

3 **Verschiedene Auswertungsmethoden von Handröntgenaufnahmen**

Die Röntgenaufnahme der Hand ist in der Pädiatrie seit längerem zur Bestimmung des skelettalen Reifezustandes eines Kindes gebräuchlich (Schopf, 1984). Im Rahmen der *kieferorthopädischen* Befunderhebung spielt die skelettale Reifebestimmung eine bedeutende Rolle, weil das Wachstum des Gesichtsschädels bzw. des Unterkiefers in vielen Fällen bedeutende Informationen für Therapie und die Prognose liefern. Generell ist daher die Anfertigung einer Röntgenaufnahme zu erwägen,

- wenn im Rahmen einer kieferorthopädischen Therapie Wachstum genutzt werden soll oder
- wenn während bzw. nach einer kieferorthopädischen Behandlung negative wachstumsbedingte Folgen befürchtet werden.

Wesentliche Aussagen des Handröntgenbildes betreffen

- die Festlegung des optimalen Behandlungsbeginns und
- die Beantwortung der Frage, ob und wann eine Behandlung bzw. eine Retention abgeschlossen werden kann (Schopf 2000).

3.1 Die Auswertungsmethode nach Greulich und Pyle

In ihrem Atlas bilden Greulich und Pyle (1959) im Rahmen von Längsschnittstudien angefertigte, nach Altersgruppen geordnete Röntgenaufnahmen der Hand bzw. der Handwurzel ab. Als *Standardaufnahmen* werden die als Normwert anerkannten, nach Altersklassen geordneten, *geschlechtsspezifisch repräsentativsten Röntgenbilder* bezeichnet (De Coster 1937). Die Spannweite der Altersgruppen beträgt im ersten Lebensjahr drei Monate, bis zum sechsten Lebensjahr sechs Monate und bis zum 16. bzw. 17. Lebensjahr ein Jahr. Der Reifezustand der Aufnahmen wurde beschrieben und ein Anhang zur Verdeutlichung weniger auffälliger Reifezeichen beigefügt. Zur Bestimmung des Reifezustands anhand einer individuellen Röntgenaufnahme wurde empfohlen, das Röntgenbild zunächst mit dem optisch ähnlichsten Standard sowie dem diesem vorhergehenden und nachfolgenden Standard zu vergleichen. Weiterhin wurde ein Vergleich einzelner diskreter Handskelettknochen mit dem ähnlichsten Standard und eine Überprüfung einzelner Strukturen mit den Reifeindikatoren im graphischen Anhang empfohlen. Zum Schluss erfolgt eine Festlegung des Gesamtreifeniveaus. Es gilt der Standard bei dem die meisten Reifezeichen dem der Patientenaufnahme entsprechen. Da die subjektive Komponente der Auswertung proble-

matisch ist, sollte jeder Untersucher seine individuelle Genauigkeit beim Einschätzen von Handskelettaufnahmen kennen (Greulich und Pyle 1959).

3.2 Die Auswertungsmethode nach Tanner und Whitehouse

Zusammen mit M.J.R. Healy schufen Tanner und Whitehouse (1962) eine neue Methode zur Skelettreifebestimmung, TW1 genannt. Sie wurde 1979 überarbeitet und unter dem Titel „Assessment of skeletal maturity and prediction of adult height“ (TW2) veröffentlicht. In Langzeituntersuchungen über Zeiträume bis zu 12 Jahren wurden Serien von Röntgenaufnahmen in Abständen von sechs Monaten angefertigt (Tanner 1962). Dabei wurden vom ersten Erscheinen jedes Knochens bis ins Erwachsenenstadium die aufeinanderfolgenden Veränderungen beobachtet, die in der Form und den Schattenbildungen stattfanden. Obwohl die Weiterentwicklung eines Knochens ein kontinuierlicher Vorgang ist, wurde dieser in eine Anzahl einzelner Stadien gegliedert, von denen jedes unzweideutig sowohl verbal als auch in Form von Illustrationen und Röntgenaufnahmen für jeden einzelnen Knochen beschrieben wurde. Die TW2-Methode, die die skelettale Reifung nach einem Punktwertsystem auswertet, gibt eine kontinuierliche arithmetische Darstellung des Gesamtreifeniveaus mittels der Handskelettanalyse wieder. Zur Auswertung herangezogen werden:

- die distalen Epiphysen von Radius und Ulna,
- die acht Karpalia,
- Metacarpalia I, III, V sowie
- alle Phalangen des 1., 3. und 5. Fingers.

