristische Stadien, lassen sich relativ eindeutige Aussagen zu Altersgrenzen machen. Mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit kann einem männlichen Probanden das Alter „14“ Jahre zugeschrieben werden, wenn er mindestens das Stadium DP3U erreicht hat. Damit ist die Naht zwischen Epiphysenscheibe und Endphalanx im Endglied des 3. Fingers verschwunden. Für Mädchen gilt gleiches bei Erreichen des RC-Stadiums, bei dem alle Epiphysenfugen geschlossen sind (Zink et al. 1986).

Es ist fraglich, ob bei der Studie von Zink et al. (1986) mit einer Fallzahl von n=31 Knaben die Aussagen tatsächlich verlässlich sind. Bertovic (1988) übertrug das Verfahren auf sein Untersuchungskollektiv „deutsche Kinder“ mit einer Fallzahl von n=223. Er erhielt in seiner festgelegten Gruppe „jung“ für Knaben, die das 14. Lebensjahr noch nicht erreicht hatten, 100% richtige Ergebnisse. In der von ihm festgelegten Gruppe „alt“, für Knaben, die das 14. Lebensjahr erreicht oder bereits überschritten hatten, wurden allerdings nur 50,9% als richtig erkannt.

Es ergibt sich somit bei ausreichend großer Fallzahl die Frage, ob ein einziger Zustand des Handradiogramms, die Naht zwischen Epiphysenscheibe und Endphalanx im Endglied des 3. Fingers, für Rückschlüsse auf das Gesamtskeletalter ausreichend ist.

Auch Fleischer-Peters et al. (1978) bedienten sich der Methode von Björk & Helm (1967) bei der Auswertung von 1.056 Röntgenbildern an der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universität Erlangen - Nürnberg. Die Untersuchungen sollten Rückschlüsse auf die Verteilung von Reifestadien und die zeitlichen Reifephasen in der individuellen Entwicklung eines Kindes ermöglichen (Fleischer-Peters et al. 1978). Im Resultat wurde erneut deutlich, dass in der überwiegenden Zahl der Fälle das Stadium DP3U als charakteristische Grenze für das 14. Lebensjahr gewertet werden kann. Allerdings bleibt auch hier zu bedenken, ob eine Fallzahl von n=9 Knaben, die das Stadium DP3U repräsentierten, eine signifikante Tendenz unterstreichen kann.

5.5.3 Die Fels - Methode nach Roche et al. (1988)

Im Rahmen der Fels - Longitudinalstudie entwickelten Roche et al. (1975a) die sogenannte RWT - Methode zur Schätzung des Skeletalters anhand des Knies. Es wurden hierfür 28 Reifeindikatoren und 10 Knochenmessungen zur Bestimmung eines Skeletalters festgelegt.

Im Zuge weiterer Forschungen auf dem Gebiet der Knochenalterschätzung wurden Röntgenaufnahmen des Knies in Wachstumsstudien zunehmend durch Handradiogramme verdrängt.

Roche et al. trugen diesem Prozess Rechnung und entwickelten 1988 die Fels - Methode, bei der das Skeletalter durch 98 Reifeindikatoren und 13 Knochenmessungen an Hand und Handgelenk determiniert wird. Es fließen unter anderem der Ossifikationsgrad, die Form sowie die Verschmelzung der Carpalia mit den Epiphysen der Metacarpalia und die Phalangen der Finger I, III und V in die Reifestadieneinteilung ein. Die Referenzpopulation dieses Verfahrens zur Skeletalterschätzung bildeten US-amerikanische Kinder und Jugendliche (Roche et al. 1988).

Mehrere Publikationen, die sich mit der Fels - Methode kritisch auseinandersetzen, stellten den Vergleich dieses Verfahrens mit anderen etablierten Methoden zur Schätzung des Skeletalters anhand von Knochenstrukturen der Hand in den Mittelpunkt ihrer Forschung. So bearbeiteten van Lenthe et al. (1998) je 30 Handröntgenaufnahmen von holländischen Mädchen und Jungen, die bereits im Rahmen der Amsterdam Growth and Health Study (AGHS) von 1977 bis 1980 angefertigt wurden, indem sie das Skeletalter zum einen nach der TW-2 Methode (1975) und zum anderen nach der Fels - Methode (1988) bestimmten. Dabei zeigte sich, dass die TW-2 Methode (1975) im Vergleich zur Fels - Methode (1988) in ca. 0,3 Jahre älter geschätzten Skeletaltern bei Jungen zwischen 12 und 16 sowie in ca. 0,2 Jahre jünger geschätzten Skeletaltern bei Mädchen resultiert (van Lenthe et al. 1998). Das würde bedeuten, dass heranwachsende Jungen in der britischen Referenzpopulation der TW-2 Methode gegenüber der US-amerikanischen Population der Fels - Methode ein retardiertes Skeletalter aufweisen. Die Gründe für diese divergenten Schätzungen des Skeletalters liegen nach van Lenthe et al. (1998) unter anderem in den verschiedenen Wichtungen der Reifezeichen.

Eine Studie von Aicardi et al. (2000) verglich die Methoden von Greulich & Pyle (1959), die TW-2-Methode (1975), die RWT-Methode (1975a) und die Fels - Methode (1988) miteinander. Dabei zeigte sich erstaunlicherweise, dass die Skeletalter anhand der RWT-Methode (1975a), im Vergleich zu allen anderen Verfahren, am dichtesten an das chronologische Alter der Probanden herankamen.

Dennoch zeigte sich, dass im Zusammenhang mit einem retardierten, beziehungsweise akzelerierten Skeletalter die RWT-Methode (1975a) gegenüber den anderen, das Handskelett beurteilenden Verfahren, als weniger sensitiv einzustufen ist. Auch eine Kombination der RWT- und der Fels - Methode führt nicht zu einer Steigerung der Treffsicherheit in Bezug auf das chronologische Alter (Aicardi et al. 2000).

5.6 Die Geschlechtsunterschiede

In zahlreichen Untersuchungen (Tanner 1962; Johnston 1964; Kimura 1976) wurde ein Geschlechtsdimorphismus in der Ossifikationsgeschwindigkeit festgestellt, wobei Mädchen eine Akzeleration von bis zu 2 Jahren aufwiesen.

Diesem Phänomen wurde bei den Methoden von Greulich & Pyle (1959) beziehungsweise Thiemann & Nitz (1991) durch Verwendung geschlechtsgetrennter Standards Rechnung getragen.

Zu dem Ergebnis einer Zwei-Jahres-Divergenz bezüglich der Skelettreifung beider Geschlechter, gelangte auch Bertovic (1988) bei seiner Studie an 133 Mädchen und 140 Jungen. Tanner (1962) bestätigte, dass das Wachstumsende der Mädchen zwei Jahre eher erreicht wird, als das der Knaben. Dieses Phänomen des Ossifikationsvorsprungs bei den Mädchen beschrieb erstmalig Pryor (1923).

Durch die Vermessungen der Knochenkerne nach dem Verfahren von Thiemann & Nitz (1991) konnte gezeigt werden, dass insbesondere anhand der distalen Radiusepiphyse bei den Mädchen ab dem 10. Lebensjahr ein gegenüber den Knaben vorausseilendes Wachstum nachzuweisen war. Dieser geringe Wachstumsvorsprung hielt jedoch nur bis zum 13. Lebensjahr an. Vor dem 10. und nach dem 13. Lebensjahr zeigten die Knaben gegenüber den Mädchen ein minimal rascheres Wachstum der Knochenkerne.

Das geringfügige dominieren der Knaben hinsichtlich der Größenzunahme der Knochenkerne, welches bereits von Roche et al. (1970b) beschrieben wurde, könnte damit begründet sein, dass die Mädchen zwar bei der Knochenreifung den Knaben vorausseilen, jedoch in Bezug zur Knochengröße und -masse denselbigen geringfügig nachfolgen.