Die Entwicklung dieser skelettalen Elemente wird in Etappen gegliedert, wobei das Stadium „A“ die Abwesenheit des jeweiligen Handknochens und die Stadien „H“ bzw. „I“ den voll ausgereiften Knochen repräsentieren.

Da Karpalia und Röhrenknochen in unterschiedlichem Maße repräsentativ für die Gesamtreife des Skeletts sind, erfolgte eine Gliederung in drei Teilsysteme mit spezifischen Punktwerten:

| | |
|--------------|--------------------------------------------------|
| TW-20 bone: | umfasst alle aufgeführten Knochen |
| RUS: | umfasst Radius, Ulna, Metakarpalia und Phalangen |
| Carpal bone: | umfasst nur die Karpalia |

Das RUS-System wird von den Autoren als am repräsentativsten für das Gesamtskelett angesehen:

- Den Reifestadien der jeweiligen Knochen wird in Abhängigkeit vom jeweiligen Teilsystem und vom Probandengeschlecht tabellarisch ein spezieller Punktwert zugeordnet. Der zu errechnende Summenwert ist der direkte Ausdruck für das Reifenniveau des Skeletts.
- Eine Aussage über das den Summenwerten entsprechende Skeletalter kann, anhand einer Tabelle oder graphischer Perzentildarstellungen ermittelt werden (Tanner et al. 1975)

3.3 Die Auswertungsmethode nach Fishman

Fishman unterscheidet bei der radiologischen Bewertung der Handröntgenaufnahme elf verschiedene Stadien (siehe *Abb. 1*).

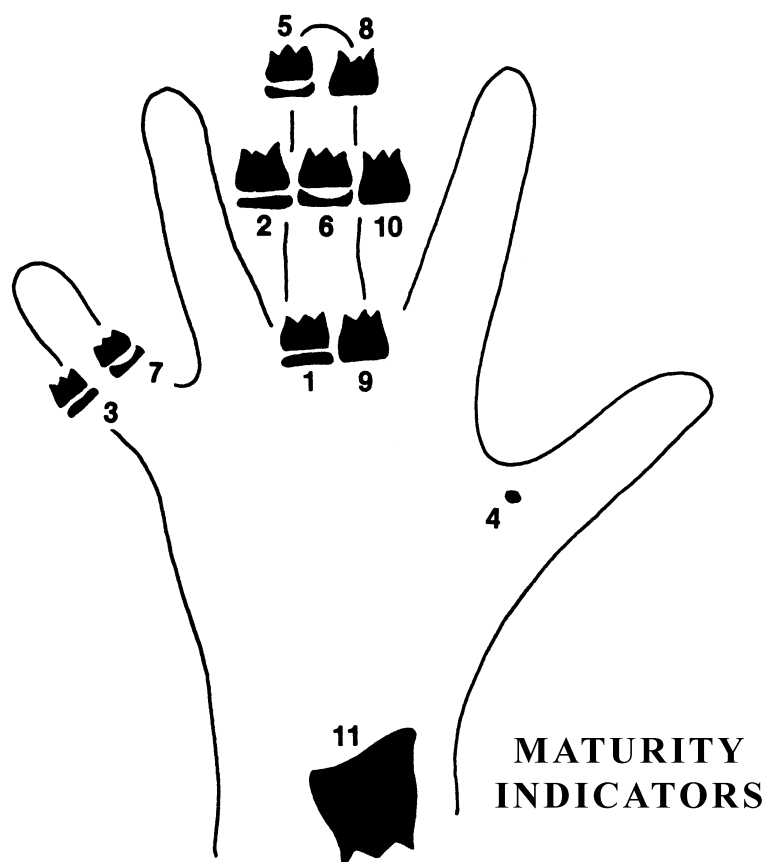


Abb. 1: Elf skelettale Reifeindikatoren (Fishman, 1982)

Diese werden durch skelettale Reifeindikatoren gekennzeichnet, die an sechs unterschiedlichen anatomischen Bereichen lokalisiert werden. Dies wird in Abb. 2a deutlich.