Thiemann & Nitz (1991) konnten anhand der metrischen Komponente ihres Verfahrens genau diesen Wachstumsvorsprung der Mädchen zwischen dem 10. und 13. Lebensjahr anhand der distalen Radiusepiphyse bestätigen. Weiterhin zeigte sich aber auch bei ihren Probanden eine eindeutige Divergenz zwischen Mädchen und Knaben hinsichtlich der Knochenreifung. Schmid & Moll (1960) fanden anhand ihres Verfahrens zur Skeletalterschätzung keine gravierenden Geschlechtsunterschiede. Da es sich bei dieser Methode um ein rein metrisches Verfahren handelt, ist es möglich, dass bei der ausschließlichen Beurteilung der Knochenkerngrößen kaum der Reifungsvorsprung der Mädchen gegenüber den Knaben erfasst wurde. Diese Feststellung bestätigen die eigenen metrischen Ergebnisse.

Der Skelettreifungsvorsprung der Mädchen gegenüber den Knaben wird vor allem hormonellen Einflüssen zugeschrieben (Bierich 1976). Da sowohl Greulich & Pyle (1959) als auch Thiemann & Nitz (1991) geschlechtergetrennte Altersstandards angeben, spielt der anhand der eigenen Studie bestätigte Geschlechtsdimorphismus bei der Bewertung der Methoden zur Altersdiagnostik eine eher untergeordnete Rolle.

5.7 Die Einflussfaktoren auf das Skeletalter

5.7.1 Ethnie

In der Literatur finden sich zahlreiche Beiträge, die sich kritisch mit der Übertragbarkeit der an willkürlich gewählten Populationsausschnitten entwickelten Methoden zur Altersdiagnostik auf Vergleichspopulationen auseinandersetzen (Karasik 2000 u.a.).

Garn et al. (1963) begründen eine zum Teil festgestellte Variation in der Sequenz des Auftretens der einzelnen Ossifikationszentren des Handskeletts unter anderem mit einem Rasseunterschied zwischen den miteinander verglichenen Populationen. Auch Schmid (1974) empfiehlt, für die Diagnostik Normwerte auf der Basis einer einheimischen Population zu benutzen, und nicht Normwerte in die Untersuchung einzubeziehen, die an verschiedenen Bevölkerungsgruppen gewonnen wurden.

Studien an allen, von Cavalli-Sforza et al. (1994) definierten vier ethnischen Gruppen - Europide (Kaukasier), Mongoloide, Afrikaner und Australier -, widersprachen dem angenommenen Rasseunterschied hinsichtlich der Skelettreifung. Untersuchungen zum Beispiel von Johnston (1963), Roche et al. (1975b, 1978), Berdikulov (1980), Pashkova et al. (1989), Loder et al. (1993), konnten den Nachweis erbringen, dass in allen untersuchten Populationen die Skelettreifung zeitgleich und in definierten Stadien abläuft.

Es wurde manifestiert, dass die Ossifikationsrate nicht mit der Rasse, sondern vielmehr mit dem sozioökonomischen Status der untersuchten Populationen korreliert.

Viele Studien, die auf der Methode nach Greulich & Pyle (1959) basieren (Johnston 1963; Forbes et al. 1971; Sproul et al. 1971; Johnston 1971; Low 1975; Jiménez-Castellanos et al. 1996; Redetzki 1997; Mora et al. 2001), bewerteten die Übertragbarkeit des Verfahrens auf andere Populationen. Dabei sollte geklärt werden, inwieweit Ethnie, Ernährung und sozioökonomischer Status die Skelettreifung beeinflussen.

Insgesamt zeigte sich bei allen berücksichtigten Studien an verschiedenen Populationen ein, gegenüber den Standards nach Greulich & Pyle (1959), retardiertes Skeletalter (Kopczynska 1964; Andersen 1971; Stubbe et al. 1974).

Eine Ausnahme bilden in Nordamerika lebende schwarzafrikanische Populationen. Sowohl Sproul et al. (1971) als auch Mora et al. (2001) belegen, dass nordamerikanische Schwarzafrikaner ein akzeleriertes Skeletalter aufweisen.

Johnston (1971) begründet Abweichungen von den Standards nach Greulich & Pyle (1959) weniger mit der ethnischen Zugehörigkeit als vielmehr mit dem sozioökonomischen Status. Die in seine Studie einbezogenen Kinder aus Philadelphia können bezüglich ihrer Herkunft problemlos der Cleveland Gruppe, also der Referenzpopulation nach Greulich & Pyle (1959), zugeordnet werden. Damit begründet Johnston (1971) die von ihm erfassten retardierten Skeletalter in einem abweichendem sozioökonomischen Status.

Sutow (1953) und Greulich (1957) konnten durch Untersuchungen an japanischen Kindern, die in ihrem Heimatland lebten und solchen, die in den USA aufwuchsen, einen deutlichen Unterschied in der Handskelettreifung beider Vergleichspopulationen feststellen. Die in Japan aufwachsenden Kinder waren im Vergleich zu denen, die in den USA lebten bezüglich ihres Knochenalters retardiert. Dieser Befund lässt sich somit nicht durch Rassenunterschiede, sondern durch **differente sozioökonomische Lebensbedingungen, beziehungsweise Ernährungsgewohnheiten** begründen.

Schmeling et. al (2000b) fassen die Erkenntnisse sämtlicher analysierter Studien zusammen, indem sie darauf hinweisen, dass für die Individuen aller Populationen ein genetisch determiniertes und von der ethnischen Zugehörigkeit unabhängiges Skelettreifepotential existiert, welches unter optimalen Umweltbedingungen, das heißt, einem hohen sozioökonomischen Status vollständig ausgeschöpft werden kann. Entscheidend für die Relevanz der gerichtlich veranlassten Altersschätzung ist die von Schmeling et al. (2000b) deklarierte Aussage, dass sich ein sozioökonomisch geringer Status in einer retardierten Skelettreifung manifestiert, die letztendlich zu einer Unterschätzung des kalendarischen Alters führt. Diese Tatsache wirkt sich folglich in strafrechtlicher Hinsicht keinesfalls nachteilig aus. Im Gegenteil, die Strafmündigkeit wird anhand dieser Befunde nach unten verschoben.

5.7.2 Umwelt und Ernährung

Neben der ethnischen Zugehörigkeit wird in der Literatur immer wieder der Einfluss von Umwelt und Ernährung auf die Skelettreifung und das Knochenwachstum diskutiert.

In einigen Publikationen wird der Einfluss des unmittelbaren Lebensraumes auf die Knochenentwicklung diskutiert. Pelech (1970) berichtet, dass sich eine starke Luftverunreinigung retardierend auf die Skelettreifung auswirkt.

In einer weiteren Studie ließen sich jedoch keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Knochenentwicklung des Handskeletts zwischen Stadt- und Landbevölkerung bestätigen (Brettschneider 1986). Die Grundlage dieser Untersuchungen bildete das ebenfalls von Thiemann & Nitz (1991) untersuchte Patientengut aus verschiedenen Regionen der ehemaligen DDR.

Bakwin beschrieb 1936, dass die Röhrenknochen auf äußere Einflüsse leichter ansprechen als die Carpalia (zitiert aus Schmid, 1948). Er beobachtete bei längerer Unterernährung ein verzögertes Wachstum der Radius- und Ulnaepiphysen aber gleichzeitig eine altersgemäße Weiterentwicklung der Carpalia.

Dreizen et al. (1967) erörtern in einer longitudinalen Studie unter anderem den Zusammenhang zwischen Ernährungszustand und Skelettwachstum bei Mädchen. Der Vergleich von unterernährten mit gut ernährten Mädchen in einem Zeitraum zwischen früher Kindheit und jungem Erwachsenenalter lieferte die Erkenntnis, dass eine chronische Unterernährung zu einer retardierten Skelettreifung und einem verzögerten Skelettwachstum führt. Trotz einer verlängerten Wachstumsperiode erreichten jedoch beide Vergleichsgruppen ähnliche Skelettendgrößen.

Lampl et al. (1996) konnten in einer Studie belegen, dass in Abhängigkeit vom Ernährungszustand eine Differenz im Skelettreifegrad zwischen gut- und unterernährten Kindern von bis zu zwei Jahren nachweisbar sein kann. Die zeitweilige Entwicklungsverzögerung wird in den überwiegenden Fällen mit der Pubertät wieder ausgeglichen.