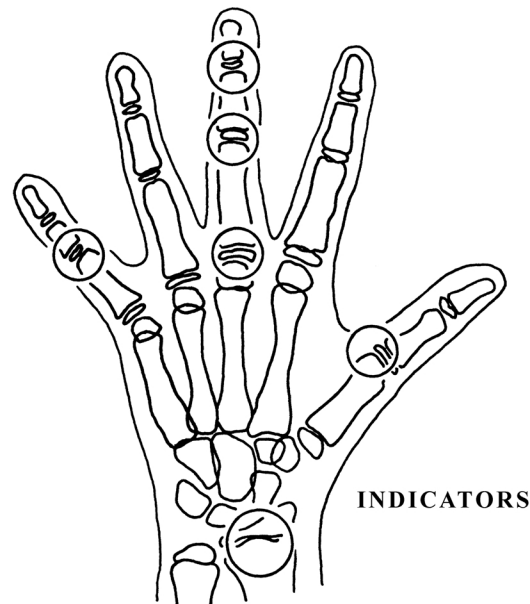


Abb. 2a: Stellen der skelettalen Reifeindikatoren (Fishman, 1982)
Die anatomischen Strukturen sind kreisförmig markiert. Es handelt sich um das distale Ende des Radius, die mittlere Phalanx des kleinen Fingers, die distale, mittlere und proximale Phalanx des dritten Fingers und das Sesamoid des Daumens. Die Stadien werden zu vier übergeordneten Phasen zusammengefasst (skeletal maturation indicators, SMI, Abb. 2b).

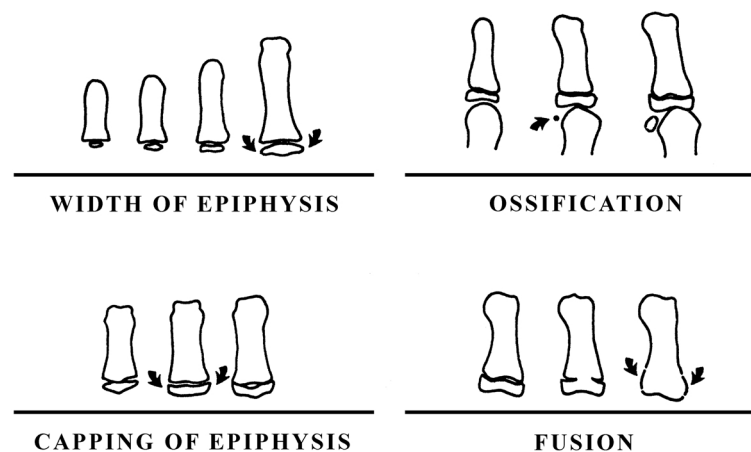


Abb. 2b : Röntgenologische Identifikation der Reifeindikatoren (Fishman, 1982)

- A. Gleiche Breite von Epiphyse und Diaphyse.
- B. Ossifikation
- C. „Capping“ der Epiphyse
- D. Fusion von Epi- und Diaphyse

Die Sequenz der Ossifikationsstadien beginnt mit der Verbreiterung der Epiphysen ausgesuchter Finger, der Ossifikation des Sesamoids des Daumens. Sie schreitet fort mit der „Kappenbildung“ an ausgesuchten Fingern und erstreckt sich bis zur Fusion der ausgewählten Epiphysen und Diaphysen. Die relative Verbreiterung der Epiphyse zu ihrer Diaphyse ist ein fortschreitender Prozess. Die Epiphyse erscheint zunächst als ein kleines Ossifikationszentrum. Wenn es sich lateral zur Diaphyse entwickelt hat, tritt die Epiphyse in das erste Stadium ein, das vom SMI (skeletal maturation index) erfasst wird. Die Ossifikation des Sesamoids erscheint zunächst als kleines, rundes Ossifikationszentrum der kleinen Phalanx medial der Verbindung von Epi- und Diaphyse. Dieses wird dann fortschreitend dichter und größer.