5.7.3 Endokrinium und Krankheiten

Die Tatsache, dass Skelettreifung und Knochenwachstum unter hormoneller Kontrolle stehen ist unumstritten. Dennoch ist das Zusammenspiel der diversen Hormone in den verschiedenen Reifeperioden so komplex, dass eine klare Zuordnung einzelner Hormone zu bestimmten Veränderungen der Skelettreifung nur bedingt möglich ist.

Das Wachstumshormon STH stellt den Hauptregulator des postpartalen Körperwachstums dar, aber auch Thyroxin, Cortisol sowie die Sexualsteroiden sind maßgeblich an der Steuerung der Knochenreifung beteiligt. Die einzelnen Hormone weisen in den jeweiligen Wachstumsphasen Wirkungsschwerpunkte auf, sodass damit auch der stadienhafte Verlauf der Skelettentwicklung nachvollziehbar ist. Ein Mangel, beziehungsweise ein Hormonüberschuss können in Abhängigkeit von der Hormonwirkung in einem retardierten oder akzelerierten Skelettreifungsprozess resultieren (Heinrich, 1986).

Neben angeborenen, chromosomalen Störungen können sich auch pathologische Prozesse in den Röntgenaufnahmen der Hand widerspiegeln. Diese führen nicht selten zu typischen Deformitäten und Reihenfolgestörungen im Auftreten der Ossifikationszentren. Den metabolischen und endokrinen Dysregulationen wird in diesem Zusammenhang eine besonders große Relevanz beigemessen, aber auch Störungen der enchondralen Ossifikation sowie zahlreiche Infektionskrankheiten, können als Korrelat in einer pathologischen Handskelettarchitektur zu finden sein (Schmid, 1970).

Zu den Erkrankungen, die Einfluss auf das Skelettwachstum und die somatische Reifung nehmen, zählen folglich genetische, endokrine, kardiale, infektiöse, tumoröse und hämatologische Krankheiten (Heinrich 1986).

Tab. 9 nach Heinrich (1986)

Krankheitsbilder mit retardierter Skelettentwicklung:

A. Endokrinium

1. Hypothyreose
2. Cushing - Syndrom
3. Hypogonadismus (pubertär)
4. Hypothalamisch - hypophysäre Störungen
 - a) Hypophysärer Minderwuchs
 - b) Kraniopharyngeom und andere hypothalamische Tumoren
5. Laron - Zwergwuchs
6. Konstitutionelle Entwicklungsverzögerung

B. Chromosomale Störungen

1. Down - Syndrom
2. Trisomie 18
3. Turner - Syndrom
4. Andere Chromosomopathien

C. Andere Krankheitsbilder

1. Malnutrition
2. Chronische Krankheiten (Darm, Herz, Niere, Leber, Lunge)
3. Psychosoziale Deprivation
4. Skelettdysplasien
5. Mineralisationsstörungen (Rachitis)
6. Intrauterine Wachstumsstörungen (Silver - Russel - Syndrom, Alkohol - Embryofetopathie u.a.)
7. „Idiopathisch“

Tab. 10 nach Heinrich (1986)

Krankheitsbilder mit akzelerierter Skelettentwicklung:

A. Mit sexueller Frühreife

1. Echte Pubertas praecox
2. Pseudopubertas praecox
 - a) Androgenitales Syndrom
 - b) Nebennierenrindentumoren
 - c) Ovarialtumoren
 - d) Hodentumoren
 - e) gonadotropinproduzierende Tumoren (Hepatoblastome, Germinome)
 - f) iatrogen (Sexualsteroid, Anabolika)
3. Mc Cune - Albright - Syndrom
4. Partielle Pubertätsentwicklung (prämatüre Adrenarche)

B. Andere Krankheitsbilder

1. Hyperthyreose
2. Zerebraler Gigantismus
3. Fehlbildungssyndrome
 - a) Akrodysostose
 - b) Bechwith - Wiedemann - Syndrom
 - c) Cockayne-Syndrom
 - d) Marshall-Syndrom
 - e) Weaver-Syndrom
 - f) Pseudohypoparathyreoidismus
4. Alimentäre Adipositas

5. „Idiopathisch“

Bei dem untersuchten Patientengut der vorliegenden Arbeit handelt es sich gemäß der Angaben von K. Minas um körperlich altersentsprechend entwickelte Kinder und Jugendliche.