Das *erste* Auftreten des Sesamoids leitet die vierte Phase des SMI (SES) ein. Es liegt zwischen der epiphysalen Erweiterung und vor dem „Capping“. Das Capping stellt einen Übergang dar zwischen der initialen Erweiterung und der Fusion von Epi- und Diaphyse. Es ist das Stadium, in dem die abgerundeten lateralen Ränder der Epiphyse beginnen, sich abzuflachen und zur Diaphyse hin in einem spitzen Winkel hin zuzulaufen.

Dem „Capping“ folgt die Fusion von Epi- und Diaphyse. Es beginnt ebenfalls zentral und schreitet lateral fort, bis die zuvor separaten Knochenteile miteinander verschmelzen. Den Zeitpunkt der vollständigen Verschmelzung kann man als SMI-Stadium betrachten (DP3u, PP3u, MP3u, RADu; siehe Fig. 1). Dieses ist gekennzeichnet durch eine feine, glatte Kontinuität der Oberfläche der Verbindung. Knochenlinien, die Jahre nach der kompletten Fusion noch sichtbar bleiben, aber nicht relevant sind (Fishman, 1982). Die in *Abb. 2b und Abb. 1* dargestellten individuellen Reifeindikatoren werden nachfolgend in chronologischer Reihenfolge aufgelistet (Fig.1):

Fig.1: Skeletal Maturation Index (SMI)

Gleiche Breite von Epi- und Diaphyse

- | | | |
|----|------------------------------------|------|
| 1. | dritter Finger - proximale Phalanx | PP3= |
| 2. | dritter Finger - mittlere Phalanx | MP3= |
| 3. | fünfter Finger - mittlere Phalanx | MP5= |

Ossifikation

- | | | |
|----|----------------------|-----|
| 4. | Sesamoid des Daumens | SES |
|----|----------------------|-----|

„Capping“ der Epiphyse

- | | | |
|----|----------------------------------|--------|
| 5. | dritter Finger- distale Phalanx | DP3cap |
| 6. | dritter Finger- mittlere Phalanx | MP3cap |
| 7. | fünfter Finger- mittlere Phalanx | MP5cap |

Fusion von Epi- und Diaphyse

- | | | |
|-----|-----------------------------------|------|
| 8. | dritter Finger- distale Phalanx | DP3u |
| 9. | dritter Finger- proximale Phalanx | PP3u |
| 10. | dritter Finger- mittlere Phalanx | MP3u |
| 11. | Radius | RADu |

Eine systematische Übersicht wie in *Fig. 1* kann die SMI-Einschätzung vereinfachen. Mit diesem Ansatz können „Schlüsselstadien“ kontrolliert werden, bevor man die Reifeindikatoren in numerischer Folge betrachtet. Die leichte Kontrollierbarkeit der Indikatoren hat eine gute Anwendbarkeit des SMI zur Folge. Dabei ist es nützlich zu bestimmen, ob das Sesamoid sichtbar ist oder nicht. Ist es nicht sichtbar, dann befindet sich die Entwicklung noch eher im Stadium einer früheren epiphysalen Erweiterung als dem „Capping“. Ist das Sesamoid sichtbar, dann befindet sich die Entwicklung im Stadium SES oder einem späteren Stadium (siehe Abb. 3, Fishman, 1982).