Nach Rücksprache mit K. Minas und der Einsicht in fragliche Patientenakten zeigte sich, dass die Aufnahmen in den überwiegenden Fällen der Endgrößenprognose, unter anderem bei sportmedizinischen Fragestellungen, dienen.

In fraglichen Einzelfällen führte ein entsprechender Vermerk in der Krankenakte über das Vorliegen einer Erkrankung, die einen Einfluss auf die Skelettreifung haben könnte, zum Ausschluss aus der Studie.

5.8 Weitere Verfahren der forensischen Altersdiagnostik

a) Körperliche Untersuchung

Eine von der AGFAD empfohlene Methode für die forensische Altersdiagnostik im Strafverfahren ist die Röntgenuntersuchung der Hand. Dieser hat eine körperliche Untersuchung voranzugehen, um sicherzustellen, dass bei der betroffenen Person keine altersrelevanten Entwicklungsstörungen vorliegen.

Neben der Erhebung anthropometrischer Daten, wie Körperhöhe, Körpergewicht und Körperbau, werden bei der körperlichen Untersuchung insbesondere die somatischen Zeichen der sexuellen Reife, die sich vor allem während der Pubertät manifestieren, beurteilt.

Dabei bedient man sich zumeist der Stadieneinteilung nach Tanner (1968), die sich bei beiden Geschlechtern mit der Scham- und Achselbehaarung sowie mit dem Genitale in Form und Größe auseinandersetzt. Gesondert für das männliche Geschlecht wird die Bartbehaarung, für das weibliche Geschlecht die Brustentwicklung sowie die Hüftform begutachtet. Bereits über die morphologische Begutachtung äußerer Körpermerkmale können eventuell vorliegende Wachstums- oder Reifungsstörungen diagnostiziert werden.

b) Altersdiagnostik anhand des Zahnröntgenbildes

Im Rahmen zahnärztlicher Untersuchungen kommt im relevanten Lebensalter den Merkmalen Zahndurchbruch und Zahnmineralisation die größte forensische Bedeutung zu.

Anhand eines Orthopantomogrammes (Panoramaaufnahme des Zahnstatus) kann die Mineralisation speziell der 3. Molaren (Olze et al. 2003, 2004) für Fragen zur Zahnalterschätzung genutzt werden.

Für forensische Zwecke erscheint für die Zahnmineralisation die Stadieneinteilung nach Demirjian et al. (1973) am besten geeignet, da die Stadien nicht durch spekulative Längenschätzungen, sondern durch Formveränderungen definiert sind.

Frucht et al. (2000) konnten in einer Studie veranschaulichen, dass die Zahnreifung im Gegensatz zu allen anderen dargestellten Reifungsvorgängen des menschlichen Skeletts, relativ unbeeinflusst von Mangelernährung und Krankheit bleibt.

Eine Empfehlung der Arbeitsgemeinschaft für Forensische Altersdiagnostik der Deutschen Gesellschaft für Rechtsmedizin sieht vor, dass die Auswertung der Orthopantomogramme forensisch erfahrenen Zahnärzten vorbehalten bleiben sollte (Schmeling et al. 2001b).

c) Altersdiagnostik anhand des medialen Schlüsselbeingelenks

Wie bereits erwähnt, stellt eine juristisch relevante Altersgrenze das 21. Lebensjahr dar. Zur Beurteilung eines höher geschätzten Lebensalters bedient man sich daher einer computertomographischen- oder röntgengesteuerten Aufnahme des medialen Schlüsselbeingelenks. Bei einer nicht abgeschlossenen Ossifikation des Handskeletts darf dieses Verfahren aus strahlenschutztechnischen Gründen nicht durchgeführt werden, da es keine zusätzlichen Informationen bringen würde (Reisinger et al. 2003).

Das Schlüsselbein ist der Knochen des menschlichen Skeletts, dessen Epiphysenfugen am spätesten verknöchern. Folglich ist es möglich, bei Vorliegen eines richterlichen Beschlusses, anhand einer zusätzlich durchgeführten Röntgenuntersuchung der Schlüsselbein-Brustbein-Gelenke, eine Altersschätzung auch jenseits des 18. Lebensjahres zu ermöglichen. Sind die Epiphysenfugen der medialen Schlüsselbeinepiphysen komplett geschlossen, so ist ein Lebensalter von mindestens 21 Jahren anzunehmen.

Schmeling et al. (2004b) konnten nachweisen, dass das Stadium der vollständigen Ossifikation mit dem Verschwinden der Epiphysennarbe bei beiden Geschlechtern frühestens mit 26 Jahren auftritt.

Neuere Untersuchungen, die sich mit der Beurteilung des Schlüsselbeingelenks anhand von CT-Aufnahmen beschäftigen konnten die Erkenntnisse der konventionellen Röntgenstudien bestätigen (Schulz et al. 2005).

Dabei muss erwähnt werden, dass die Schichtdicke der CT-Aufnahmen einen wesentlichen Einfluss auf die Bewertung der Schlüsselbeinossifikation hat, indem sie maßgeblich die Ossifikationsstadienzuordnung beeinflusst.

Mit zunehmender Schichtdicke steigt auch der Grad der vermeintlichen Ossifikation und damit das geschätzte Skeletalter (Mühler et al. 2005). Da sich diese Tatsache nachteilig für die untersuchte Person auswirken würde, wird eine Schichtdicke von 1mm empfohlen.

d) Methodenkombination

Die Ergebnisse der körperlichen Untersuchung, der Röntgenuntersuchung der Hand, der zahnärztlichen Untersuchung und gegebenenfalls der Röntgenuntersuchung der Schlüsselbein-Brustbein-Gelenke sollten durch den koordinierenden Gutachter zu einer abschließenden Altersdiagnose zusammengeführt werden. Die mit der Anwendung der Referenzstudie auf die zu untersuchende Person verbundenen altersrelevanten Variationsmöglichkeiten, wie genetisch-geographische Herkunft, abweichender sozioökonomischer Status und damit möglicherweise anderer Akzelerationsstand oder entwicklungsbeeinflussende Erkrankungen des Betroffenen, sind im zusammenfassenden Gutachten mit ihren Auswirkungen auf die Altersdiagnose zu diskutieren und nach Möglichkeit bezüglich ihrer quantitativen Konsequenzen einzuschätzen (Schmeling 2004).

5.9 Gesundheitsrisiken durch röntgenologische Untersuchungen

Im Zusammenhang mit der Skeletalterbestimmung bei Lebenden stellt die Risikoabschätzung der Belastung durch ionisierende Strahlen einen viel diskutierten Aspekt dar. Die Äquivalenzstrahlendosis, die auf die linke Hand einwirkt, ist unter sachgemäßer Vorgehensweise und Einhaltung technisch-methodischer Parameter, wie zum Beispiel der Einblendung des Nutzstrahlenbündels auf das notwendige Objektformat, das Abstrecken der Hand vom Körperstamm sowie der Schutz desselbigen durch das Tragen einer Bleigummischürze vernachlässigbar klein (Pechstein et al. 1970).

Schmeling et al. (2000a) kommen zu dem Ergebnis, dass bis zum Erreichen der täglich auf den Menschen einwirkenden terrestrischen und kosmischen Strahlung 70 Handradiogramme erforderlich wären.

Auch Reisinger et al. (2003) bestätigen das geringe Gesundheitsrisiko der röntgenologischen Altersdiagnostik an der Hand durch eine Beispielrechnung, die zu dem Ergebnis führt, dass ausgehend von einer Äquivalenzstrahlendosis pro Aufnahme von 37 Mikro - Sievert, ungefähr 13500 Röntgenaufnahmen anzufertigen wären, um die von der Röntgenverordnung zulässige Strahlendosis von 500 Milli - Sievert pro Jahr zu erreichen.

Unter Berücksichtigung dieser Beispiele zur Risikoabschätzung, kann gesagt werden, dass bei der Durchführung einer Handröntgenaufnahme zum Zweck der Altersschätzung die Gefahr einer relevanten Gesundheitsschädigung nicht besteht.

Trotzdem sollte jede notwendige Untersuchung so dosissparend wie möglich durchgeführt und auf unzweckmäßige Expositionen verzichtet werden (Jung 2000).