HAND WRIST OBSERVATION SCHEME

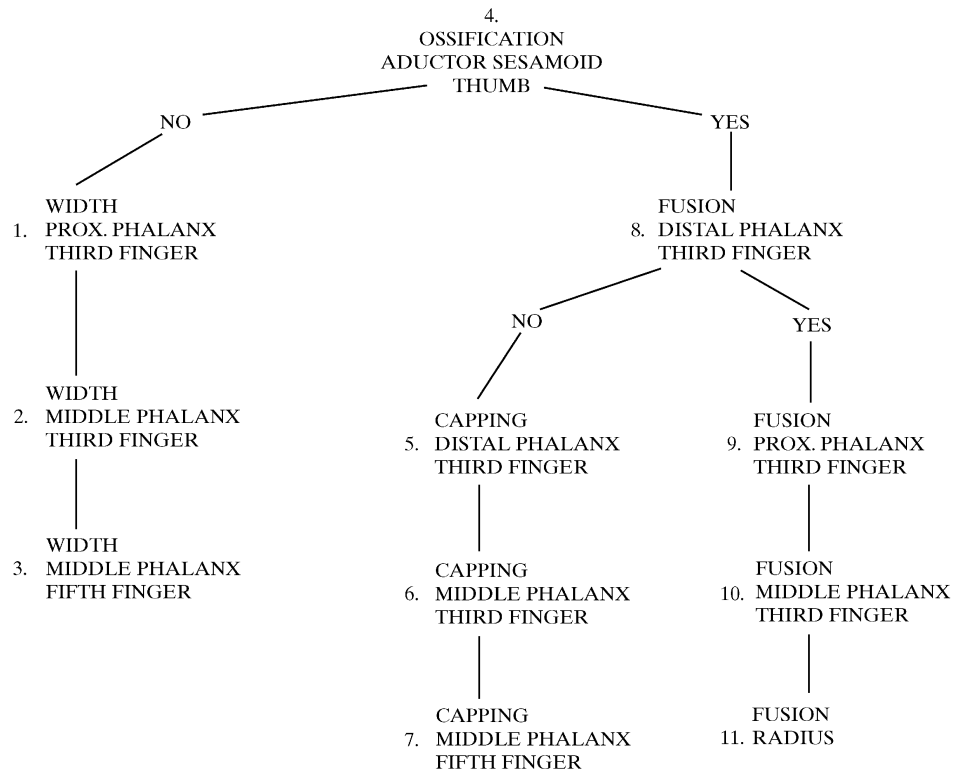


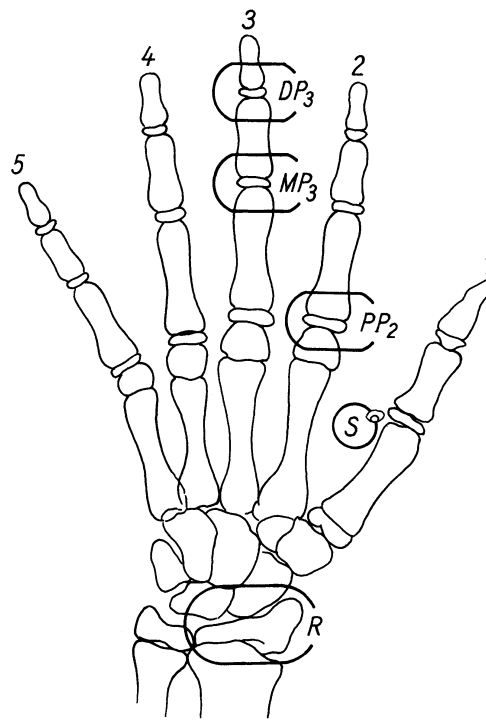
Abb. 3: Skelettale Reifebestimmung anhand der Handröntgenaufnahme nach der Fishman-Methode (skeletal maturation index).

3.4 Reifestadien nach der Björk-Methode

Um die skelettale Reife von Patienten einschätzen zu können, benutzte Björk Reifeindikatoren, die für den kieferorthopädisch interessanten Altersbereich zwischen 9 und 16 Jahren typisch sind. Ihm ging es vor allem darum, die Entwicklungsstufen zu erfassen, die um den Zeitpunkt des maximalen pubertalen Körperwachstums auftreten, da dieser Wachstumsschub bei der kieferorthopädischen Therapie eine Rolle spielt.