5.10 Schlussfolgerungen

Die vorliegende Studie an 650 Handröntgenaufnahmen erbrachte einen weiteren Nachweis dafür, dass grundsätzlich eine Schätzung des Lebensalters auf der Basis des Skeletalters möglich ist. Auf der Grundlage der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit lassen sich demnach für die Praxis der forensischen Altersdiagnostik folgende Schlussfolgerungen ableiten:

Bezüglich der Schätzgenauigkeit ergab sich für die untersuchte Stichprobe bei beiden Methoden eine Tendenz zur Altersüberschätzung, die bei den Mädchen geringfügiger ausgeprägt erschien als bei den Knaben. Die durchschnittlichen Standardabweichungen betragen für die Thiemann-Nitz-Methode (1991) bei den Mädchen 0,9 und bei den Knaben 0,7 Jahre. Für die Greulich-Pyle-Methode (1959) ergaben sich als durchschnittliche Standardabweichungen bei den Mädchen 1,0 und bei den Knaben 0,7 Jahre. Die in der vorliegenden Arbeit untersuchte Stichprobe wies sowohl im Vergleich zu der von Greulich und Pyle als auch zu der von Thiemann und Nitz untersuchten Referenzpopulation eine Akzeleration bei den Mädchen von durchschnittlich 12 Monaten und bei den Knaben von ca. 8 Monaten auf.

Es zeigte sich weiterhin, dass die im Rahmen der Methode nach Thiemann & Nitz (1991) zu erhebenden Messwerte für die Skeletalterbestimmung von untergeordneter Bedeutung sind.

In Bezug auf die Erlernbarkeit und Handhabbarkeit sowie den Bearbeitungsaufwand erschienen beide Methoden als nahezu gleichwertig, wobei hinsichtlich der Repräsentation und Anwendung das Verfahren nach Thiemann & Nitz (1991) favorisiert wurde.

Bei der Anwendung der Skeletalterbestimmungsmethoden von Greulich & Pyle (1959) sowie Thiemann & Nitz (1991) auf Angehörige anderer Populationen ist zu beachten, dass die ethnische Zugehörigkeit der zu untersuchenden Person keinen nennenswerten Einfluss auf die Skelettreifungsgeschwindigkeit ausübt. Zu berücksichtigen ist hingegen eine Abhängigkeit der Ossifikationsgeschwindigkeit vom sozioökonomischen Status, wobei ein vergleichsweise geringer sozioökonomischer Status zu einer Verzögerung der Skelettreifungsgeschwindigkeit führt. In der Altersschätzungspraxis würde dies zu einer Altersunterschätzung führen und wäre damit für die zu untersuchenden Personen in strafrechtlicher Hinsicht nicht von Nachteil.

Die Handskeletalterbestimmung sollte nur eine Säule der forensischen Altersdiagnostik sein. In der Begutachtungspraxis sollte sie stets durch eine körperliche und eine zahnärztliche Untersuchung ergänzt werden, wobei zur Begutachtung der Vollendung des 21. Lebensjahres eine zusätzliche Röntgen- oder CT-Untersuchung der Schlüsselbein-Brustbein-Gelenke erfolgen sollte. Zur Steigerung der Schätzgenauigkeit sollten die Ergebnisse der Teiluntersuchungen zu einer zusammenfassenden Altersdiagnose verbunden werden.

Gesundheitliche Nachteile für die zu begutachtenden Personen durch die Strahlenexposition der Handröntgenuntersuchung sind nicht zu befürchten.

Grundsätzlich lässt sich sagen, dass die rechtsmedizinisch begründete Altersdiagnostik einen guten Beitrag zur Erhöhung der Rechtssicherheit zu leisten vermag, die durch Schätzungen in einem akzeptablen Schwankungsbereich keineswegs an Relevanz verlieren sollte.

Obwohl der Aufwand des Verfahrens hinsichtlich der ärztlichen Tätigkeit, aber auch in Bezug auf materielle und logistische Vorkehrungen relativ aufwändig ist (Reisinger et al. 2003), zeigt sich die juristische Anerkennung dieser Methode in der steigenden Zahl gerichtlich angeforderter Altersschätzungen in Strafverfahren (Schmeling et al. 2001a).