Im Rahmen einer Längsschnittstudie wählte er Reifeindikatoren, deren Auftreten er in zeitliche Beziehung zum Gipfel der Wachstumskurve der Körperhöhe setzte. Das Verhältnis von Dia- und Epiphysen der ersten, zweiten und dritten Phalanx sowie das Auftreten kleinerer Knochenstrukturen, z.B. des Sesamoids, wurden von dieser Methode genauer betrachtet. Bei der Entwicklung der Phalangen

werden drei Stadien unterschieden, die das Verhältnis von Epiphysen- und Diaphysenbreite charakterisieren. Die Epiphyse kann die gleiche Breite wie die Diaphyse haben (Stadium „=,“) oder diese kappenförmig umfassen (Stadium „cap“) oder aber mit der Diaphyse verschmolzen sein (Stadium „u“). Die Gliederung in Stadien wird in der Fachliteratur in zahlreichen Variationen vorgenommen. In dieser Studie wurden die in *Abb. 4* dargestellten Björk-Stadien aus Klink-Heckmann und Bredy, 1990, verwendet.



| Stadien: | PP ₂ | MP ₃ | S | MP ₃ cap. | DP _{3u} | PP _{3u} | MP _{3u} -R _u |
|-------------|------------------|-------------------|-----------------|----------------------|---------------------------------|-----------------------|----------------------------------|
| | | | | | | | |
| Vor-stadium | steht noch bevor | unmittelbar davor | gerade erreicht | intensives Wachstum | pubertärer Schub bereits vorbei | Maximum überschritten | Wachstum beendet |

Abb. 4: Phasen der skelettalen Entwicklung nach Björk

1. PP2= Gleiche Breite von Epi- und Diaphyse der proximalen Phalanx des zweiten Fingers.
2. MP3= Gleiche Breite von Epi- und Diaphyse der Mittelphalanx des dritten Fingers.
Wachstumsspurt wird in ca. 2 Jahren erfolgen.
3. S Beginn der Ossifikation des ulnar gelegenen Sesamknochens des metacarpalen Daumengelenks.
Wachstumsspurt wird in ca. _ bis 1 Jahr erfolgen.
4. MP3cap Die Epiphyse der Grundphalanx des dritten Fingers bildet sich kappenförmig aus.
Maximum des Wachstumsspurts.
5. DP3u Vollständige Verknöcherung der Epi- und Diaphyse der *distalen* Phalanx des dritten Fingers.
6. PP3u Vollständige Verknöcherung der Epi- und Diaphyse der *proximalen* Phalanx des dritten Fingers.
7. MP3u Vollständige Verknöcherung der Epi- und Diaphyse der *mittleren* Phalanx des dritten Fingers.
8. Ru Vollständige Verknöcherung der distalen Epi- und Diaphyse des Radius.
Ende des Wachstums.

Grave und Brown (1976) haben in Ihren Studien die Reifeindikatoren erweitert. Eine Zuordnung der Reifestadien zur Wachstumskurve der Körperhöhe stellt die folgende Abb. 5 dar. Auf dieser Abbildung ist das Wachstum in cm pro Jahr in Abhängigkeit vom Lebensalter in Jahren anhand einer Kurve zu erkennen. Die einzelnen Reifestadien sind auf den Kurven jeweils gekennzeichnet. Die Kurve der Mädchen zeigt den Eintritt des Wachstumsspurts im einem wesentlich jüngeren Alter (maximales Wachstum um das zwölfte Lebensjahr) als bei den Jungen (maximales Wachstum um das vierzehnte Lebensjahr). In der Phase um den maximalen Wachstumsschub ist die Wachstumskurve sehr steil. Die Reifestadien nach Björk sind in dieser Wachstumskurve eingezeichnet.

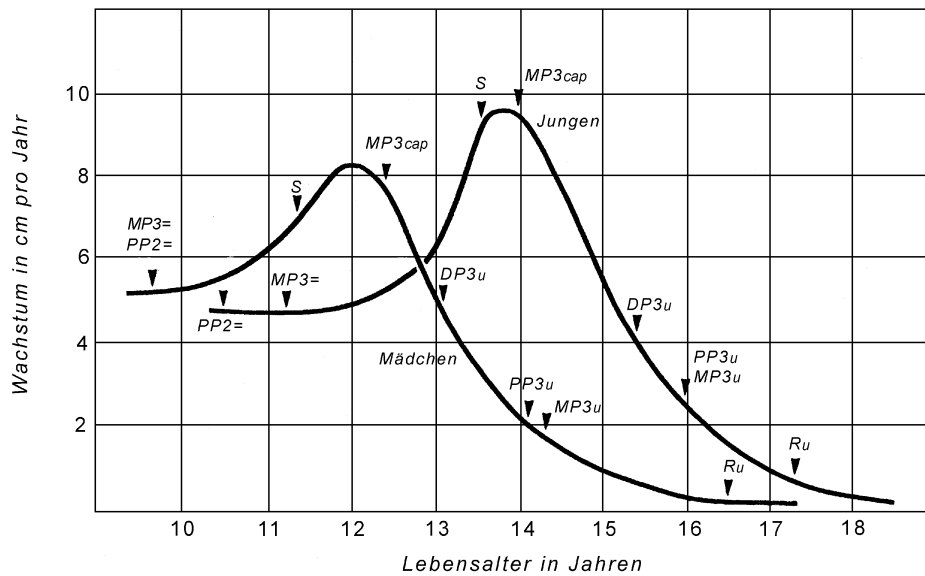


Abb. 5: Wachstumskurve nach Grave und Brown (1976)

3.5 Die Handröntgenauswertung und die Wachstumskurve

Die Wachstumskurve (Abb. 5) zeigt in ihrem Verlauf einen deutlichen Gipfel, an dem sich die Geschwindigkeit der skelettalen Entwicklung spiegelt. Der pubertäre Wachstumsgipfel ist eng korreliert mit einer bestimmten Stufe der Handskelettentwicklung, dem MP3cap-Stadium, während das S-Stadium (die sichtbare Mineralisation des Sesamoids am Daumen) den Beginn des Kurvenanstiegs zum pubertären Gipfel anzeigt. Bei den Jungen ist das S-Stadium fast am Wachstumsgipfel. Auf der Wachstumskurve der Mädchen aber ist nach dem S-Stadium noch eine deutlichere Steigerung der Wachstumsrate bis zu MP3cap auszumachen.

Typische geschlechtsspezifische Differenzen weist der Zeitpunkt des pubertären Wachstumsgipfels auf. Bei den Mädchen ist der Scheitelpunkt der Kurve durchschnittlich im Alter von 12 Jahren zu beobachten, während er bei den Jungen im Durchschnitt erst etwa 2 Jahre später liegt, also im Alter von 14 Jahren. Es bestehen allerdings große individuelle Variationsbreiten.

Wie der Kurvenverlauf aufzeigt, ist erst lange nach Überschreiten des Gipfels – im Ru-Stadium – mit einer Beendigung des Wachstums zu rechnen. Es ist davon auszugehen, dass dieser Zeitpunkt bei Mädchen mit normaler skelettaler Entwicklung mit etwa 16-17 Jahren, bei den Jungen erst mit etwa 18-19 Jahren erreicht ist.

Die Durchführung einer Therapie ist auf jeden Fall vor Erreichen des Wachstumsgipfels sinnvoll, wenn das Wachstum im Rahmen der kieferorthopädischen Behandlung genutzt werden soll. Wird ein ungünstiger Wachstumseinfluss befürchtet, so besteht dieses Risiko bis zum Erreichen des letzten Reifestadiums (Ru-Stadium). Auch operative Korrekturen skelettaler Anomalien sollten erst nach Abschluss des Wachstums durchgeführt werden (Schopf, 2000).